

## Vývoj informačného systému na vizualizáciu 3D modelov a vývoj prototypu na meranie 3D objektov

### *Development of an information system for visualization of 3D models and development of a prototype for measuring 3D objects*

RÓBERT CIBULA

Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, Mlynská dolina 1, 817 04 Bratislava; robert.cibula@geology.sk

© Autori 2026. Vydal ŠGÚDŠ. Licencia Creative Commons BY 4.0. (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)  
<https://doi.org/10.56623/gps.139.1>

**Abstrakt.** 3D kartografická vizualizácia na internete patrí medzi využívané techniky v rôznych aplikačných sektoroch. Tieto formy vizualizácie sa čoraz častejšie objavujú aj v geológii. Napriek tomu, že na Slovensku bolo vyrobených niekoľko 3D geologických modelov, pre problémy s exportom z modelovacieho softvéru nie sú dostupné na internete. Práca sa venuje problematike vývoja a implementácie webového informačného systému na 2D a 3D kartografickú vizualizáciu prírodných zdrojov a vytvorenie prototypu s laserovým snímačom, elektronickým kompasom, GNSS a prenosom údajov pomocou bluetooth na vytvorenie mobilnú aplikáciu na zber 3D bodov. Prototyp zariadenia overil možnosti vytvárania údajov pre 3D modely a ich následnú publikáciu v 3D kartografickej vizualizácii. V tejto práci boli analyzované a definované používateľské a technické aspekty 3D vizualizácie všeobecne, ale aj s ohľadom na špecifiká v sektore geológie a lesníctva. Pri vývoji prototypu sa navyše brali do úvahy aj aspekty súvisiace s platformami mikropočítačov. Navrhnuté koncepty a novovyvinuté technológie boli overené na štyroch záujmových územiach. Na údajoch z Hornonitrianskej kotliny sa hľadali metódy na export údajov z modelovacieho softvéru a formáty na zobrazovanie 3D modelu. Podkladové údaje pre 3D model areálu Štátneho geologického ústavu Dionýza Štúra (ŠGÚDŠ) so vzorkami nerastných surovín boli vytvorené pomocou UAV fotogrametrie. Dva 3D modely areálu vzniknuté rôznymi postupmi sa testovali na odpoveď zobrazenia. Lesný celok s 1 miliónom stromov slúžil na overovanie konceptov zobrazovania veľkého množstva 3D objektov. Na území Slovenskej republiky sa využili metódy získané pri územiach menšieho rozsahu a vytvoril sa 3D model Slovenskej republiky. Výsledky v podobe 3D WebGIS aplikácie spolu s meraním odpovede zobrazovania jednotlivých 3D modelov boli úspešne overené v ŠGÚDŠ. Následne boli integrované do informačného systému ústavu. Výsledky tejto práce zaradili Slovenskú republiku medzi štáty, ktoré zobrazujú 3D geologické modely na internete.

**KLúčové slová:** 3D, WebGL, geológia, lesníctvo, 3D vizualizácia, geologický model, prototyp

**Abstract.** 3D cartographic visualization on the Internet is one of the techniques used in various application sectors. These

forms of visualization are increasingly appearing in geological science. Despite the fact that several 3D geological models have been produced in Slovakia, they are not available on the Internet due to problems with exports from modelling software. The work deals with the development and implementation of a web information system for 2D and 3D cartographic visualization of natural resources and the creation of a prototype with a laser scanner, electronic compass, GNSS and Bluetooth transmission to a mobile application for collecting 3D points. The prototype of the device verified the possibilities of creating data for 3D models and their subsequent publication in 3D cartographic visualization. In the submitted work, user and technical aspects of 3D visualization were analysed and defined, in general, with regard to the specifics in the sector of geology and forestry, in particular. In addition, aspects related to microcomputer platforms were taken into account in the development of the prototype. Verification of the proposed concepts and newly developed technologies was performed in four areas of interest. Methods for exporting data from modelling software and searching for a format for displaying a 3D model were searched using the data from the Hornonitrianska kotlina Basin. The groundwork data for the 3D model of the Headquarters of the State Geological Institute of Dionýz Štúr (SGIDSŠ) with samples of mineral raw materials were collected using UAV photogrammetry. Two 3D models of the area created by different procedures were tested for the response of the visualisation. The forest stand complex with 1 million trees was used to verify the concepts of displaying a large number of 3D objects. In the territory of the Slovak Republic, methods obtained in smaller areas were used and a 3D model of the Slovak Republic was compiled. The results in the form of a 3D WebGIS application along with the measurement of the display response of individual 3D models were successfully verified at SGIDSŠ. Subsequently, they have been integrated into the Institute's information system. The results of the dissertation ranked the Slovak Republic among the countries that display 3D geological models on the Internet.

**Key words:** 3D, WebGL, geology, forestry, 3D visualization, geological model, prototype

## 1. ÚVOD

Rozvoj informačno-komunikačných technológií (IKT) v oblasti systémov a nástrojov na 3D vizualizácie podnietil rozmach 3D geologického modelovania v geologických službách (GS) po celom svete. Na výmenu poznatkov a skúseností pri 3D modelovaní v geológii usporadúva Americká geologická služba pravidelné stretnutia. V roku 2011 na výročnom stretnutí v Minneapolise sa skupina výskumných pracovníkov z európskych GS dohodla na vytvorení európskej 3D geologickej modelovacej komunity. Skupina má zabezpečiť rozvoj 3D geologického modelovania v Európe stretávaním sa odborníkov a výmenou informácií o problémoch, riešeníach a skúsenostiach (BGS, 2019).

Prvé stretnutie výskumných pracovníkov sa konalo v roku 2013 v Utrechte. Ďalšie stretnutia sa konali v Edinburghu (2014), Wiesbadene (2016), Orléanse (2018) a Berne (2019). Na týchto stretnutiach sa okrem výsledkov geologického modelovania riešila aj problematika zdieľania 3D geologických modelov pomocou internetu. Vytvorený 3D geologický model obsahuje veľké množstvo údajov a pri efektívnom zobrazovaní pomocou internetu to predstavuje problém. V roku 2020 v Európe 3D geologický model za celé územie zobrazovalo iba Nórsko a Veľká Británia. Česká republika, Maďarsko, Rakúsko, Švajčiarsko, Švédsko a Taliansko zobrazovali iba parciálne 3D geologické modely rôzneho rozsahu (od desiatok po stovky km<sup>2</sup>). Ostatné krajiny Európy vrátane Slovenskej republiky 3D geologické modely na internete nezobrazovali.

**Česká republika:** modely menšieho rozsahu (rádovo v desiatkach km<sup>2</sup>); tri modely zobrazené cez Scene Viewer ArcGIS Online a tri modely cez ThreeJS; modely majú veľmi dobre spracované metaúdaje.

**Maďarsko:** zobrazovalo jeden model pomocou ThreeJS; rozsah zobrazovaného územia je rádovo v stovkách km<sup>2</sup>.

**Nórsko:** zobrazovalo model celého štátu aj modely rôzneho rozsahu; na zobrazovanie využíva Scene Viewer ArcGIS Online, Bentley Cityplanneronline a KSAT API; zaujímavosťou je zobrazovanie geológie pod morskou hladinou.

**Rakúsko:** zobrazovalo model mesta Viedeň pomocou ThreeJS.

**Švajčiarsko:** v spomínanom období zobrazovalo polovicu územia štátu pomocou X3DOOM; vo finálnej fáze pripravujú zobrazovanie pomocou CesiumJS.

**Švédsko:** zobrazuje časť územia štátu pomocou Bentley Cityplanneronline.

**Taliansko:** na zobrazovanie využíva TerriaJS (Leaflet a CesiumJS); nezobrazuje 3D modely pod povrchom, iba geologické mapy povrchu (Pseudo 3D); aplikácia umožňuje prepínanie 2D a 3D kartografickej vizualizácie.

**Veľká Británia:** prvý štát v Európe, ktorý zobrazoval 3D geologický model celého územia štátu; na zobrazovanie využíva ArcGIS API for JavaScript.

Na bližšie oboznámenie so stavom v Európe sú v prílohe 1 ukážky z jednotlivých štátov, ktoré majú 3D geologické modely dostupné na internete. Krajiny sú zoradené podľa abecedného poradia. Okrem ukážky z 3D aplikácií WebGIS sú v prílohe 1 aj ich URL adresy, na ktorých sú dostupné. Spoločnou črtou existujúcich 3D aplikácií WebGIS GS je jednoúčelové zameranie na zobrazenie jedného 3D modelu a nemožnosť zobrazovania vzájomnej kombinácie rôznych 3D modelov alebo existujúcich 2D dátových súborov. Pri testovaní existujúcich 3D aplikácií WebGIS iných európskych GS sa zistilo, že v niektorých prípadoch je odpoveď systému pomalá.

Štátny geologický ústav Dionýza Štúra (ŠGÚDŠ) plní funkciu GS Slovenskej republiky. V ŠGÚDŠ sa do roku 2016 riešili štyri výskumné úlohy na vytvorenie lokálnych geologických modelov. Výskumné práce sa venovali tvorbe geologických modelov, ale pre problémy s exportom údajov z modelovacieho softvéru ich výsledky neboli prezentované na internete. Bolo ich možné vizualizovať v aplikácii, v ktorej bol model vytváraný, alebo vytvorenými obrázkami, ktoré boli prezentované v záverečných správach.

Implementácia výsledkov tejto práce umožní Slovenskú republiku zaradiť medzi krajiny, ktoré svoje geologické modely prezentujú na internete. Je potrebné vyriešiť transfer údajov z modelovacieho softvéru do vhodného formátu zobraziteľného na internete. Tento formát musí spĺňať podmienku rýchlej vizualizácie veľkého množstva údajov. Vytvorená 3D aplikácia WebGIS by tieto formáty mala zobrazovať spolu s ostatnými 3D modelmi aj s existujúcimi dátovými súborami v ŠGÚDŠ.

Aktuálnou výzvou ŠGÚDŠ je zobrazenie 3D modelov vrtovej s podrobným štruktúrnym zobrazením. Údaje (zhruba 700 tis. vrtovej) ešte nie sú všetky spracované, a tak na overenie koncepcie zobrazovania veľkého množstva 3D modelov vrtovej na základe atribútov bude využitá obojstranne výhodná spolupráca s Národným lesníckym centrom – Lesníckym výskumným ústavom Zvolen (NLC – LVÚ Zvolen). NLC – LVÚ Zvolen využije poznatky zobrazovania 3D modelov v ŠGÚDŠ a overí koncept zobrazenia výsledku analýzy údajov leteckého laserového skenovania lesného porastu v 3D aplikácii WebGIS s možnosťou ďalšieho rozvoja. ŠGÚDŠ na základe poskytnutých údajov získa poznatky pri 3D vizualizácii skoro 1 mil. bodových 3D objektov.

Okrem obojstranne výhodnej spolupráce pre obidve organizácie pri 3D vizualizácii sú objektom skúmania prírodné objekty a javy, ktoré sa vzájomne ovplyvňujú a sú dôležitou zložkou prírodného prostredia.

Pri výskume a rôznych monitoringoch v oblasti geológie a lesníctva sa v teréne zbierajú mnohé geopriestorové údaje. Pri bodových informáciách sa využívajú mobilné zariadenia, ktoré uľahčujú zber informácií. Ich veľkou nevýhodou je, že ide o nákladné a jednoúčelové zariadenia. Preto súčasťou tejto práce bude koncept prototypu zariadenia

spolupracujúceho s mobilným telefónom slúžiaceho na meranie 3D objektov na spracovanie, vizualizáciu a transfer nameraných údajov do informačného systému.

Túto prácu odborne posúdili a odporučili prof. Ing. Jitka Komárková, Ph.D., doc. Ing. Karel Janečka, Ph.D., a prof. RNDr. Tomáš Řezník, Ph.D.

### 1.1. Zájmové územia

V tejto práci sa na vytváranie 3D modelov využívajú údaje z niekoľkých zájmových oblastí. Na rozlohu menších územiach boli overené koncepty vytvárania 3D objektov a testovanie odpovede pri menšom množstve údajov. V Hornonitrianskej kotline sa overoval koncept vytvárania 3D geologického modelu. V areáli ŠGÚDŠ sa vytváral model pomocou UAV fotogrametrie. Na lesnom celku Vígláš sa overovalo zobrazenie 1 mil. 3D modelov. Na území Slovenskej republiky sa zobrazoval 3D geologický model celého územia.

#### Hornonitrianska kotlina

Územie Hornonitrianskej kotliny patrí z administratívneho hľadiska do Trenčianskeho samosprávneho kraja, okresu Prievidza. Len malý úsek na juhozápade územia zasahuje do okresu Bánovce nad Bebravou.

Geomorfologicky patrí územie do provincie Vnútrotných Západných Karpát, do tatranského pásma. Hornonitrianska kotlina je vnútrohorská, zo všetkých strán ohraničená pohoriami. Na západe a severozápade je pohorie Strážovské vrchy so svojimi dvomi jadrami Suchý a Malá Magura, na severovýchode pohorie Žiar, na východe a juhovýchode vulkanické pohorie Vtáčnik a na juhozápade Tribeč. Miesto s najnižšou nadmorskou výškou 220 m n. m. je na juhozápade kotliny na toku rieky Nitry. Najvyššie položené miesto v regióne je v pohorí Vtáčnik s rovnomenným vrcholom ležiacim v nadmorskej výške 1 346 m n. m. Celé územie odvodňuje rieka Nitra. Jej najvýznamnejšie pravostranné prítoky sú Nitrica, Tužinský potok a Chvojnický potok,

najdôležitejší prítok z ľavej strany je Handlovka. Rozloha vyčleneného modelovaného územia je 290,65 km<sup>2</sup>.

#### Areál ŠGÚDŠ

Areál ŠGÚDŠ patrí z administratívneho hľadiska do Bratislavského samosprávneho kraja, okresu Bratislava I, mestská časť Bratislava-Staré Mesto. Zo severnej strany areálu ŠGÚDŠ sú Malé Karpaty. Je postavený na eluviálnych sedimentoch v nadmorskej výške 172 m n. m. V areáli sa nachádza zbierka 63 druhov nerastných surovín (obr. 1) na 80 vzorkách. Pri každom druhu je tabuľka s názvom nerastnej suroviny, stručným popisom použitia, názvom ložiska, z ktorého je vzorka, a názvom organizácie, ktorá danú vzorku poskytla (tab. 2).

Tab. 1. Ukážka popisu pri každom druhu nerastnej suroviny (obr. 1 vpravo)

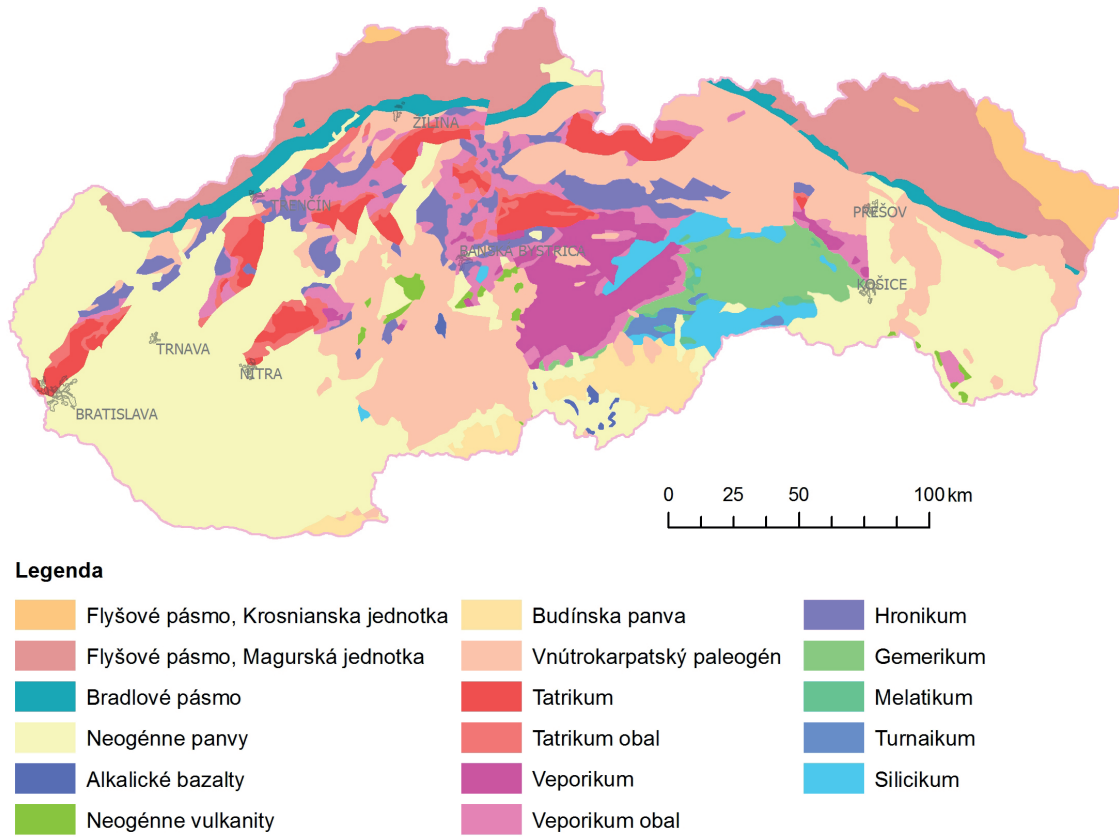
<b>Magnezit</b>	
<b>Použitie</b>	výroba žiaruvzdorných hmôt a izolácií, výroba kovového horčička
<b>Ložisko</b>	Hnúšťa
<b>Organizácia</b>	Gemerská nerudná spoločnosť, a. s., Hnúšťa

#### Slovensko

Územie Slovenskej republiky je budované alpínskym pásmovým pohorím Západných Karpát. Ich geografická hranica na západe sa kladie do údolia Dunaja, ale geologicky zreteľnejšia hranica medzi Východnými Alpami je depresia západne od Hundsheimských vrchov, tzv. Karnuntská brána. Oproti Východným Karpatom sa hranica konvencionálne kladie do údolia rieky Uh. Severná hranica Západných Karpát je daná erozívnym, zväčša morfológickým zreteľným okrajom alpínskych príkrovov ležiacich na predpolí na Morave a v Poľsku. Južná hranica je menej zreteľná, lebo na vnútrotnom okraji Západných Karpát sú vyvinuté rozsiahle nížiny vnikajúce hlboko do horskej sústavy.



Obr. 1. Ukážka vzoriek nerastných surovín v areáli ŠGÚDŠ



Obr. 2. Štruktúrna schéma geológie Slovenskej republiky (Zlocha et al., 2020)



Obr. 3. Rozmiestnenie záujmových území

Podľa veku vzniku alpínskej príkrovovej stavby sa Západné Karpaty členia na *Vonkajšie Západné Karpaty* a *Vnútorne Západné Karpaty*. Hranicu medzi nimi tvorí *bradlové pásmo*.

Vonkajšie Západné Karpaty (flyšové pásmo) predstavujú externú časť Západných Karpát.

Bradlové pásmo je najzložitejšie pásmo Západných Karpát. Tiahne sa v podobe úzkeho, na sever vyklenutého pásu na rozhraní Vonkajších Západných Karpát a Vnútorých Západných Karpát.

Vo Vnútorých Západných Karpatoch odlišujeme nasledujúce hlavné tektonické jednotky: neogénne panvy, alkalické bazalty, neogénne vulkanity, Budínsku panvu, vnútrokarpatský paleogén, tatrikum, obal tatrika, veporikum, obal veporika, hronikum, gemerikum, meliatikum, turnaikum a silicikum. Na obr. 2 je štrukturálna schéma geológie územia Slovenskej republiky.

### LC Vígľaš

Územie lesného celku Vígľaš patrí z administratívneho hľadiska do Banskobystrického samosprávneho kraja. Prevažná časť je v okrese Detva, len malá časť na západe patrí do okresu Zvolen. Celková plocha je 12 472 ha a lesy zaberajú 3 215 ha. Nadmorská výška študovanej oblasti dosahuje interval 374 – 978 m n. m. Dominantné druhy drevín v oblasti sú buk lesný (*Fagus sylvatica* L.), dub zimný (*Quercus petraea* MATUSCH) a hrab lesný (*Carpinus betulus*) s 65 % pokrytím. Zvyšnú časť pokrývajú ihličnany, ako sú napríklad jedľa biela (*Abies alba* MILL.) a smrek obyčajný (*Picea abies*) (Cibula a Sačkov, 2020).

Rozmiestnenie záujmových území, z ktorých sú vstupné údaje na vizualizáciu, je na obr. 3.

## 2. CIELE PRÁCE

Práca má dva hlavné ciele:

1. vývoj interoperabilného webového GIS-ového informačného systému na interaktívnu 2D a 3D kartografickú vizualizáciu prírodných zdrojov v aplikačných sektoroch geológia a lesníctvo,
2. vývoj a pilotné overenie konceptu nízkonákladového (*low cost*) zariadenia na meranie 3D bodových údajov s bezdrôtovým prenosom nameraných údajov do mobilného telefónu.

Čiastkové ciele:

A. V oblasti geológie:

- pilotné overenie interoperabilného webového GIS-ového informačného systému na interaktívnu 2D a 3D kartografickú vizualizáciu pomocou technológie WebGL pri zobrazovaní 3D geologických modelov na modelových územiach,
- otestovanie odpovede vizualizácie veľkého objemu údajov 3D geologických modelov.

B. V oblasti lesníctva:

- vytvorenie 3D lesníckej vizualizácie s dôrazom na webovú publikáciu veľkého objemu bodových údajov a 3D modelov stromov,

- otestovanie odpovede vizualizácie veľkého objemu 3D modelov stromov.

C. V oblasti vývoja prototypu:

- vytvorenie hardvéru prototypu integrujúceho laserový diaľkomer, GNSS (*Global Navigation Satellite System*) senzor a elektronický kompas s bezdrôtovým prenosom informácií,
- vytvorenie softvérovej aplikácie pre mobilný telefón prijímajúcej informácie z prototypu.

## 3. PREHĽAD SÚČASNÉHO STAVU RIEŠENEJ PROBLEMATIKY

Prehľad súčasného stavu riešenej problematiky je kvôli lepšej prehľadnosti rozdelený na nasledujúce kategórie:

1. Používateľské a technické aspekty 3D kartografickej vizualizácie (KV) na internete;
2. Vytváranie a publikovanie 3D geologických modelov a ich vizualizácie;
3. Vytváranie a publikovanie 3D modelov v lesníctve a ich vizualizácie;
4. Vyhľadanie informácií na zostrojenie funkčného prototypu na meranie výšky stromov spolu s mobilnou aplikáciou, do ktorej budú namerané údaje prenesené.

### 3.1. Používateľské a technické aspekty 3D kartografickej vizualizácie (KV) na internete pomocou internetových prehliadačov

Používatelia sú zvyknutí pri práci s webovým obsahom v internetových prehliadačoch na vysokú interaktivitu. Vo veľkej väčšine nepoznajú rozdiel, či ide o jednoduchý statický text, alebo je to webová aplikácia, ktorá údaje získava z databázy. Požadujú rýchle zobrazenie webovej stránky. Problém s publikovaním 3D údajov na webe je najmä v tom, že na kvalitné zobrazenie potrebujeme veľké množstvo údajov. To značne predlžuje načítavanie webového obsahu a vykreslenie zobrazenia na displeji zariadenia. Preto je potrebné nájsť metódy a formáty, ktoré pomôžu tento problém v maximálnej miere eliminovať. Pri vizualizácii 3D obsahu v internetových prehliadačoch zohrávajú dôležitú úlohu aj možnosti internetového prehliadača pristupovať k hardvérovým komponentom počítača. V prípade zobrazovania 3D obsahu je to grafická karta počítača.

#### 3.1.1. Používateľské aspekty 3D kartografickej vizualizácie

V súčasnosti interaktívna 3D KV pomocou webového prehliadača obsahu nie je veľmi rozšírená, a preto sme sa zamerali na zodpovedanie otázky, či 3D KV prinesie novú informáciu a či je pre používateľa prínosom. Zároveň je dôležité, aby používateľ mal schopnosť ovládať aplikáciu s 3D KV.

Touto problematikou sa zaoberali mnohí autori. Podľa prác autorov De Donatis et al. (2009), Zhou et al. (2015), Chen et al. (2016) a Herman (2018) je 3D KV prínosom. De Donatis et al. (2009) v práci spomínajú výrazné

zlepšenie práce geológov, ktorí musia pochopiť a vizualizovať geologické telesá v troch dimenziách. V dizertačnej práci Hermana (2018) sa spomína, že 3D KV je prínosná pre používateľa najmä z nasledujúcich aspektov:

- interaktívne 3D mapy sú vhodné, keď je potrebné správne rozhodnutie a proces rozhodovania nie je časovo náročný,
- interaktívne 3D mapy sú vhodnejšie na zložitejšie úlohy,
- interaktívne 3D mapy sú vhodnejšie pre odborníkov na geopriestorové údaje,
- interaktívna 3D vizualizácia zvyšuje presnosť reakcií používateľov pri práci so statickými 3D mapami, ale tento rozdiel sa znižuje pri práci s interaktívnymi 3D mapami.

Práca Hermana (2018) zároveň potvrdila, že pri vývoji tradičných (2D) máp a 3D KV najdôležitejším faktorom zostáva účel mapy. 3D KV sa používajú v niekoľkých doménach a na mnohé účely, podobne ako ich 2D náprotivky. Naopak, statické 3D mapy nemôžu byť použité ako podnety v používateľských štúdiách, v ktorých výsledky súvisia s interaktívnymi aplikáciami, pretože interaktívne podnety ľudia vnímajú úplne iným spôsobom ako statické. V týchto prípadoch by sa ako podnety mali použiť priamo interaktívne 3D mapy.

Stachoň et al. (2018) testovali 3D KV podľa typu prostredia (realistické/symbolizované). V práci sa zistilo, že realistické prostredie je na vnímanie používateľa efektívnejšie. V realistickom prostredí štyria účastníci zo siedmich absolvovali prechod bez akýchkoľvek chýb, zatiaľ čo

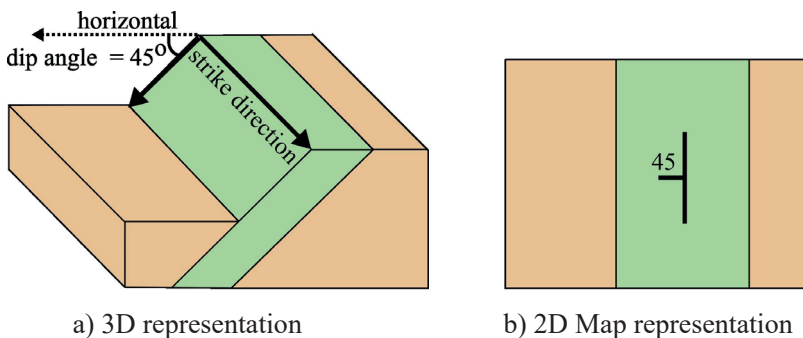
v symbolizovanom prostredí iba dvaja účastníci zo siedmich neurobili žiadne chyby.

Názorné porovnanie rozdielu medzi 3D KV a 2D kartografickou značkou v geológii je na obr. 4, 5 a 6 (Amorim et al., 2014). Na týchto obrázkoch je jasne zobrazené, že 3D KV je aj pre laika z oblasti geológie názornejšia. 3D KV môže priniesť aj v edukačnom procese viac názornosti a dostupnosti.

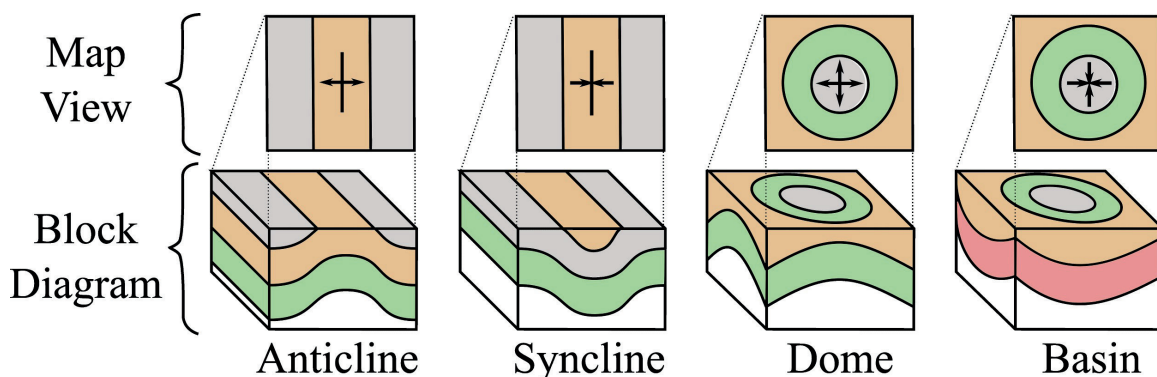
Ako už bolo spomenuté, v práci Hermana (2018) sa uvádza: „*Interaktívne 3D mapy sú vhodné, keď je potrebné správne rozhodnutie a nie je časovo náročný proces rozhodovania.*“ Pri riešení krízových situácií v doméne geológie, ako sú napríklad zosuvy, je potrebné na túto situáciu pamätať. V práci Chena et al. (2016) sa spomínajú problémy v používateľskej skúsenosti, ako sú napríklad súradnicová neistota polohy kliknutia a dohľad nad čiarou blokovanej 3D terénom. Pretože 3D KV nemôže úplne nahradiť 2D počas analýzy nebezpečnej situácie, navrhuje využitie 2D mapy a 3D KV spolu pri vytváraní vynikajúceho zobrazovacieho a analytického prostredia v systéme WebGIS.

### 3.1.2. Technické aspekty 3D kartografickej vizualizácie

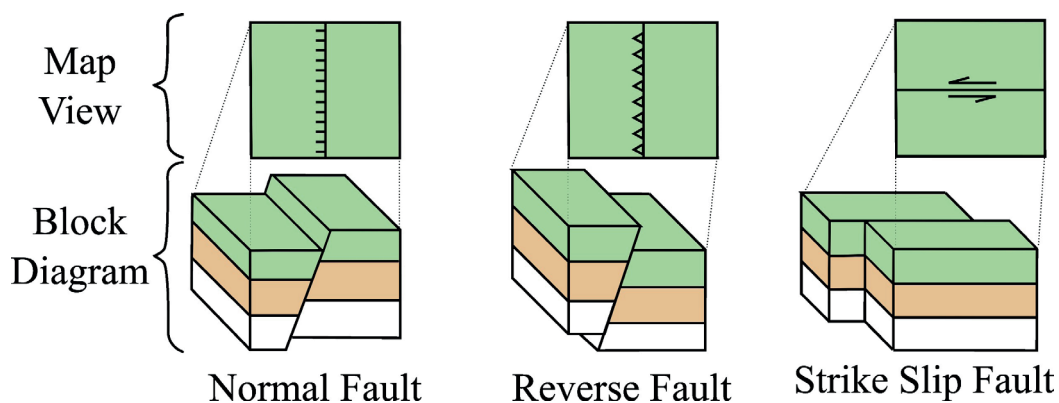
Pri zvážení používateľských aspektov zohráva veľmi dôležitú úlohu aj interaktivita daného systému. 3D modely sú dátovo veľmi obsiahle, a preto je potrebný správny výber formátu, v ktorom budú údaje uložené alebo prezentované. Takéto formáty môžu byť uzavreté a špecifické pre daného softvérového výrobcu. Potom to môže byť



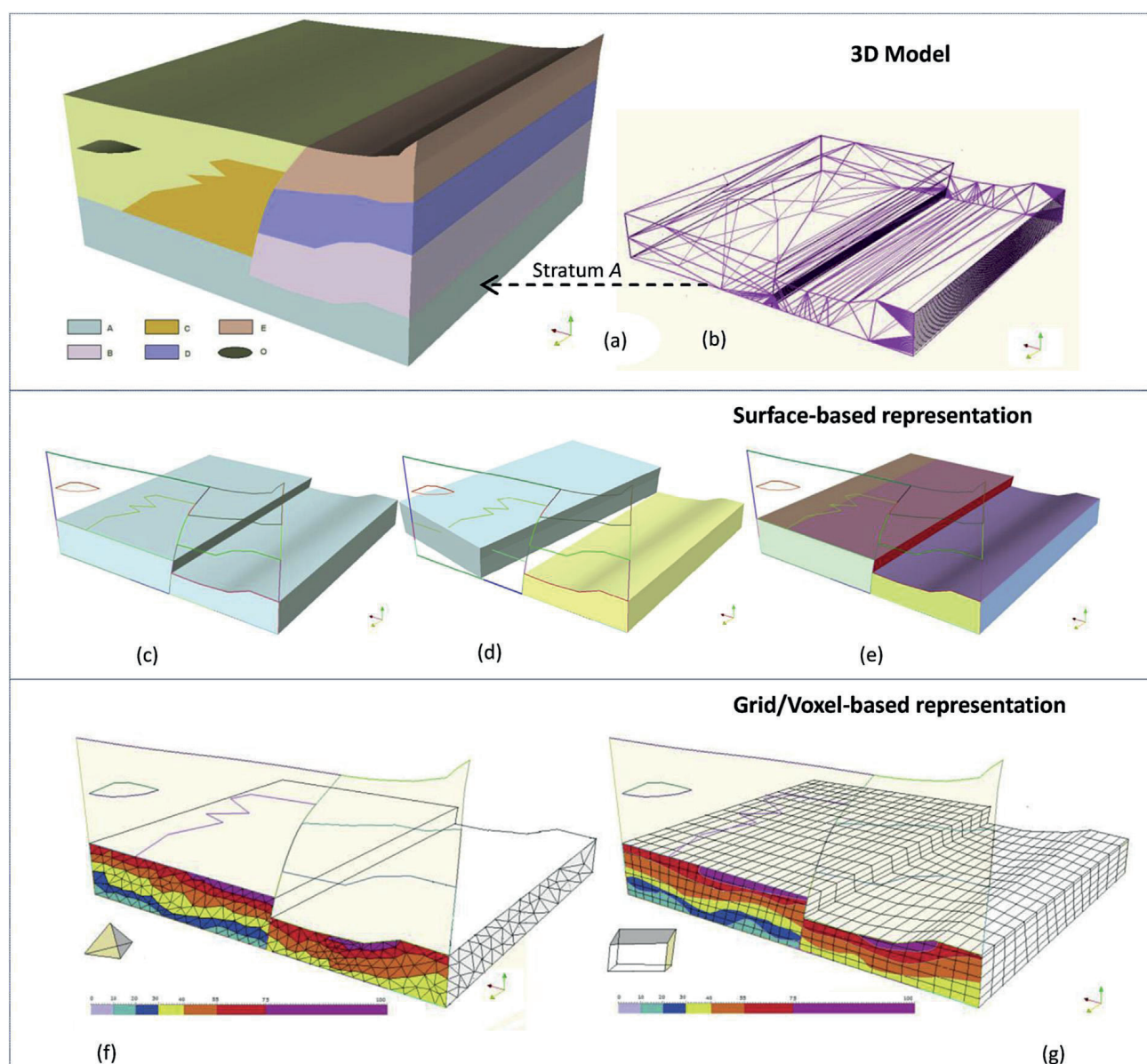
**Obr. 4.** Náklon a posunutie šikmého zlomu a príslušná geologická mapa: a) ilustrácie koncepcie náklonu a posunutia, b) geologická mapa obsahujúca náklon a posunutie a dve rôzne horné vrstvy oddelené geologickou kontaktnou čiarou (Amorim et al., 2014)



**Obr. 5.** Ilustrácia geologických vrás s príslušnou mapou, reprezentácia a 3D geologický model (Amorim et al., 2014)



Obr. 6. Tri rôzne typy porúch a ich zobrazenie na mape (Amorim et al., 2014)



Obr. 7. Metódy znázornenia 3D geomodelu: a) 3D štruktúrny geomodel, b) drôtové znázornenie pomocou trojuholníkových nepravidielných sietí (TIN), c) použitie jedného úplne uzavretého povrchu, d) dva komponenty so zlomom, e) kombinácia hraničných povrchov, f) diskrétny model pomocou tetraédrov (meshes), g) model založený na voxeloch (Wang et al., 2018)

otvorený formát, vytvorený určitou spoločnosťou, ktorá uverejnila jeho plnú špecifikáciu. Medzi také patrí aj formát „shapefile“ (shp) od firmy ESRI (ESRI, 1998, 2012). „Shp“ formát sa stal veľmi široko používaným medzi výrobcami komerčného aj otvoreného softvéru na spracovanie, ale aj na výmenu informácií. Ďalšou skupinou sú formáty, ktoré majú presne danú špecifikáciu a sú otvoreným štandardom. Tieto štandardy na priestorové informácie spravuje združenie s viac ako 500 členmi [Open Geospatial Consortium (OGC) 2020]. Toto konzorcium vydáva pre oblasť 3D KV nasledujúce štandardy: 3D Tiles (2019), CityGML (2012), GeoSciML (2017), IndoorGML (2018), Indexed 3D scene layer (I3S) and scene layer package (.slpk) (ESRI, 2020) a netCDF (2011).

Medzi otvorené štandardy vhodné na 3D KV patrí aj formát glTF (GL Transmission Format) (The Khronos Group, 2019). OGC prijalo 5. 2. 2019 „3D Tiles“ ako komunitný štandard, kde sa pre formát „Batched 3D Models“ a „Instanced 3D Model“ využíva glTF (OGC, 2019).

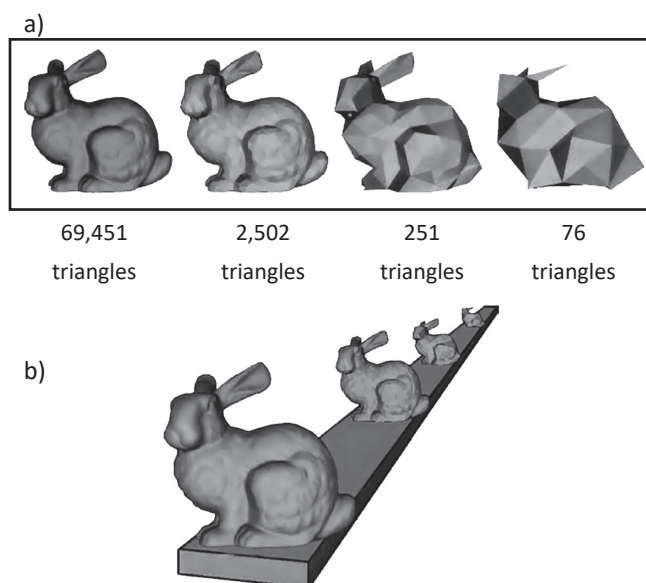
Okrem vymenovaných typov štandardov existujú štandardy špecifické pre určitú krajinu. Čína na výmenu údajov v geologických službách využíva formát Geo3DML (Wang et al., 2018). Geo3DML združuje niekoľko formátov (tab. 2) a v našej oblasti nie je veľmi známy. Na obr. 7 je znázornený spôsob, ako sú v ňom uložené údaje.

Vymenované 3D formáty sú založené na dvoch typoch formátov – XML a JSON. Novšie štandardy využívajú JSON (*JavaScript Object Notation*) (rfc 8259, 2017). Patria sem formáty 3D Tiles, glTF a I3S. REST (Fielding, 2000). Okrem spomínaných formátov využívaných na 3D údaje aj webové služby v novších informačných systémoch poskytujú svoje údaje pomocou JSON. Ako príklad je možné uviesť ArcGIS Server. V začiatkoch poskytoval služby založené na XML. Teraz poskytuje služby aj vo formáte JSON, ktoré sú podporované v API (*Application Programming Interface*) pre programátorov.

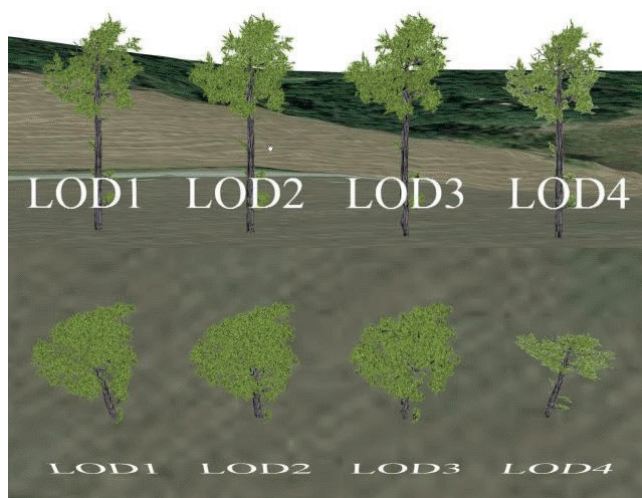
S vysokou interaktivitou systému súvisí aj technika využívaná v niektorých formátoch, umožňujúca vytvorenie

**Tab. 2.** Relevantné normy používané v Geo3DML, modularita a rozšíriteľnosť. Geo3DML používa schému XML a na definovanie UML (Wang et al., 2018).

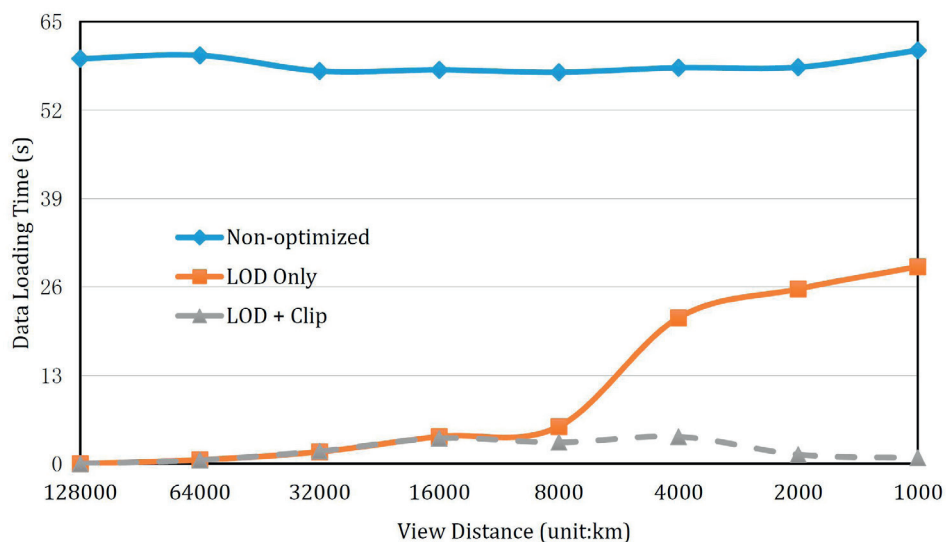
Skratka	Názov	Verzia	Prínos pre Geo3DML
FE	Filter Encoding	1.1.0	Extension for encoding 3D visual parameters
GeoSciML	Geoscience Markup Language	43834	Definition of geobjects and their relations
GMD	Geographic Information-Metadata		Extension for encoding project and geomodel metadata
GML	Geography Markup Language	3.2.1	Extension for encoding geometry-related shape objects and field data
SE	Symbology Encoding	1.1.0	Extension for encoding 3D visual parameters
SWE	Sensor Web Enablement Common Data Model	2.0	Definition of the attribute structure of geobjects



**Obr. 8.** Základný koncept LOD: a) zložitý objekt je zjednodušený, b) vytváranie úrovni detailov alebo LOD na zníženie nákladov na vykreslenie malej, vzdalenej alebo nedôležitej geometrie. Copyright © 2001 IEEE (Luebke et al., 2003)



**Obr. 9.** Štyri úrovne LOD modelu borovice (v dvoch rôznych uhloch pohľadu). Veľkosť modelu (MB): LOD 1 – 4,4, LOD 2 – 0,988, LOD 3 – 0,497, LOD 4 – 0,001. LOD 4 je iba obraz stromu v jednoduchej 2D obdĺžnikovej ploche. Pozadie textúry je priehľadné.



**Obr. 10.** Porovnanie času načítania údajov pred použitím a po použití stratégií optimalizácie, ako sa skrakuje vzdialenosť zobrazenia (Wang et al., 2017b)

realisticky vyzerajúcej scény, kde môže byť na efektívne vykreslenie nevyhnutný zjednodušený prístup. Takýto prístup sa nazýva „*Level of detail*“ (LOD) a je pozitívny v aplikáciách pracujúcich v reálnom čase, ako sú virtuálna realita, vedecká vizualizácia a návrh terénu. Tieto skutočnosti predstavujú značný dopyt po účinných metódach zjednodušenia *meshe* pre web (Wünsche, 1998).

LOD je široko používaný spôsob vo viacrozmernej vizualizácii, ktorá znižuje celkový objem údajov a súčasne zvyšuje rýchlosť renderovania a prenosu údajov (Luebke et al., 2003). Na obr. 8 je zobrazenie princípu LOD na 3D objekte zajaca. Ďalší príklad je na obr. 9, kde sa nachádzajú zložitejšie objekty. Zjednodušenie modelu zmenšením počtu trojuholníkov zmenší veľkosť a tým skráti čas prenosu a čas renderovania na strane klienta.

V práci Wang et al. (2017) autori riešili efektívny prenos veľkých súborov údajov medzi klientom a serverom a vykresľovanie veľkých údajov v klientskom prehliadači. Napríklad v údajoch o simulácii klímy sú v jednom časovom okamihu potrebné takmer 4 milióny bodov. Na prekonanie týchto prekážok sa pri vizualizácii mračna bodov používala metóda LOD. Na obr. 10 technika LOD skrakuje čas sťahovania 3D údajov v závislosti od času nahrávania modelu a viditeľnej vzdialenosti. Je vhodné využiť aj techniku orezania zobrazovaného územia, aby nemusel byť renderovaný celý rozsah.

### 3.1.3. Možnosti vizualizácie 3D objektov na internete pomocou internetových prehliadačov

3D model je možné zdieľať na internete rôznymi spôsobmi. Je možné začleniť model do súboru 3D PDF alebo vytvoriť niečo ako multimediálnu aplikáciu. Lepšou možnosťou je však vložiť model do geopriestorovej databázy a vytvoriť vhodné webové služby, aby bol k nemu prístup prostredníctvom internetových prehliadačov (Scianna, 2013). Aby bolo možné zdieľať 3D dátový model prostredníctvom internetu, je potrebné nakonfigurovať vhodný systém (Scianna, 2013).

Pred implementáciou WebGL do internetových prehliadačov IP sa využívali rôzne zásuvné moduly (ZM) (*pluginy*). Medzi takéto druhy softvéru so ZM patril Skyline (2016)<sup>1</sup> (Wu et al., 2012). Napriek tomu, že práca Wu et al. je už staršia (2012), veľmi podrobne zobrazuje pamätník Sun Yat-sen a blokovým spôsobom budovy okolo neho (obr. 11).

<sup>1</sup>V roku 2010 na NLC bol testovaný tento produkt na zobrazenie lesných porastov v teréne. Praktické nasadenie sa však pre nedostatočné ekonomické zdroje neuskutočnilo. V aktuálnom období Skyline už nie je samostatný *plugin*, ale plnohodnotne využíva WebGL.

**Obr. 11.** Blokovo zobrazené budovy okolo pamätníka Sun Yat-sen (Wu et al., 2012)



Okrem Skyline existovalo ešte veľké množstvo ZM. V tab. 3. je prehľadne spracovaný zoznam zásuvných modulov pre IP (Herman a Řezník, 2015).

**Tab. 3.** Prehľad *pluginov* na vizualizáciu 3D priestorových údajov (upravené podľa Hermana a Řezníka, 2015)

Knižnica	Licencia	Typ
3D GIS city	Freeware	3D scene
3DIS WebViewer	Freeware	3D scene
Cortona 3D viewer	free and commercial	3D scene
Adobe Flash plug-in	Freeware	3D scene
Adobe Acrobat Reader plug-in	Freeware	3D scene
Google Earth plug-in	Freeware	virtual globe
Java FX	Open Source	3D scene
JebGL	MIT	3D scene
JOGL	MIT	3D scene
Microsoft Silverlight	Freeware	3D scene
NASA World Wind	NASA Open Source Agreement v1.3	virtual globe
XNavigator	GNU General Public License 2	virtual globe

Okrem ZM sa využívali aj Java applety, čo boli binárne moduly vytvorené v programovacom jazyku Java, a tie bolo možné spustiť v IP. Využitie Java appletu na 3D vizualizáciu využil aj Scianna (2013). Na editáciu 3D objektov využil otvorený (*open-source*) softvér (OSS) Blender a veľmi zaujímavým spôsobom naplnil databázu. Skripty Python spustené v programe Blender mu umožnili ukladať údaje do priestorovej databázy implementovanej prostredníctvom PostgreSQL a PostGIS. Všetky geometrické informácie v 3D modeli sa tak prenášajú do PostGIS. Tieto informácie môže Blender načítať pomocou iných skriptov Pythonu, takže sa Blender plne integruje s databázovým úložiskom PostgreSQL/PostGIS.

Možnosti rozšíreného nasadenia zobrazovania 3D modelov priniesla až implementácia WebGL do IP. WebGL je štandard pre nízkoúrovňové programovanie grafickej karty. Umožňuje spúšťanie programov [GLSL (*OpenGL Shading Language*)] procesorom grafickej karty (grafickým procesorom) pomocou API JavaScript (WebGL, 2020). Je podporovaná veľkým množstvom internetových prehliadačov [napr. IE 11+, Firefox 4+, Google Chrome 9+, Opera 15+ (Can I use, 2020)].

WebGL vznikol v roku 2006 na základe experimentov inžiniera Mozilly Vladimíra Vukičevića. Vukičević chcel vytvoriť rozhranie API 3D kreslenia pre prvok Canvas. V roku 2009 v spolupráci s Operou, Apple a Google WebGL založil pracovnú skupinu v skupine Khronos (Parisi, 2014; Ghayour a Cantor, 2018). WebGL je založená na OpenGL ES. WebGL, verzia 1, je založená na OpenGL ES 2.0. Prvý štandard vyšiel v roku 2011. WebGL, verzia 2, je založená na OpenGL ES 3.0. Prvý štandard vyšiel v roku 2017 (The Khronos Group, 2019).

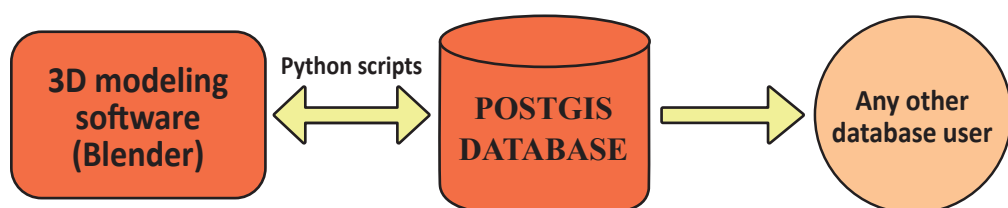
Ako už bolo spomenuté, WebGL sa programuje pomocou GLSL. Programátor využíva WebGL API a píše krátke programy v jazyku GLES (podobný jazyku C/C++), ktoré sa volajú *shadery* (*shaders*) (Ghayour a Cantor, 2018). Existuje *shader* Vertex a *shader* Fragment. V tejto práci budú kvôli nadväznosti na iné literárne zdroje používané anglické termíny.

Úlohou Vertex shader je počítať atribúty vrcholu (Vertexu). Na základe rôznych pozícií vystupujú funkcie hodnoty, ktoré sa dajú použiť na rastrovanie rôznych druhov základných objektov vrátane bodov, čiar a trojuholníkov. Keď rastuje tieto základné objekty, volá druhú funkciu prístupnú programátorovi, ktorá je známa ako Fragment shader. Jeho úlohou je vypočítať farbu pre každý pixel pôvodne nakresleného základného objektu (Ghayour a Cantor, 2018). Na obr. 13 je vzťah medzi jednotlivými *shadermi*.

Takmer všetky rozhrania API WebGL sa týkajú stavu nastavenia týchto dvojíc funkcií, ktoré sa majú vykonať. Pre každý vykresľovaný objekt je potrebné nastaviť stav potrebný na vykonanie vykresľovacích funkcií, ktoré sa spúšťajú volaním `gl.drawArrays()` alebo `gl.drawElements()`, ktoré vykonávajú *shadery* na GPU (*Graphics Processing Unit* – procesor grafickej karty) (Ghayour a Cantor, 2018). Na obr. 14 je zjednodušená schéma zakresľovacích o zretáženého spracovania WebGL (Ghayour a Cantor, 2018).

Programovanie priamo Vertex shadera a Fragment shadera je náročné, a preto bolo vyvinuté množstvo JS knižníc, ktoré túto prácu zjednodušujú. V tab. 4 je prehľad JS knižníc.

**Obr. 12.** Vzťahy medzi dátami a softvérom v projekte (Scianna, 2013)



**Tab. 4.** Prehľad programovacích knižníc založených na WebGL na 3D vizualizáciu priestorových údajov (upravené podľa Hermana a Řezníka, 2015)

Knižnica	Programovací jazyk	Licencia	Typ
ArcGIS API for JavaScript,	JS	komerčná	3D Scéna
aframe	JS	MIT	3D Scéna
Babylon.js	JS	Apache 2.0	3D Scéna
Cesium	JS	Apache 2.0	3D Scéna
CooperLicht	JS	voľná a komerčná	3D Scéna
filament	JS, C++, Java	MIT	3D Scéna
gl-matrix	JS	MIT	vektor a maticové funkcie
Hilo3d	JS	MIT	3D Scéna
litescene.js	JS	MIT	3D Scéna
Potree	JS	Free	3D Scéna
playcanvas	JS	MIT	3D Scéna
Rhodonite	TS	MIT	3D Scéna
SceneJS	JS	MIT or GNU GPL 2	3D Scéna
three.js	JS	MIT	3D Scéna
twgl.js	JS	MIT	3D Scéna
WebGL Earth	JS	GNU GPL 3	virtuálna zemeguľa
webgl-operate	TS	MIT	3D Scéna
X3DOM	JS	MIT or GNU GPL 3	3D Scéna
XML3D	JS	Voľná	3D Scéna

Po rozvoji JS knižníc pre WebGL sa začal rozvoj zobrazovania 3D objektov v internetových prehliadačoch. Začali ich využívať rôzne odvetvia ako napr. geológia, medicína, archeológia a pod., pre ktoré prináša rôzne výhody. V práci Galeazziho et al. (2016) sa hodnotí v odvetví archeológie 3D vizualizácia ako vhodná na stratigrafickú analýzu, ktorá umožňuje archeológom analyzovať stratigrafické jednotky s ich skutočnými priestorovými vzťahmi.

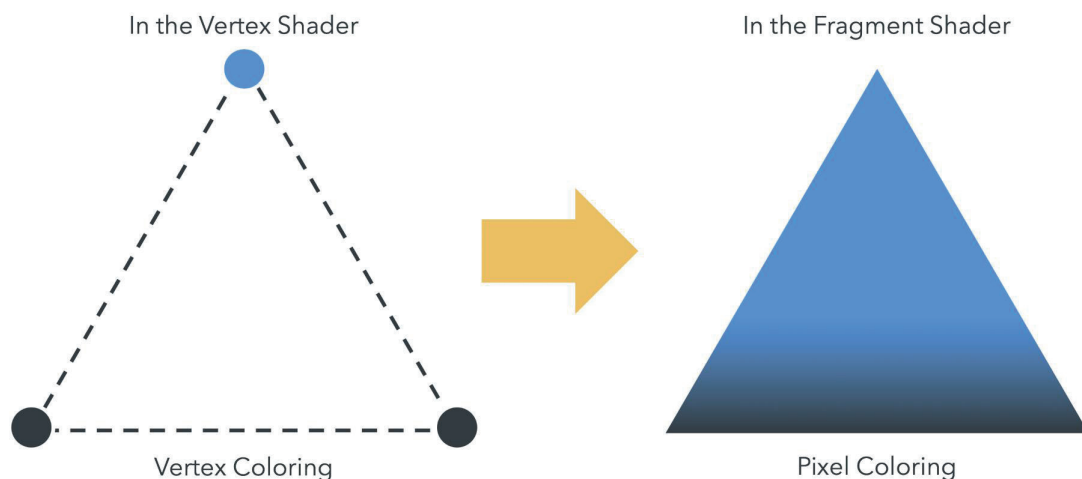
Pri simulácii povodní s využitím modelu v X3D a knižnic X3DOM kladne hodnotí 3D zobrazenie bez *pluginov* (Singh a Garg, 2016). 3D vizualizáciu pri veľkých priestorových údajoch o klimatických javoch riešili Wang et al. (2017b). Zobrazovaním dopravných priestupkov v 3D vizualizácii sa zaoberali Herman et al. (2018). Využili open-source GIS nástroj QGIS a jeho export na 3D vizualizáciu s Three.js. Zároveň uvádzajú, že „Kartografické metódy z 2D môžu byť prenesené do 3D vizualizácií“ (Herman et al., 2018).

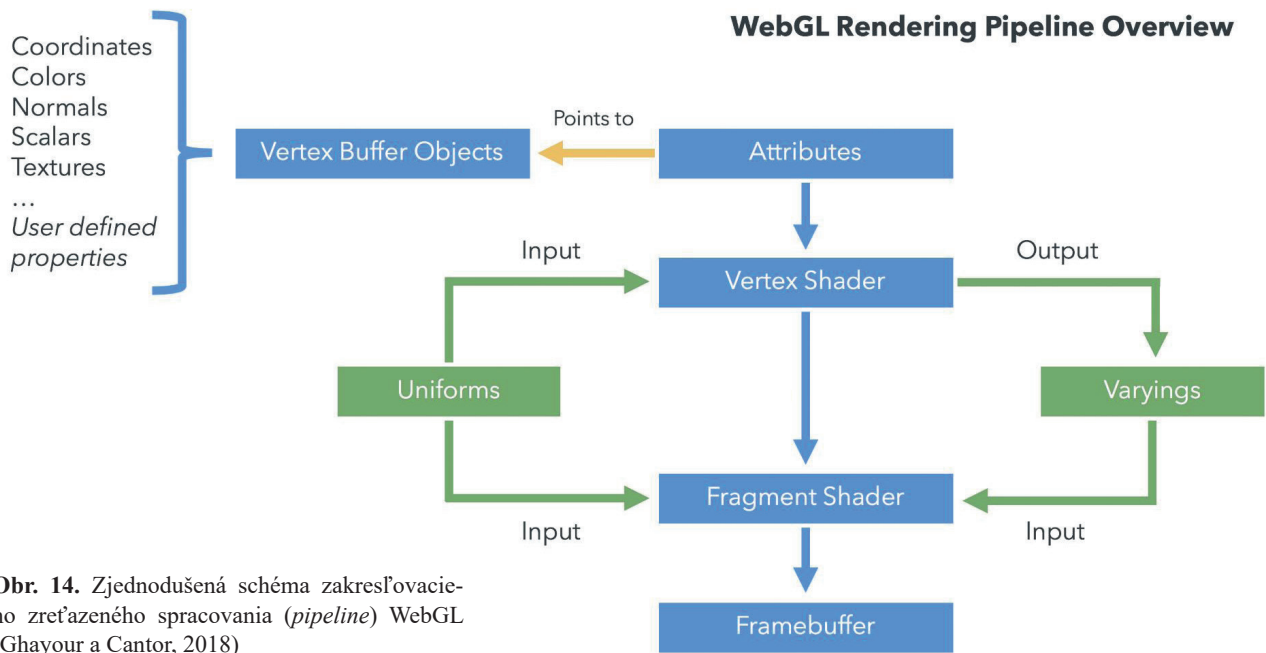
Zobrazenie 3D obsahu na internete v IP prešlo za krátky čas výraznou zmenou a využíva sa v rôznych oblastiach s kladným ohlasom na dané riešenia.

### 3.2. Vytváranie a publikovanie 3D geologických modelov na internete

Význam geológie nespočíva iba v ekonomickej oblasti pri vyhľadávaní nerastných surovín a overovaní ich zdrojov. Energetické zdroje, ako aj zásoby podzemnej vody sú základom pre život obyvateľstva a priemysel. Horninové zloženie, úložné pomery hornín a ich tektonická porušenosť (priebeh významných zlomových línií) významne ovplyvňujú odolnosť hornín proti zvetrávaniu, následný vznik pôd, formovanie reliéfu, distribúciu vodných tokov a hustotu riečnej siete na zemskom povrchu. Horniny priamo aj nepriamo ovplyvňujú biosférickú zložku krajinej sféry (Bónová, 2017).

Trojdimenzionálne (3D) geologické modelovanie sa za posledných 30 rokov dramaticky vyvinulo z techník kontúrovania a vytvárania mriežky pomocou sálových počítačov až po softvér geologického modelovania na báze PC,

**Obr. 13.** Vzťah medzi jednotlivými shadermi (Ghayour a Cantor, 2018)



**Obr. 14.** Zjednodušená schéma zakresľovacieho zret'azeneho spracovania (*pipeline*) WebGL (Ghayour a Cantor, 2018)

vyvinutý hlavne pre ropný a banský priemysel (Kessler et al., 2009).

Geologické objekty sú trojrozmerné, ale geológovia boli po mnoho rokov obmedzení dostupnými technológiami. Svoje poznatky prezentovali vo forme dvojrozmerných máp na základe svojich koncepčných trojrozmerných modelov. Geológia môže byť teraz prezentovaná 3D počítačovou technológiou. Používatelia geologických informácií v súčasnosti všeobecne uznávajú, že 3D prezentácie podmienok pod povrchom sú potrebné na podporu plánovania a rozhodovania (Lark et al., 2013). Geologické údaje založené na všetkých troch dimenziách poskytujú lepší prehľad o geologických podmienkach a lepšie pochopenie zložitých geologických javov a procesov. Záujem o 3D modelovanie v geológii sa rozširuje (Jarna et al., 2016). Britský geologický prieskum (BGS) v 21. storočí predpokladá, že 3D geologické modely budú predstavovať logicky ďalší krok z tradičnej 2D geologickej mapy, a teda hlavný výstup z budúceho programu (Kessler et al., 2009; Muzik et al., 2015). Budovanie 3D geologických modelov je rozhodujúce pri hodnotení rizík v zosuvných územiach (Yang et al., 2019). 3D geologický model zohral dôležitú úlohu pri optimalizácii urbanistického plánovania mesta Chengdu a transformácii a modernizácii ďalších miest. Poskytuje vláde základnú podporu údajmi pri implementácii územného plánovania na zemi, prevencii geologických katastrof, ekologickej ochrane životného prostredia, riadení a plánovaní zdrojov podzemného priestoru, rozhodovaní o ňom a jeho využívaní a komplexne zvyšuje úroveň účasti geologických prác na rozhodovaní o správe miest (Hao et al., 2019).

To je len niekoľko príkladov, ktoré svedčia o pozitívnom ohlase na budovanie a publikáciu 3D modelov v geológii. Tvorba modelu je veľmi náročný proces, do ktorého vstupuje veľké množstvo primárnych a sekundárnych údajov

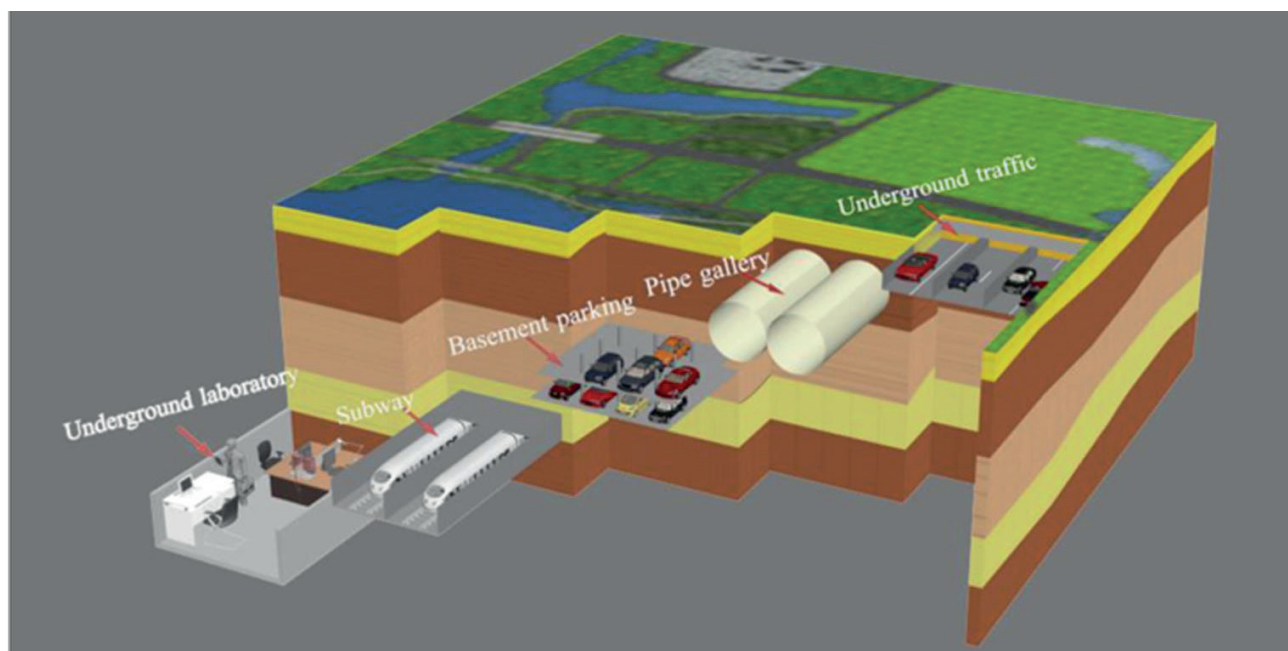
(Tuček, 1998). V projekte geologickej úlohy *3D Geologická mapa Slovenskej republiky v mierke 1 : 500 000* (Zlocha et al., 2020) je metodický postup pri vytvorení 3D geologického modelu definovaný takto:

#### prípravné práce:

- zbieranie vstupných údajov:
  - vrtná dokumentácia,
  - dostupná geofyzikálna dokumentácia (hlavne seizmické rezy),
  - publikované geologické mapy a rezy,
- definícia koncepcie modelu:
  - konzultácie s expertmi vzhľadom na náplň a ohraničenie horizontov, štruktúrne prvky (zlomy) vrátane ich spôsobu a veku aktivity,
- príprava vstupných údajov na účely 3D modelovania podľa definovanej koncepcie:
  - prehodnotenie horizontov a zón,
  - prehodnotenie seizmických profilov,
  - digitalizácia existujúcich máp a geologických rezov,

#### 3D modelovanie:

- zadávania predpracovaných vstupných údajov:
  - zadávanie vrtov (*wellheads* – základné parametre, *welltops* – štruktúrovaná horninová náplň),
  - digitalizácia umiestnených geologických rezov a seizmických profilov,
  - digitalizácia mapových podkladov (hĺbka podložja, geologická mapa na povrchu, v podloží a pod.),
- vytvorenie základných horizontov a prvkov:
  - povrch – na základe digitálneho modelu reliéfu,
  - predkenozoické podložie – na základe literatúry a predchádzajúcich modelov,
  - fiktívna báza modelu – umelý základný horizont kopírujúci predkenozoické podložie v premenlivej hĺbke,



Obr. 15. Návrh vizualizácie na rozvoj a využitie podzemných priestorov (Hao et al., 2019)

- ohraničenie (štátna hranica) a niektoré pomocné polygóny (ohraničenie predkenozoika na povrchu, rieky, väčšie mestá a pod.),
- tvorba štruktúrneho modelu:
  - zadávanie a ladenie zlomov,
  - vytvorenie 3D gridu,
  - nastavovanie vertikálnych posunov na zlomoch,
- modelovanie horizontov (deliacich plôch medzi jednotkami):
  - vytvorenie TOP horizontu predkenozoického podložja (hlavný deliaci horizont medzi predkenozoickými a kenozoickými komplexmi),
  - modelovanie čiastkových horizontov predkenozoického podložja,
  - modelovanie čiastkových horizontov kenozoickej panvovej náplne vrátane neovulkanitov,
- modelovanie zón (3D objekty ohraničené horizontmi a zlomami) (Zlocha et al., 2020).

Metodický popis vytvárania 3D modelu v geológii náorne zobrazuje zložitosť a časovú náročnosť jeho tvorby. Výsledok projektu *3D geologický model Slovenskej republiky 1 : 500 000* je použitý ako zdroj údajov praktickej časti tejto práce. Podobný metodický postup bol zvolený aj pri projekte *Hornonitrianska kotlina – trojrozmerné geologické modelovanie exponovaného územia* (Kotulová et al., 2010). Tento model je použitý na testovanie funkcionality a na vývoj postupu transformácie z programu Petrel pre prostredie internetu. Postup je opísaný v ďalšej časti práce.

Geologické 3D modely sa najprv vytvárali pre oblasť ťažby nerastných zdrojov. V posledných rokoch sa táto činnosť rozšírila aj na iné oblasti ako mestá (Schokker et al., 2015) (GBA, 2019), rôzne záujmové oblasti (Kotulová et al., 2010) a dokonca celé územia štátov (Veľká Británia, Nórsko).

Geologické modelovanie sa môže využívať aj na rozvoj podzemných priestorov v meste. Je však potrebné zabezpečiť integráciu údajov nad povrchom a pod ním (Hao et al., 2019).

Na vizualizáciu 3D údajov v geológii sú použité rôzne formáty a postupy – od desktop aplikácie priamym programovaním GPU (Mateo et al., 2014) až po použitie internetu. V geológii sa veľmi často používal Google Earth, kde sa vytvárali KML (2015) aj pomocou Visual Basicu (Blenkinsop, 2012).

KML umožňuje spájanie s 3D formátom Collada (2008). Využitie KML a formátu Collada je možné nájsť v prácach De Paor a Whitmeyer (2011) a Triantafyllou et al. (2017). Triantafyllou et al. (2017) si na prípravu údajov vytvorili nástroj Geolokit (Python). 3D prostredie aplikácie Google Earth hodnotia ako pozoruhodné na zobrazovanie 3D objektov. Dosahuje sa to pomocou georeferenčných 3D modelov kódovaných vo formáte Collada.

Tieto práce využívali prostredie desktop na zobrazovanie 3D geologických modelov. Pred rozšírením využitia WebGL sa aj v geológii využívali ZM (*pluginy*). Autori si vytvárali vlastné (Li a Zhu, 2013) alebo využili existujúce, napríklad pre VRML (*Virtual Reality Modeling Language*) (Baojun et al., 2009).

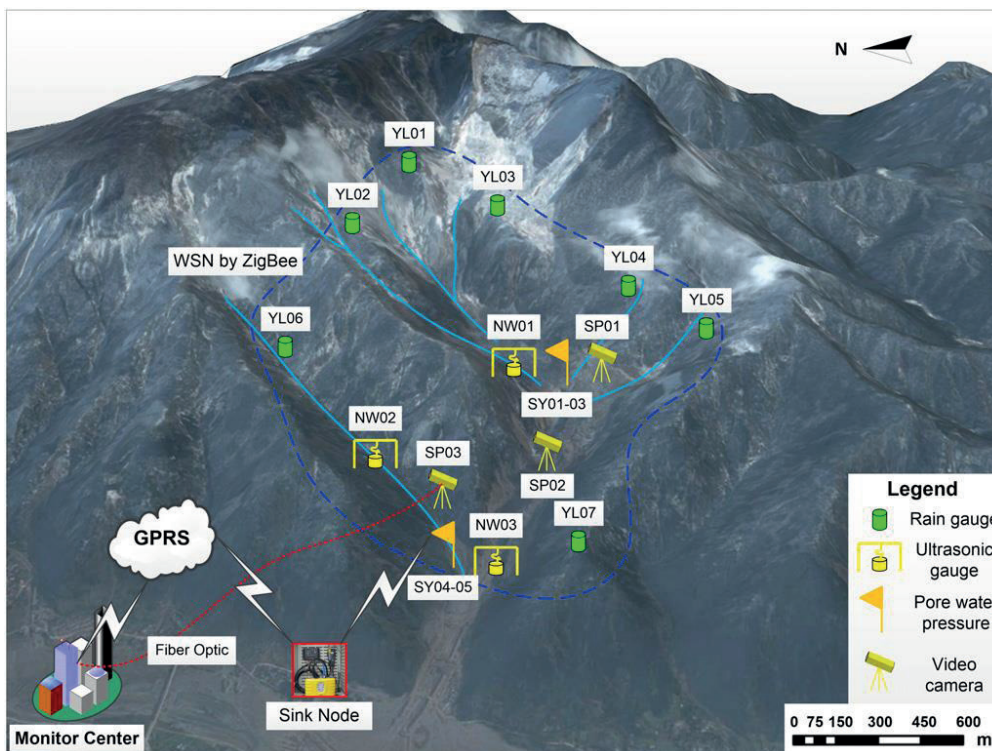
Rozvoj JS knižníc pre WebGL pomohol aj rozvoju publikovania 3D geologických modelov na internete. Autori využívajú knižnice X3DOOM (Herzig et al., 2013; Kmocho a Klug, 2014), Three.js (GBA, 2019; Nolde et al., 2016) a Cesium (Hunter et al., 2014; Müller et al., 2016). Veľmi zaujímavá je prípadová štúdia na využitie 3D WebGIS ako včasné varovanie pred zosuvmi kamenných úlomkov s využitím Bing maps JS API (Huang et al., 2015). Senzory bezdrôtového monitorovacieho systému (obr. 16) varujú obyvateľstvo pred zosuvom kamenných úlomkov.

Pri 3D KV existuje určitá neistota, pri identifikácii polohy kliknutia vedie autorov ku kombinácii 2D a 3D vizualizácie (Nolde et al., 2016; Chen et al., 2016). Ako už bolo spomenuté, Herman (2018) vo svojej práci uvádza: „Interaktívne 3D mapy sú vhodné, keď je potrebné správne rozhodnutie a nie je časovo náročný proces rozhodovania.“

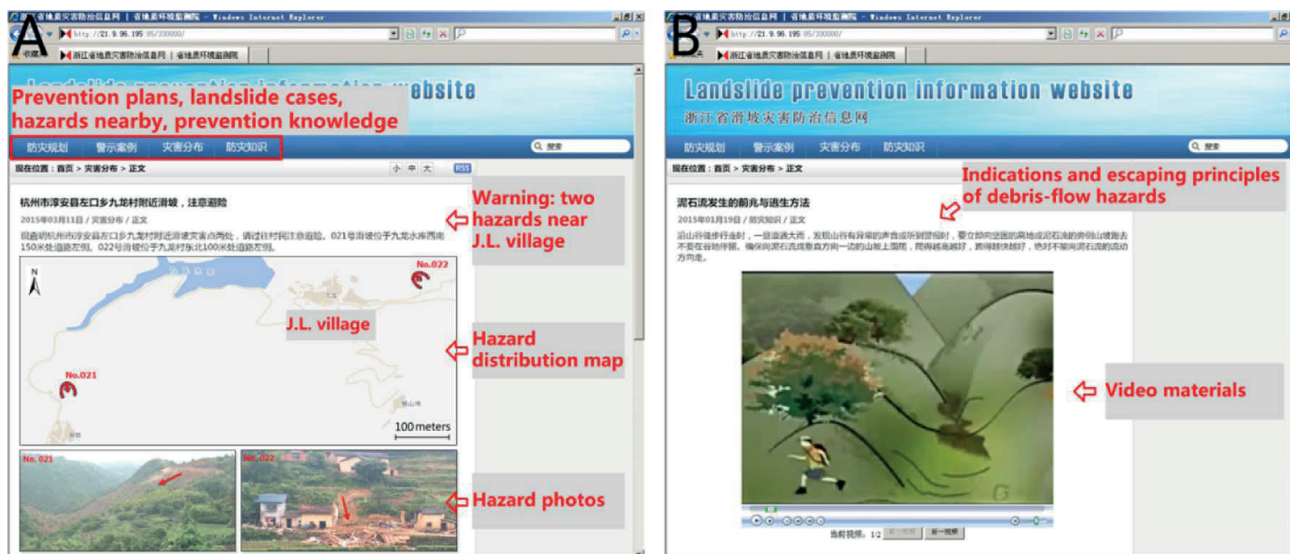
Výhodou informačného systému je, ak umožňuje kombináciu 2D a 3D vizualizácie podľa požiadaviek používateľa. Realizáciou vývoja 2D a 3D interaktívneho systému

sa zaoberali už Sun et al. (2009), ktorí vytvorili systém na zobrazovanie 2D/3D vizualizácie. Implementáciu riešili vzhľadom na možnosti informačno-komunikačných technológií IKT pomocou desktop riešenia.

Zvyšovanie výskytu miestnych extrémov zrážok, ako aj intenzity ľudských činnosti vedú k častejšiemu výskytu zosuvov. Zosuvy rôznych druhov a mierok predstavujú pre obyvateľstvo výrazné nebezpečenstvo a sú problematické po celom svete. Na tieto účely je veľmi vhodné využívať



Obr. 16. Sieť monitorovacích bezdrôtových senzorov v reálnom čase (Huang et al., 2015)



Obr. 17. Zobrazenie informácie na prístup verejnosti: A – rozloženie nebezpečenstva v blízkosti dediny J. L., B – príklad prevencie (Chen et al., 2016)

2D a 3D vizualizáciu. Na obr. 17 je zobrazený informačný systém využívajúci JS knižnicu Skyline (2016) riešiaci krízový manažment v zosuvných územiach (Chen et al., 2016).

### 3.3. Vytváranie a publikovanie 3D modelov v lesníctve na internete

2D zobrazenie lesnej krajiny vo formáte satelitných snímok alebo rastrových klasifikovaných máp spolu so sumárnymi tabuľkami dokáže znázorniť základné charakteristiky lesa. 3D zobrazenie s 3D modelovaním stromov je však viac intuitívne a môže poskytovať viac štruktúrovanú a viditeľnú informáciu v porovnaní s 2D zobrazením (Wang et al., 2017).

Na vytvorenie údajov na 3D modelovanie je možné využiť priame meranie biometrických veličín, ktoré sa vykonáva mechanickými, optickými (napr. priemerky, výškomery, pásma a pod.) alebo elektronickými technickými prostriedkami (napr. FieldMap, 2018). Tieto tradičné metódy sú však časovo náročné a nemôžu priamo zmerať objem kmeňa alebo celkovo objem biomasy (Marzulli et al., 2020).

Pri ďalších spôsoboch získavania údajov na 3D modelovanie v lesníctve sa používa laserové skenovanie, blízka fotogrametria a simulátory rastu.

#### 3.3.1. Laserové skenovanie a blízka fotogrametria

Podľa štúdie Mongusa a Žalika (2015) 3D prístupy na vyhotovenie koruny stromu z laserového skenovania môžu byť vytvorené iba pomocou štatistických metód alebo založené na zhľukovaní. Tieto metódy sa spoliehajú na predpoklad, že pre stredy korún stromov je charakteristická vysoká hustota bodov.

#### Typy laserového skenovania a zoznam autorov, ktorých práce boli použité:

- **letecké** (Ferraz et al., 2012; Vastaranta et al., 2012; Duncanson et al., 2014; Strimbu a Strimbu, 2015; Sullivan et al., 2017; Polewski et al., 2018);
- **pozemné** (Zhang et al., 2016; Liang et al., 2016; Liu et al., 2017; Saarinen et al., 2017; Wilkes et al., 2017; Seidel et al., 2019);
- **mobilitné** (Del Perugia et al., 2019; Pascu et al., 2019; Hyypä et al., 2020; Vatandaşlar a Zeybek, 2020).

#### Typy blízkej fotogrametrie:

- **UAV fotogrametria** (Gizlenmistir, 2018; Yurtseven et al., 2019; Wang et al., 2019);
- **pozemná fotogrametria** (Liang et al., 2015; Piermattei et al., 2019; Marzulli et al., 2020).

#### Letecké laserové skenovanie

Letecké laserové skenovanie (ALS – *airborne laser-scanning*) je aktívna technika diaľkového snímania, ktorá poskytuje georeferenčné merania vzdialenosti medzi

platformou na diaľkové snímanie a povrchom (Mallet a Bretar, 2009; Shan a Toth, 2009 in Ferraz et al., 2012). Existujú dve hlavné úrovne na riešenie extrakcie parametrov lesa z údajov ALS: údaje sú spriemerované na celú plochu niekoľkých stromov (napr. stredná výška koruny, biomasa, zakmenenie, index plochy listov), zatiaľ čo v individuálnej mierke sa odhadujú na jeden strom (napr. výška stromu, priemer koruny, výška základne koruny) (Ferraz et al., 2012). Identifikácia jednotlivých stromov je nevyhnutná pri mnohých aplikáciách v lesnom hospodárstve a ekológii (Dai et al., 2018).

Práca s mračnom bodov je veľmi náročná na výpočtový výkon. Preto aj pri 3D mapovaní porastov s ALS sa na zjednodušenia mračna bodov využívajú rôzne klasifikačné techniky. Na overenie tvorby 2D/3D vizualizácie v sektore lesníctvo sú údaje vytvorené pomocou ALS. Metódy klasifikácie mračna bodov sú veľmi rozsiahla problematika a venuje sa jej veľké množstvo autorov. Analýza metód klasifikácie nepatrí medzi ciele tejto práce, a preto kvôli základnému prehľadu spomenieme iba tie, ku ktorým sme sa pri štúdiu literatúry dostali. Uvedené budú názvy metód spolu s autormi, ktorí ich použili:

- stredný posun (*mean shift*) (Ferraz et al., 2012),
- maximum vo výškovom modeli pokryvu korún (Vastaranta et al., 2012),
- algoritmus využívajúci niekoľko výškových modelov a metódu *watershed* (Duncanson et al., 2014),
- pomocou hierarchizovaných dátových štruktúr a váženého grafu (Strimbu a Strimbu 2015), podmienené náhodné polia (CRF) (Polewski et al., 2018; Sullivan et al., 2017; Dai, Yang et al., 2018; Liu et al., 2019).

Okrem vytvárania 3D modelov sa ALS využíva aj na zisťovanie plochy listov a tým aj zdravotného stavu lesa (Li, Guo a Su, 2018; Zhu et al., 2020). Ďalší spôsob využitia ALS je na kvantifikáciu biomasy na energetické účely (Hauglin et al., 2013). Hauglin et al. (2013) uvádzajú, že pri porovnaní prognóz údajov z ALS s údajmi vytvorenými pomocou rovníc odhadujúcich biomasu a skutočných biometrických veličín DBH meraných na výskumných plochách (priemer stromu vo výške 1,3 m nad zemou) a h (výšky) poskytli modely založené na ALS o niečo lepšiu presnosť. To naznačuje, že biomasu je možné presnejšie odhadnúť z ALS.

#### Pozemné laserové skenovanie

V poslednej dekáde je možné sledovať trvalý pokrok v štúdiách využívajúcich pozemné laserové skenovanie (TLS – *terrestrial laser scanning*). Atribúty stromu, ktoré možno automaticky odhadnúť z mračna bodov a bežne sa používajú v inventarizácii lesov, môžu byť rozšírené o atribúty, ktoré nie sú merateľné pomocou konvenčných nástrojov. Experimenty pri automatizovanom spracovaní údajov, ktoré sa najprv uskutočňovali v homogénnych lesoch, sa neskôr rozširovali do porastov s variabilnou štruktúrou. Stredná odchýlka 1 – 2 cm na výpočet biometrických

veličín stromu, ako je DBH, je dostatočná na vytvorenie národných alometrických modelov. Vyvinuté metódy, experimenty a techniky preukázali, že TLS sa môže používať na zhromažďovanie určitých dendrometrických veličín na výskumných plochách (Liang et al., 2016).

Na základe vykonaných analýz sa odporúča, aby vzorkovacia mriežka bola 10 x 10 m, ktorá je schopná poskytnúť homogénnu hustotu potrebnú na rozlíšenie vetiev vyšších rádoov smerom k vrcholcu (Wilkes et al., 2017).

Ďalšie odporúčanie pri využití TLS na vytváranie rovníc objemu kmeňa je, aby kritická vzdialenosť od stromu bola minimálne 25 % jeho výšky. Zároveň je potrebné vykonať viac meraní s väčšou variabilitou (Saarinen et al., 2017).

Pokiaľ ide o využívanie TLS v bežnej praxi, po viac ako desiatich rokoch aktívneho výskumu TLS ako operatívny nástroj v inventarizácii lesov ešte nebolo akceptované. Jeho použitie brzdia hlavne ťažkosti pri automatizácii spracovania mračna bodov, ktoré by malo poskytnúť presvedčivé výsledky merania pri najviac požadovaných parametroch inventarizácie lesov. Stále existuje nedostatok automatických a presných metód na zistenie niektorých dôležitých atribútov stromov, ako sú druh dreviny a jej výška, ktoré je potrebné naďalej rozvíjať ďalšími štúdiami. Ďalšími dôležitými faktormi, ktoré obmedzujú použitie tejto technológie, sú vysoké náklady na prístrojové a softvérové vybavenie a nedostatok odborného personálu v bežnej praxi (Liang et al., 2016).

Počas skenovania však existujú aj určité obmedzenia, ktoré sú spôsobené systémom TLS a zložitými environmentálnymi podmienkami. Na rozdiel od systémov ALS, pri každom skenovaní TLS sa väčšina z množiny mračna bodov zhromažďuje v blízkosti skenovacej pozície. To sťažuje odhad parametrov lesa v celej lokalite z jediného skenovania (Zhang et al., 2016).

#### Mobilné laserové skenovanie

Výskumné práce založené na mobilnom laserovom skenovaní (MLS) sa presunuli z vozidiel (ZEB1) (Del Perugia et al., 2019) cez batohy (Riegl VUX 1HA) (Hyypä et al., 2020) po ručné skenery (Zeb-Revo) (Vatandaşlar a Zeybek, 2020). Pri týchto metódach sa využíva SLAM (simultánna lokalizácia a mapovanie) (Riško, 2011). Zároveň sa musí v postprocesingu vygenerovať línia snímania, korekcia uhla sklonu drieku a algoritmus vyrovnania oblúka korigujúci posuny, ktoré sú stále prítomné v kmeňových bodoch po použití algoritmu SLAM (Hyypä et al., 2020). Hodnotenie využitia ručného skenera ako sľubnej metódy je v práci Vatandaşlar a Zeybek (2020). Preto by sa budúce úsilie malo zamerať na rozvoj extrakčných algoritmov na určenie automatickej výšky vertikálnej štruktúry lesných ekosystémov. Je rovnako dôležité integrovať *lowcost* senzory do ručných nástrojov MLS prostredníctvom procesov výskumu a vývoja. Výrazným obmedzením pre krajiny so strednými a nízkymi príjmami sú stále obstarávacie náklady (Vatandaşlar a Zeybek, 2020).

#### UAV fotogrametria

Pojem blízka fotogrametria sa používa v zahraničnej literatúre (Inglot a Tysiac 2017). Rusnák a Kidová (2018) uvádzajú pojem UAV fotogrametria, ktorá jednoznačne určuje typ fotogrametrie. Na Slovensku je možné stretnúť sa aj s pojmom nízkonákladová letecká fotogrametria (Fraštia, 2013). Už sme spomenuli výhody ALS. Napriek tomu, že to je efektívny nástroj na zber prvotných priestorových informácií, je veľmi nákladný. Pre menšie územie je vhodnejšou alternatívou UAV fotogrametria a pozemné laserové skenovanie (Inglot a Tysiac, 2017). Navyše, údaje vznikajúce blízkou fotogrametriou (UAV fotogrametria) dosahujú vyššiu presnosť ako letecké skenovanie (Wang et al., 2012 in Inglot a Tysiac, 2017).

#### Pozemná fotogrametria

Techniky na zber 3D údajov o lese prešli za posledné dve desaťročia dramatickými zmenami. Viac ako storočie jedinou účinnou technikou získavania vysoko presných trojrozmerných údajov na veľkých plochách bola stereoskopia. V poslednom období však v rôznych aplikáciách zameraných na prieskum stereoskopiu už prekonalo LS. Hlavnou hnacou silou zvyšujúcej sa popularity LS je jeho schopnosť priamo získavať rozsiahle a vysoko presné 3D mračná bodov, ktoré poskytujú podrobné priestorové opisy predmetov záujmu (Liang et al., 2015). Aj keď má stereoskopia dlhú históriu štúdia a využitia, automatická trojrozmerná rekonštrukcia bodových oblakov zo stereosnímkov alebo viacerých snímok bola obmedzená veľkým výpočtovým zaťažením. Ešte pred desiatimi rokmi sa 3D rekonštrukcia s veľkým súborom obrazov (viac ako 100) považovala za výpočtovo neriešiteľnú (Liang et al., 2015).

TLS v súčasnosti predstavuje najpresnejší spôsob získavania údajov zo snímanej plochy. Výskum sa teraz zameriava najmä na odvodenie krivky kmeňa stromu z údajov TLS a MLS. Kvôli nákladom a času na získanie a spracovanie údajov z viacerých meraní, ktoré sú potrebné na úplné pokrytie pozemku, lesnícki vedci však hľadajú alternatívne metódy (Piermattei et al., 2019).

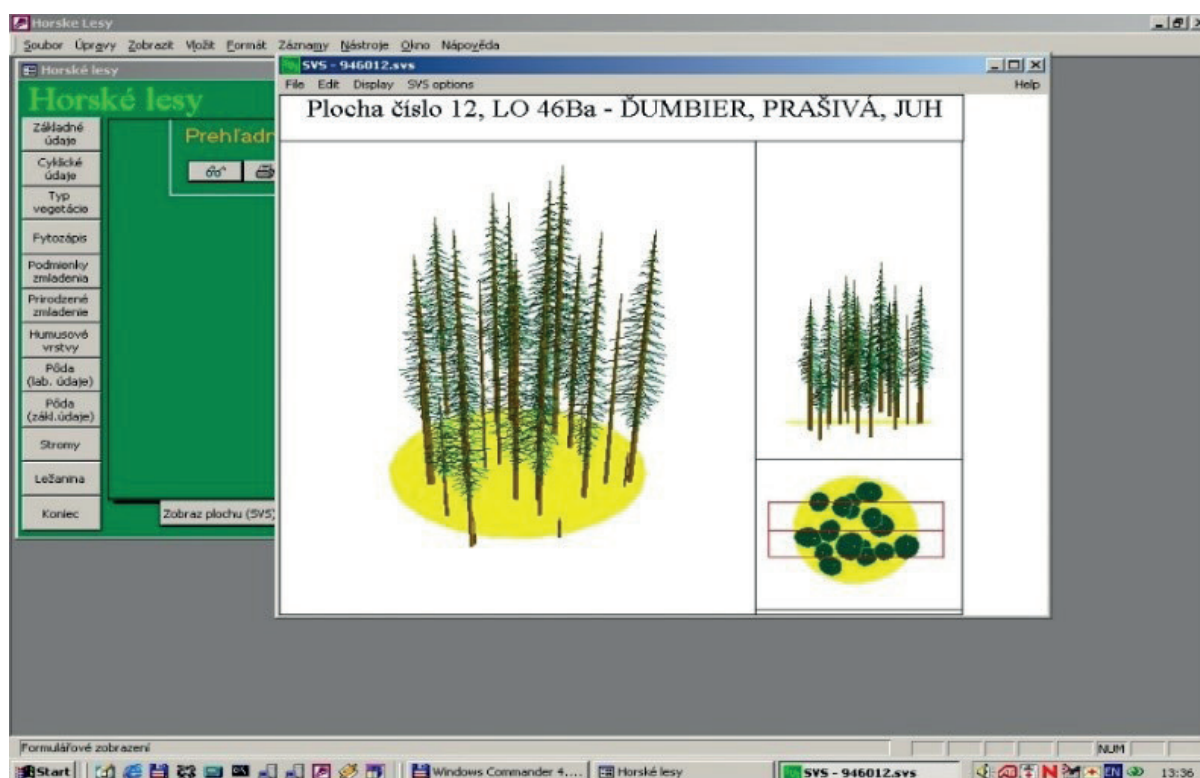
Veľmi dobré porovnanie tradičných meraní biometrických veličín, TLS a pozemnej fotogrametrie spracovali Piermattei et al. (2019). Výskumný projekt dvoch krajín, Rakúska a Slovenska, bol zameraný na plochy pri Viedni a Zvolene. Motiváciou aplikácie pozemnej fotogrametrie SfM (Schonberger a Frahm, 2016) na lesných pozemkoch bolo vyhodnotiť jej uskutočniteľnosť a vhodnosť na odvodenie pozícií stromov, DBH (priemer stromu vo výške 1,3 m) a spodných častí kriviek kmeňa na podporu inventarizácie lesov. V tomto ohľade pozemná SfM fotogrametria ponúka nízku cenu a potenciálne rýchle riešenie vďaka vysokej prenosnosti fotoaparátu na odvodenie mračna 3D bodov na lesnom pozemku (Piermattei et al., 2019). Výsledky porovnania sú v tab. 5 a 6.

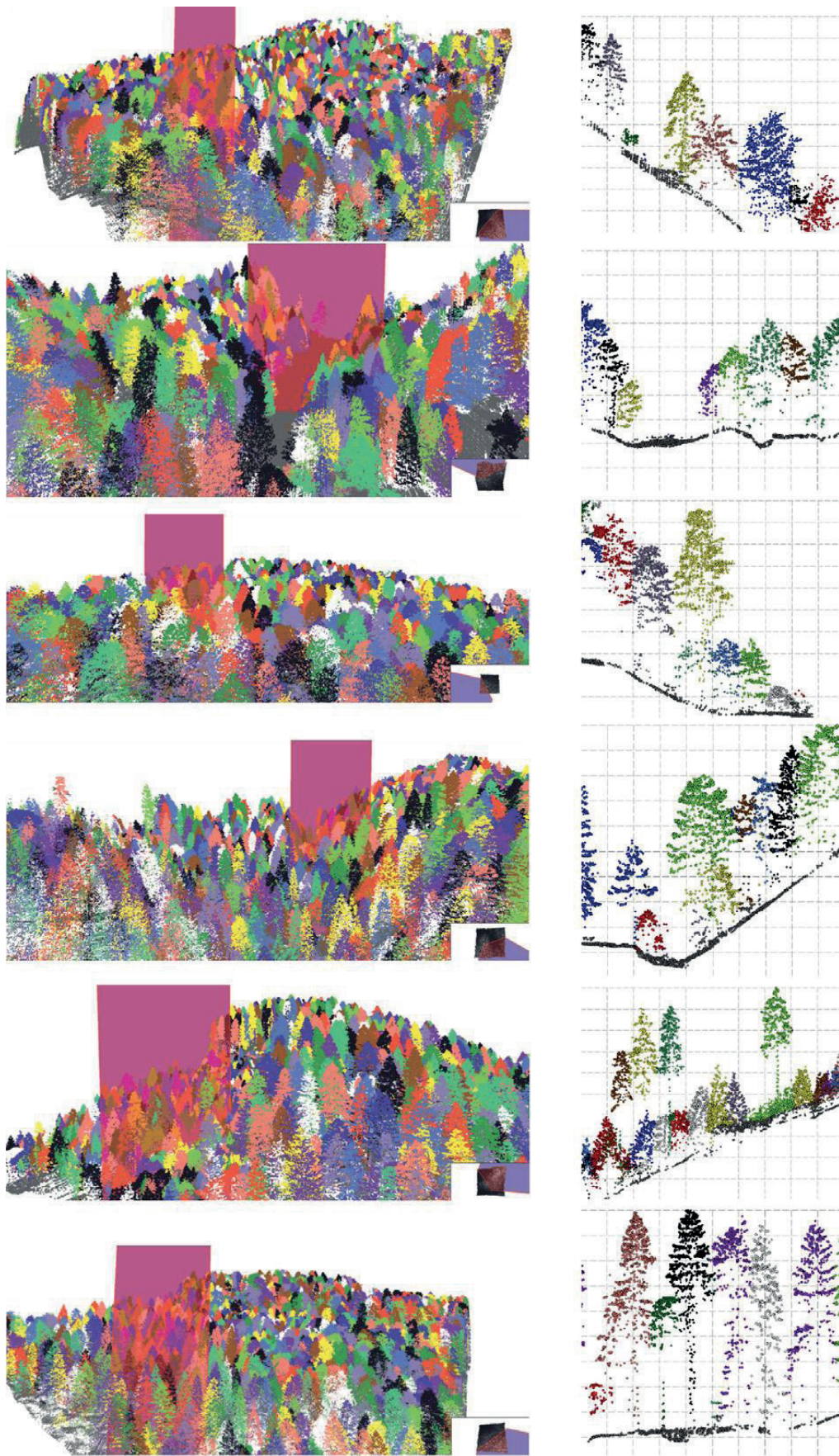
**Tab. 5.** Úplnosť detekcie kmeňa stromu (Piermattei et al., 2019)

Study plot	No. of Detected Trees			No. of Corresponding Trees [no. (%)]			Average DBH (Ref.) of Missing Trees [cm]	
	SfM	TLS	Ref	SfM vs. Ref	TLS vs. Ref	SfM vs. TLS	SfM	TLS
Slovakia, Plot 1	47	47	46	45 (98)	45 (98)	46 (98)	9,7	9,7
Slovakia, Plot 2	76	90	110	72 (65)	87 (79)	67 (74)	17,7	12,2
Austria, Plot 1	61	90	66	55 (83)	66 (100)	61 (68)	12,6	–
Austria, Plot 2	52	60	47	43 (91)	46 (98)	52 (87)	7,5	5,7

**Tab. 6.** Približné časy potrebné na získanie a spracovanie údajov pri každej metodológii zisťovania (Piermattei et al., 2019)

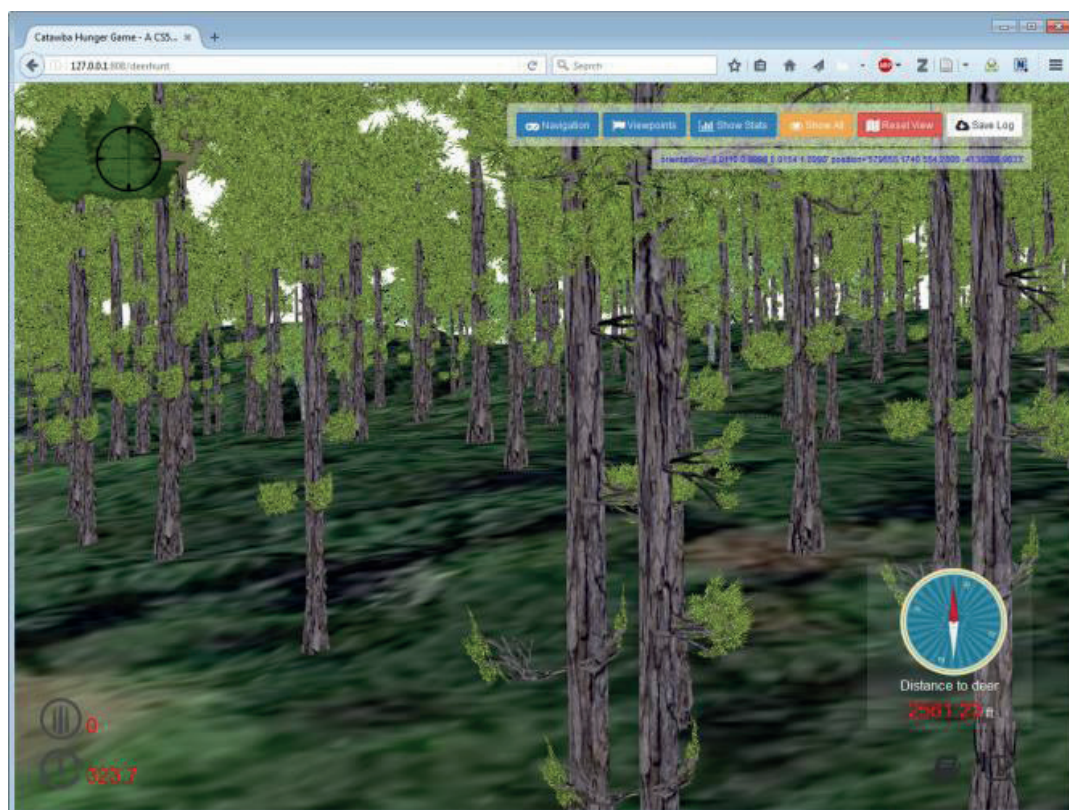
Study Plot	SfM			TLS			Reference
	Image Acqu. (No. Photos)	Orientation	Dense Image Matching	Scan Acqu.	Scan Registration & Post-Proc.	DBH	Tree Location
Slovakia, Plot 1	30' (338)	7 h 40'	9 h 20'	2 h 20'	3 h	1 h	2 h
Slovakia, Plot 2	2 h (775)	30 h 10'22 h 10'	1 h 10'	3 h	1.5 h	3 h	
Austria, Plot 1	2 h (531)	17 h 20'	33 h 30'	1 h 45'	2.5 h	1 h	2,5 h
Austria, Plot 2	1 h 30' (632)	23 h 30'	18 h 10'	3 h 30'	2 h	1,5 h	2,5 h

**Obr. 18.** Vizualizácia výskumnej plochy v projekte *Výskum metód obhospodarovania horských lesov na princípe trvalo udržateľného rozvoja*



**Obr. 19.** Testovacie datasety (súbory údajov) DS1, DS2, DS3, DS4, DS5 a DS6 s rovinami rezov (vľavo) a vizualizácie prierezov (vpravo) (Mongus a Žalik, 2015)

Obr. 20. 3D vizualizácia lesa (Wang et al., 2017a)



Tab. 7. Zoznam modelov simulátorov rastu porastov (Fabrika et al., 2019)

Model	Object	Space	Time	Concept	References
3D-CMCC-FEM	class / cohort	bio-group (grid cell)	day	process-based	Collalti et al. 2014
3PG-BW	population	forest stand	month	process-based	Landsberg & Waring 1997
4C	class / cohort	forest stand	day	process-based	Bugmann et al. 1997
ANAFOR	class / cohort	bio-group	day	process-based	Deckmyn et al. 2008
BALANCE	Organ	3D position	day	process-based	Rötzer et al. 2010; Rötzer et al. 2012; Grote & Pretzsch 2002
BASFOR	population	forest stand	day	process-based	Van Oijen et al. 2005
Biome-BGC	population	bio-group	day	process-based	Thornton et al. 2005
BWIN	Organism	forest stand	5 years	empirical	Nagel 1996
CARAIB	ecosystem	bio-group (grid cell)	day	process-based	Warnant et al. 1994
CASTANEA	population	forest stand	hour	process-based	Dufrène et al. 2005; Guillemot et al. 2016
CENTURY	ecosystem	forest stand	month	process-based	Parton et al. 1987; Allister et al. 1993
Community Land Model (CLM4.5)	class / cohort	bio-group (grid cell)	30 min	process-based	Oleson et al. 2013; Fan et al. 2015
CoupModel	class / cohort	forest stand	minute	process-based	Eckersten & Jansson 1991; de Willigen 1991; Jansson & Karlberg 2004; Svensson et al. 2008
ED2	class / cohort	bio-group (grid cell)	hour	process-based	Medvigy et al. 2009; Hurtt et al. 2013
FOREST	Organism	2D position	year	empirical	Ek & Monserud 1974
ForGEM	Organism	Region	hour	empirical	Kramer et al. 2008; Kramer & Werf 2010; Kramer et al. 2015
FORMIND	Organism	forest stand	day	process-based	Bohn et al. 2014
GO+	Organism	forest stand	hour	process-based	Loustau 2010
GO+TreeStabd	Organ	forest stand	30 min	structural + process-based	Loustau et al. 2005
GOTILWA	class / cohort	forest stand	hour	process-based	Shinozaki et al. 1964; Keenan et al. 2009;
HeteroFor	Organism	forest stand	hour	empirical	Jonard & André 2018
iLand	Organism	2D position	day	process-based	Seidl et al. 2012
LANDIS-II	class / cohort	bio-group (grid cell)	year	process-based	Scheller et al. 2011
LandscapeDNDC	class / cohort	bio-group (grid cell)	minute	process-based	Grote 1998; Grote et al. 2011; Grote & Reiter 2004;
LIGNUM	Organ	3D position	year	structural + process-based	Sievänen et al. 2008; Perttunen et al. 1998
LPJ-GUESS	class / cohort	bio-group	day	process-based	Smith et al. 2001; Sitch et al. 2003; Smith et al. 2014
MOSES	Organism	2D position	5 years	empirical	Hasenauer 2006; 1994
ORCHIDEE-CAN	class / cohort	bio-group (grid cell)	day	process-based	Naudts et al. 2015
PICUS	Organism	forest stand	year	process-based	Lexer & Hönninger 2001; Seidl et al. 2007; Seidl et al. 2009; Seidl et al. 2005
PnET	ecosystem	bio-group	month	empirical	Aber & Federer 1992
PROGNAUS	Organism	forest stand	5 years	empirical	Sterba 1995
SIBYLA	Organism	3D position	year	empirical (semi-empirical)	Fabrika 2005; Fabrika & Ďurský 2006; Fabrika & Pretzsch 2011
SILVA	Organism	2D position	5 years	empirical (semi-empirical)	Pretzsch et al. 2002; Pretzsch 2009
TreeMig	class / cohort	bio-group (grid cell)	year	process-based	Lischke et al. 2006; Bugmann 1994

Všeobecne platí, že údaje získané ľubovoľnou metódou sa vzťahujú iba na určité časti scény. Ako príklad vezmeme dáta ALS, kde v prípade budov sa údaje o fasádach do značnej miery vynechávajú. Na druhej strane, údaje o fasáde je možné ľahko zachytiť MLS alebo TLS, čo poskytuje dobrý doplnok k údajom ALS. Na rozšírenie podobnosti scény je tak možné využiť zjednotenie údajov (Yang et al., 2015).

Napriek tomu, že interaktívna 3D vizualizácia lesa môže uľahčiť výskum štruktúry lesa, priestorových vzorcov, dynamiky a rastu jednotlivých stromov naprieč krajinou, jej výskyt je zriedkavý. Aj keď už bolo vyvinutých množstvo nástrojov vizualizácie lesov, väčšina z nich sú samostatné programy (obr. 18)<sup>2</sup>. Zriedkavú existenciu webových vizualizačných nástrojov zapríčiňuje kompromis medzi požiadavkou na vernosť zobrazenia a na prijateľné náklady (Wang et al., 2017a). Autori sa zameriavajú skôr na výpočet charakteristík porastu než na zobrazenie na internete. Typický výstup výskumnej práce v aplikačnej sfére lesníctva na analýzu údajov s LS je na obr. 19.

Wang et al. (2017a) vo svojej štúdii vyvinuli pracovný postup konštrukcie vykresľovania WebGL a interaktívnu vizualizáciu lesných krajín z dátových súborov GIS

a simulácie lesov. Postavili realistické virtuálne lesné prostredie pre študijné pracovisko vo Virgínii. Toto virtuálne prostredie Web3D postavené s X3DOM a HTML5 je schopné rýchleho vykresľovania a simulácie v reálnom čase na základe dvoch techník prepínania úrovne podrobnosti (LOD) pri interaktívnych vizualizáciách pomocou bežných webových prehliadačov (obr. 20) (Wang et al., 2017a).

### 3.3.2. Simulátory rastu

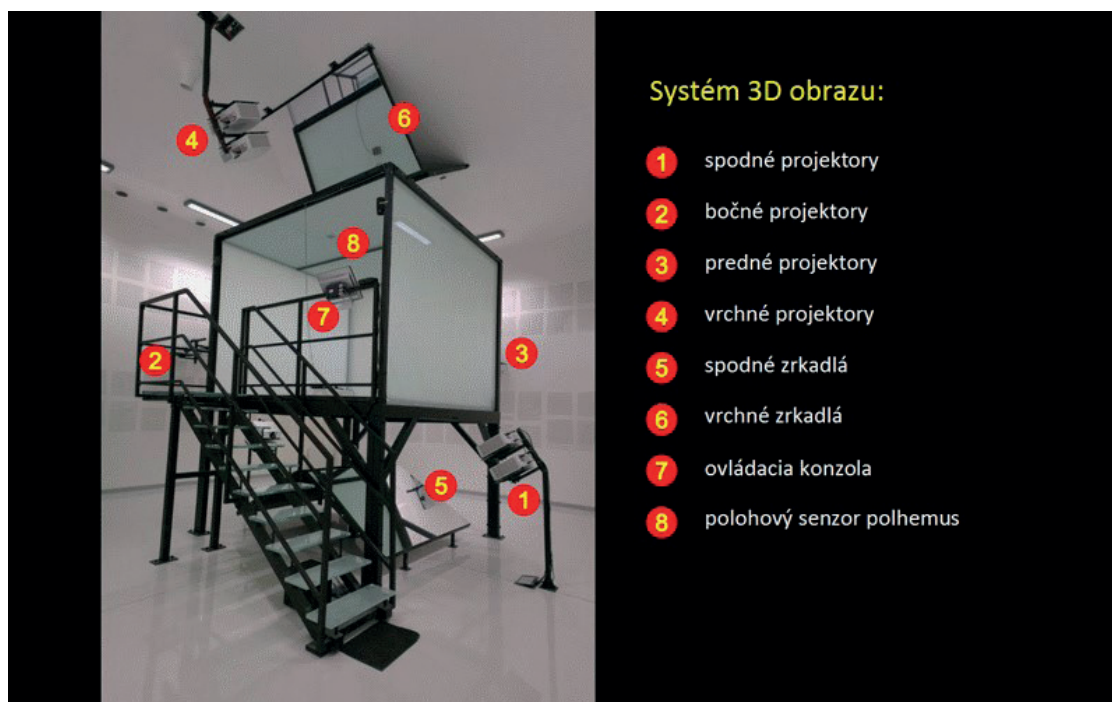
Strom vzhľadom na produktívny vek človeka rastie veľmi dlho. Napríklad dub zimný v prírodných lesoch prirodzene odumiera vo veku 250 – 300 rokov (Farkaš a Saniga, 2015). Aby sa mohli skúmať rôzne metódy obhospodarovania, boli vyvinuté matematické modely, ktoré vytvárajú predikciu rastu porastu jednotlivých drevín podľa aplikovaného druhu výchovnej metódy za určité obdobie. Po tomto období matematický model vytvorí 3D vizualizácia porastu. Prehľadný zoznam názvov matematických modelov je v tab. 7.

Technická univerzita vo Zvolene využíva simulátor rastu SIBYLA (Fabrika, 2019) vo vyučovacom procese študentov už od roku 2007. Študent si vyberie typ výchovy porastu a program urobí predikciu rastu o zadané obdobie a vizualizuje 3D scénu porastu (obr. 21). Systém využíva VRML. Od roku 2015 je na Technickej univerzite vo Zvolene vytvorené pracovisko 3D virtuálna jaskyňa (obr. 22, 23.), ktoré umožňuje študentom sledovať rast lesa po ich zásahu o zadané obdobie.

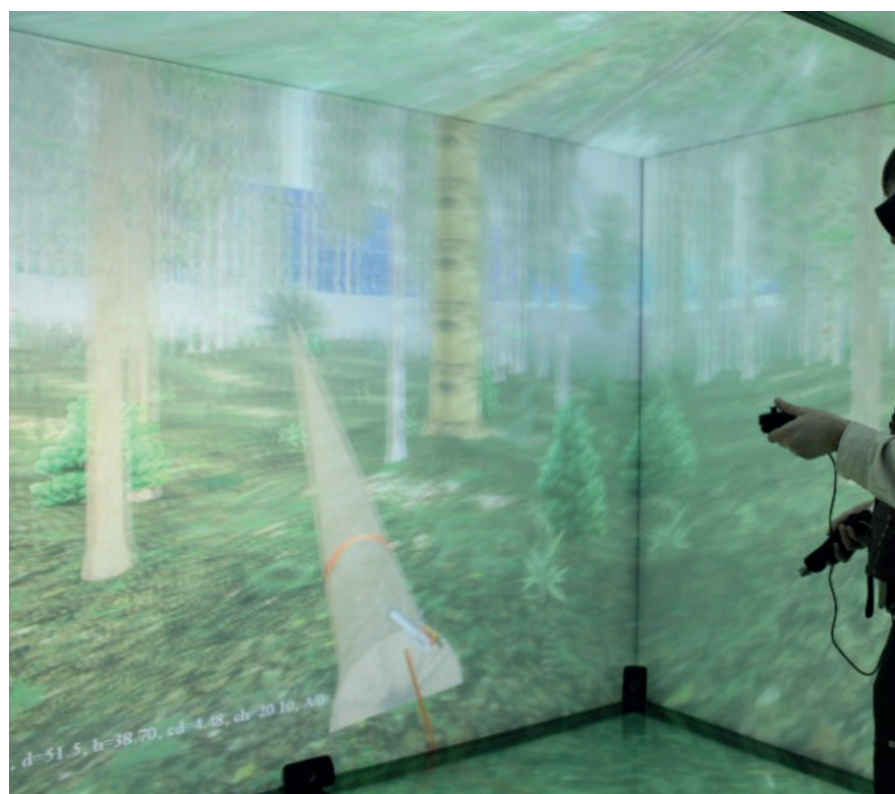
<sup>2</sup> Stand Visualization Systems (SVS) je bezplatný nástroj vyvinutý spoločnosťou USDA Forest Service (Wang et al., 2017a). Tento softvérový nástroj bol v roku 2001 využitý v projekte *Výskum metód obhospodarovania horských lesov na princípe trvalo udržateľného rozvoja*. Program, v ktorom boli zapísané údaje o výskumných plochách, exportoval údaje z databázy, vytvoril údajový súbor pre program (ETL) a pustil SVS na vizualizáciu plochy.



Obr. 21. 3D vizualizácia porastu rastového simulátora SIBYLA (Fabrika, 2019)



Obr. 22. Technické riešenie virtuálnej jaskyne na Technickej univerzite vo Zvolene (Valent a Fabrika, 2015)



Obr. 23. 3D Virtuálna jaskyňa, ukážka ťažby stromu (Valent a Fabrika, 2015)

### 3.4. Základné informácie na overenie konceptu vývoja funkčného prototypu na meranie 3D údajov

Lesnícky výskumný ústav (LVÚ, neskôr NLC – LVÚ) vo Zvolene v minulosti využíval na monitoring zdravotného stavu lesov mobilnú aplikáciu, naprogramovanú v C++ (Pôbiš, 1991) pre Hewlett-Packard 95LX (2020).

Tento Palmtop PC mal operačný systém MS DOS 3.22, 40 x 16 text LCD, 512K RAM, CPU NEC V20 (80C88) @ 5.37 MHz (Hewlett-Packard 95LX, 2020).

Mobilná aplikácia bola na to obdobie pokroková, ale postupne vplyvom opotrebovania a veku sa začali Palmtop PC kaziť a nové už nebolo možné kúpiť. Preto neskôr bola



**Obr. 24.**  
Hewlett-Packard  
95LX  
(Hewlett-Packard  
95LX, 2020)

vytvorená mobilná aplikáciu pre Windows Mobile (Cibula, 2006). Ako lokálne dátové úložisko bola použitá databáza Microsoft SQL Server 2005 Compact Edition, pričom údaje boli automaticky synchronizované so serverovou databázou Microsoft SQL Server 2005.

Na rýchlosť vkladania informácií boli vytvorené podmienené číselníky. Ak používateľ vybral ako miesto poškodenia kmeň, tak systém zobrazil už iba kategóriu škodcov vyskytujúcich sa na kmeni a po výbere kategórie už iba typ škodcu podľa kategórie a výskytu na kmeni. Slovenská republika bola jedinou európskou krajinou, ktorá v programe ICP Forest (ICP Forests, 2020) vyžívala mobilné technológie. Napriek nesporným výhodám tejto aplikácie nedostatkom tejto aplikácie bolo ručné zapisovanie informácií bez automatického vkladania prístrojmi. Neskôr LVÚ zakúpil systém FieldMap (2018). Systém zapisoval namerané hodnoty do databázy. V roku 2008 bol vyvinutý priamy export údajov z databázy FieldMap do MS SQL 2005 pre Národnú

inventarizáciu lesov Slovenskej republiky. Tieto zariadenia existujú v rôznych kategóriách podľa vybavenia:

- **RHINO.** – Táto kombinácia je vhodná na vysoko presné meranie (s dôrazom na presnosť merania vzdialenosti) z jedného miesta. Možno ju použiť pri meraní na plochách, kde je nestabilné magnetické pole. Približná hmotnosť: 5,8 kg. Technické vybavenie: Getac T800 odolný 8.1" tablet, uchytenie počítačov a diaľkometerov na monopod/tripod, TruPulse 200X, Mapstar TruAngle, Tripod – karbónový statív.
- **HIPPO.** – Ľahšia verzia súpravy na vyšší počet meraní z jedného miesta. Súprava umožňuje vyššiu presnosť merania horizontálnych uhlov na miestach, kde nie je možné použiť kompas pre nestabilné magnetické pole. Približná hmotnosť: 4,9 kg. Technické vybavenie: Getac T800 odolný 8.1" tablet, TruPulse 200X, Mapstar TruAngle, Tripod – karbónový statív.
- **STORK.** – Ľahká súprava na monopode s možnosťou kompletného mapovania súradníc X, Y, Z a umožňujúca ľahký pohyb v teréne. Približná hmotnosť: 3,4 kg. Technické vybavenie: Getac T800 odolný 8.1" tablet, TruPulse 360, Monopod.

Nevýhodou týchto zariadení je veľmi vysoká obstarávacia cena a zložitý export údajov do systému ArcGIS, ktorý je základným programovým vybavením GIS využívaným v ŠGÚDŠ a NLC-LVÚ. Preto vznikol nápad vytvoriť prototyp, ktorý by bol cenovo prijateľný a zároveň by ho bolo možné veľmi jednoducho prispôbovať podľa aktuálnych požiadaviek.

Keď vznikol nápad zostrojiť zariadenie, ktoré by integrovalo GNSS, IMU a laserový diaľkometer, na trhu nebol dostupný produkt a neboli dostupné literárne zdroje,



**Obr. 25.** Zariadenia Field-Map: a) RHINO, b) HIPPO, c) STORK (Field-Map, 2018)

ktoré by sa zaoberali uvedenou problematikou. Preto pri návrhu funkčného prototypu bolo potrebné získať informácie o komponentoch, z ktorých by bolo možné takýto prototyp zostrojiť. V práci sú uvedené stručné informácie o jednotlivých typoch mikropočítačov dostupných na trhu, pri ktorých je predpoklad, že budú využité v prototypu. Spoločným atribútom musí byť dostupná cena mikropočítača, aby celé zariadenie bolo „nízkonákladové“, pretože typ mikropočítača je determinujúci pre ďalšie komponenty využité pri vývoji prototypu.

Medzi najznámejšie mikropočítače patria Arduino (2020), ESP8266, ESP32 (2020), Raspberry Pi (2020) a Odroid (2020). Menej známe sú Teensy (2020), Pycom (2020), VoCore (2020) a nRF52 (2020). Cena týchto zariadení je veľmi priaznivá (Arduino, ESP8266, ESP32 cena od 3 do 10 \$; zdroj: Ebay.com) a otvára zaujímavé príležitosti na rozšírenie do komunity IKT (informačno-komunikačnej techniky). Rozšírením pojmu IoT (*Internet of Things*) (Ashton, 2009) vzniklo odvetvie IKT, ktoré je v súčasnosti populárne aj medzi laickou verejnosťou. Pomocou vymenovaných mikropočítačov je možné IoT implementovať aj v domácnosti ako koníček. Veľké množstvo dostupných komerčných riešení využíva tieto technológie na tvorbu prototypov a niekedy aj na priame nasadenie u koncového zákazníka. Na overenie konceptu vývoja prototypu zariadenia na meranie 3D bodových údajov sa uvažovalo o Arduino, ESP32, Raspberry Pi a nRF52.

### Arduino

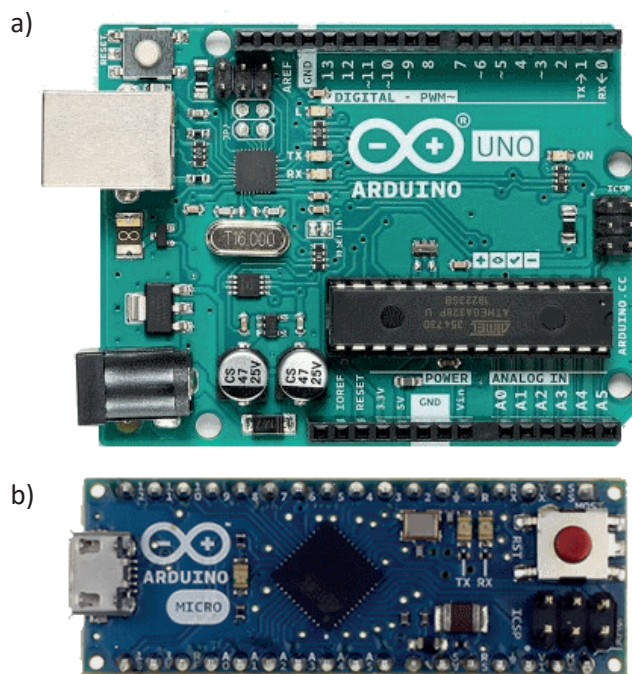
Arduino (2020) je skupina produktov využívajúca procesory Atmel. Návrh nie je licenčne chránený a je poskytovaný ako *open-source* hardvér (OSH). Preto jestvuje veľké množstvo klonov. Zakúpenie 14 súčiastok umožňuje postaviť vlastný klon (Atmega328p-pu, DIP puzdro 16 Mhz kryštál, 6 kondenzátorov, 3 odpory, 2 LED, mikropínač a regulátor 5 V napätia LM7805). Niektoré typy využívajú aj architektúru procesora Cortex M3 32-bit. Pre Arduino bolo vyvinuté IDE (*Integrated Development Environment*), ktoré sa stalo natoľko populárnym, že sa využíva aj v iných typoch mikropočítačov. Programovací jazyk je C/C++. Prvé verzie prišli na trh v roku 2007 (Hughes, 2016). Ako informačný zdroj na zostavenie prototypu boli okrem komunitných stránok (248 záznamov uložených v prehliadači) použité aj nasledujúce literárne zdroje: Bayle (2013), Schwartz a Buttigieg (2014), Voda (2015), Castro (2015), Langbridge (2015) a Waher et al. (2016).

Výhody:

- nízka cena zariadenia,
- malé rozmery (vo verziách Mini, Micro, Pro),
- veľká komunita ľudí pracujúca s touto technológiou,
- vytvorené IDE na vývoj Firmware,
- jednoduché prepojenie s vývojovým počítačom, UART, SPI, I2C, USB,
- jednoduchá implementácia do prototypu.

Nevýhody: – nízka frekvencia (16 MHz),

- malá pamäť (32 – 256 kB), operačná pamäť
- SRAM (2 – 8 kB ),
- pri malých rozmeroch iba jedno sériové rozhranie (Mini, Micro a Pro),
- neobsahuje Bluetooth na pripojenie pomocou bezdrôtovej technológie.



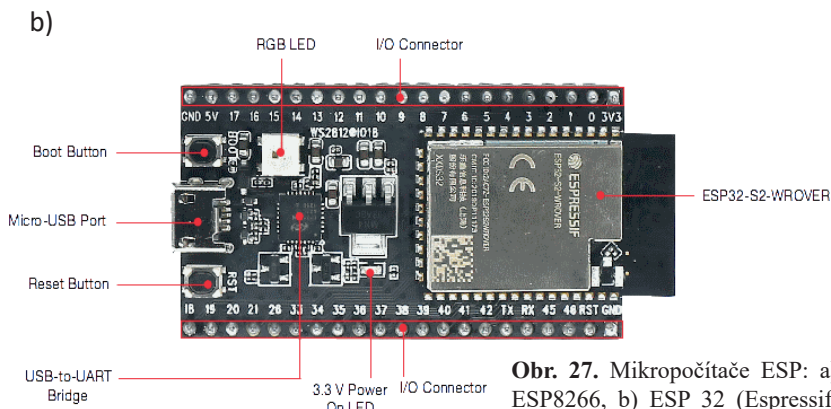
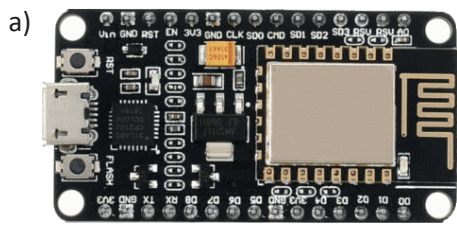
Obr. 26. Mikropočítače Arduino: a) Arduino Uno, b) Arduino micro (Arduino, 2020)

### ESP8266 a ESP32

ESP8266 a ESP32 (Espressif, 2020) sú produkty firmy Espressif Systems (Shanghai) Co., Ltd.. s 32-bitovou architektúrou. Obe majú integrovanú WiFi. ESP32 má aj funkciu Bluetooth a je dvojjadrový, plne kompatibilný s Arduino IDE (2020). Ďalšie možnosti sú programovania MicroPython, LUA a JavaScript. Prvá verzia ESP8266 prišla na trh v roku 2014 s modulom ESP-01 (Batrinu, 2017; Espressif, 2020), prvá verzia ESP32 v roku 2016 (Espressif, 2020). V roku 2019 bol ESP32 použitý vo výskumnom projekte v nemeckom leteckom stredisku na vývoj novej komerčnej palubnej počítačovej platformy (Espressif, 2020). Ako informačný zdroj na zostavenie prototypu boli okrem komunitných stránok (98 záznamov uložených v prehliadači) použité aj nasledujúce literárne zdroje: Arduino core for the ESP32, 2020; Hořčica a Suk, 2015; Batrinu, 2017; Kolban's Book on ESP8266, 2016; Kolban's Book on ESP32, 2017.

Výhody:

- nízka cena zariadenia,
- vysoká frekvencia (160 – 240 MHz),
- pamäť – úložisko údajov (4 – 16 MB),
- operačná pamäť – SRAM (128 – 520 kB),
- verzia ESP32 obsahuje 2 jadrá CPU,
- malé rozmery,



Obr. 27. Mikropočítače ESP: a) ESP8266, b) ESP 32 (Espressif, 2020)

- veľká komunita ľudí pracujúca s touto technológiou,
- je možné využiť Arduino IDE na vývoj Firmvéru,
- na programovanie je možné použiť C++, MicroPython, LUA, JavaScript,
- jednoduché prepojenie s vývojovým počítačom, UART, SPI, I2C, USB,
- jednoduchá implementácia do prototypu,
- verzia ESP32 obsahuje Bluetooth.

Nevýhody: - neskorší príchod na trh (pri návrhu prvého prototypu nebol k dispozícii),  
 - trochu väčšie rozmery oproti Arduino, vyvažuje integrovaný Bluetooth.

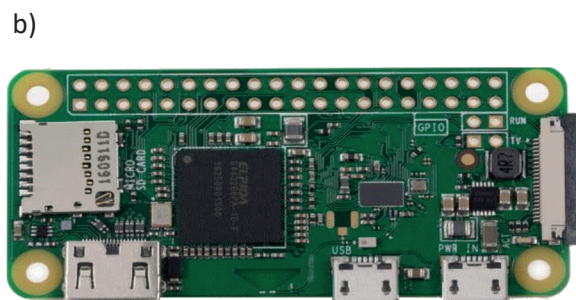
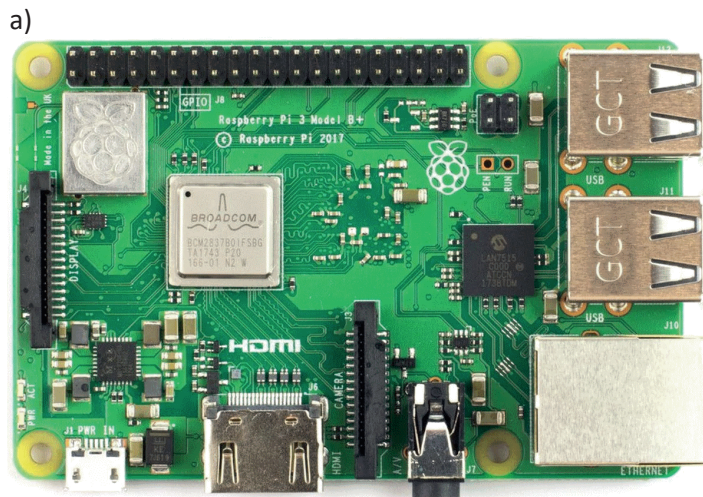
**Raspberry Pi**

Raspberry Pi (2020) je mikropočítač s veľkosťou kreditných kariet, navrhnutý a vyrobený vo Veľkej Británii s pôvodným zámerom poskytnúť lacné počítačové zariadenie na vzdelávanie. Jeho pôvod možno nájsť v počítačovom laboratóriu University of Cambridge v roku 2006. Počítačový vedec Eben Upton spolu s Robom Mullinsom, Jackom Langom a Alanom Mycroftom sa obávali, že prichádzajúci vysokoškólači z oblasti výpočtovej techniky sa vzdialia od technických aspektov výpočtovej techniky. Bolo to najmä kvôli učebným osnovám, ktoré kládli dôraz skôr na používanie počítačov, než na ich pochopenie. Na pozadí tejto počítačovej obavy bola založená nadácia Raspberry Pi. Počas nasledujúcich šiestich rokov tím pracoval na vývoji lacného a prístupného zariadenia, ktoré by pomohlo školám pri výučbe študentov na pochopenie toho,

ako práca s počítačom funguje. Od svojho vydania však ďaleko presiahlo sféru akademickej obce. Počítačové komerčné vydanie Raspberry Pi bolo vo februári 2012 (Dennis, 2016).

V aktuálnej verzii 4 (rok 2020) je výrazne rozšírené množstvo operačnej pamäti. Vyrábajú sa varianty s 2GB, 4GB a 8GB RAM. Raspberry Pi umožňuje programovanie vo veľkom množstve jazykov pre platformu Linux. Najčastejšie sa využíva C++ a Python. Ako informačný zdroj na zostavenie prototypu boli okrem komunitných stránok (110 záznamov uložených v prehliadači) použité aj nasledujúce literárne zdroje: Dennis (2013), Cox (2014), Gay (2015), Dennis (2016), Tzivaras (2017), Bhadoria a Ramos (2017), Fernandes (2018), Rao (2018) a Adam (2019).

- Výhody:
- vysoká frekvencia 1 – 1,5 GHz,
  - pamäť – úložisko údajov (podľa micro SD karty),
  - operačná pamäť (512 kB – Zero, ostatné 1 – 8 GB),
  - CPU 1-jadrové (Zero), ostatné typy 4 jadrá,
  - obsahuje operačný systém,
  - veľká komunita ľudí pracujúca s touto technológiou,
  - na programovanie je možné použiť C++, Python, JavaScript,
  - jednoduché prepojenie s vývojovým počítačom, UART, SPI, I2C, USB, pripojenie



Obr. 28. Raspberry Pi: a) Raspberry Pi 3b, b) Raspberry Pi Zero W (Raspberry Pi, 2020)

- kamery, umožňuje vytvorenie aj komplexnejšieho zariadenia (LoRaWAN gateway),
- umožňuje využitie OpenCV (Open Source Computer Vision Library).

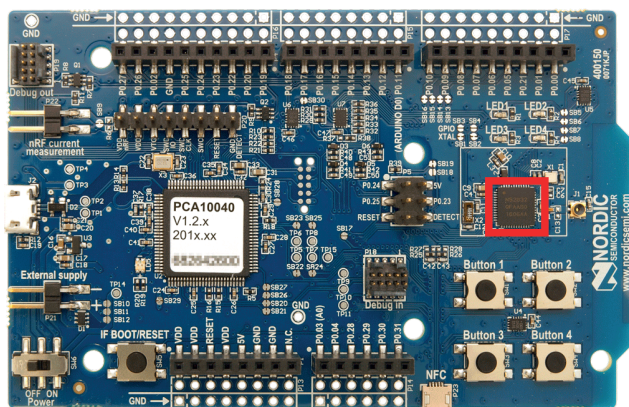
Nevýhody: – na vývoj nie je možné využiť Arduino IDE,  
– väčšie rozmery oproti Arduino a ESP32.

### nRF52

Výrobcom je Nordic Semiconductor, systém on čip. Využíva sa v komerčných zariadeniach, športových produktoch, zdravotníctve, automobilovom priemysle a pod. Na programovanie sa používa C++. Od tohto výrobcu je k dispozícii *development kit* na tvorbu prototypov zariadení. Na plnohodnotné využitie je potrebné mať aj softvér na návrh obvodov (na odstránenie rušenia medzi linkami pri vysokej frekvencii), aj výroba plošného spoja je už zložitá.

- Výhody: – veľmi malé rozmery,  
– CPU 64 Mhz Cortex-M4,  
– pamäť – úložisko údajov (192 – 512 kB),  
– operačná pamäť (24 – 64 kB),  
– na programovanie je možné použiť C++ (napr. Keil), UART, SPI, I2C, BLE,  
– využívaný v komerčných zariadeniach.

Nevýhody: – zložitá implementácia,  
– na vývoj je potrebné využívať dodatočný hardvér a komerčný softvér.

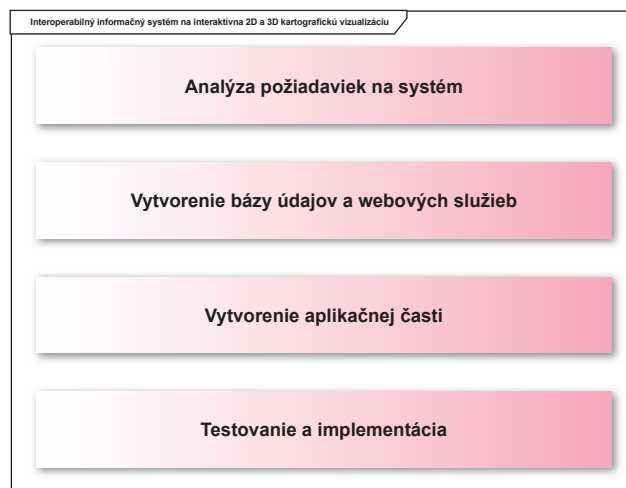


Obr. 29. nRF52 DK. V červenom rámečku je označný mikročip nRF52 (nRF52 D, K 2020).

## 4. METÓDY RIEŠENIA

### 4.1. Vývoj interoperabilného informačného systému na interaktívnu 2D a 3D kartografickú vizualizáciu prírodných zdrojov v aplikačných sektoroch geológie a lesníctva

Metodický postup pri vývoji interaktívneho informačného systému na 2D a 3D kartografickú vizualizáciu prírodných zdrojov v aplikačných sektoroch geológie a lesníctva je zobrazený na obr. 30.



Obr. 30. Metodický postup pri vývoji interaktívneho informačného systému na 2D a 3D kartografickú vizualizáciu prírodných zdrojov (Arlow a Neustadt, 2007; Gousset, 2010; Kraval, 2010)

#### 4.1.1. Analýza požiadaviek na interoperabilný informačný systém na 2D a 3D kartografickú vizualizáciu

Analýza požiadaviek prebiehala v dvoch základných rovinách:

- Nefunkcionálne požiadavky:
  - analýza existujúcich JS API na riešenie vizualizácie,
  - analýza prostredia na implementáciu,
  - výber použitých softvérových produktov,
  - výber súradnicového systému umožňujúceho zobrazenie globálnej 3D scény.
- Funkcionálne požiadavky:
  - analýza požiadaviek na funkcionality v interaktívnej 2D/3D aplikácii.

##### 4.1.1.1. Analýza existujúcich JS API na riešenie vizualizácie

V tabuľke 4 sú spomenuté JS knižnice poskytujúce API na prácu s WebGL. Výber sa uskutočnil na základe rýchleho prehľadu dostupných JS knižníc. Jednoduché testovanie malo zabezpečiť získanie skúseností s vývojom 3D WebGIS aplikácie a overenie možnosti implementácie do prostredia ŠGÚDŠ. V prípade zistenia vhodnosti pri jednoduchom testovaní bolo plánované vytvorenie funkčného prototypu na overenie konceptu. Na úvodné overenie WebGL bolo použité riešenie WebGL Earth. Následne boli testované Three.js, Babylon.js, Cesium, TerriaJS a ArcGIS API for JavaScript z hľadiska ich využitia pri 3D vizualizácii geologických údajov.

#### WebGL Earth

WebGL Earth je JavaScript knižnica s otvoreným zdrojovým kódom umožňujúca zobrazovať zemeguľu. API je podobné Leaflet API (2018), a tak je veľmi rýchlo použiteľné na vytvorenie mapovej aplikácie. Bolo využité zobrazenie polohy vesmírnej stanice IIS. Aplikácia (obr. 31) bola napísaná tak, aby sa automaticky centrovala na

zobrazenie stanice IIS. Využil sa tu podklad rastrových dlaždíc z Mapbox (2018). Užívateľ tak mohol vykonať priblíženie nad povrch a pozorovať rýchlosť pohybu vesmírnej stanice IIS. Pri veľkom priblížení zobrazovanie dlaždíc povrchu výrazne zvyšovalo zaťaženie prenosového pásma pripojenia do internetu a na pomalších pripojeniach niektoré dlaždice chýbali (Cibula et al., 2018).

Táto knižnica nie je vhodná na plánované využitie. Je vhodná na zobrazovanie väčších území. Nepodporuje využitie vrstvy s nadmorskou výškou a zároveň absentuje funkcionality využívané v systémoch WebGIS (využitie geoprocených služieb a pod.).

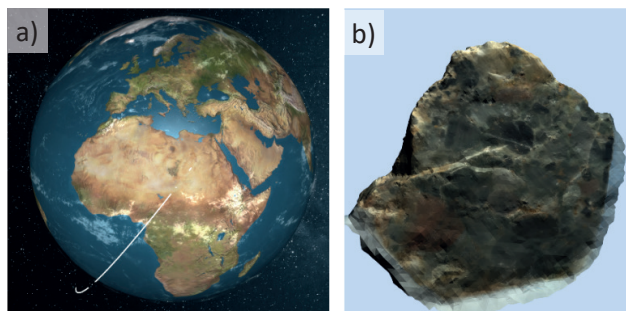
### Three.JS

Three.JS je JavaScript knižnica s otvoreným zdrojovým kódom, ktorá umožňuje prácu s 3D scénami (Three.js, 2018; Lever, 2019; Dirksen, 2015; Dirksen, 2013). Geologická služba Rakúska používa túto knižnicu na zobrazenie 3D geológie Viedne (GBA, 2019). Výsledky testovania sú zobrazené na obr. 32. Na porovnanie využiteľnosti bol použitý rovnaký príklad ako pri WebGL Earth. Aplikáciu je možné vytvoriť veľmi jednoducho. Výhody Three.js sú aj pri využití s Leaflet (2018). Leaflet má typ vrstvy „Canvas“. Na ten sa dá naviazať Three.js a vytvoriť na 2D mape vizualizáciu 3D objektu (Cibula et al., 2018).



Obr. 31. Zobrazenie polohy vesmírnej stanice IIS na rastrových dlaždicach

Táto knižnica obsahuje výrazne väčšiu funkcionality oproti WebGL Earth. Umožňuje podrobné zobrazenie 3D modelov v rôznych formátoch. Chýba funkcionality využívané v systémoch WebGIS.



Obr. 32. Využitie Three.JS: a) zobrazenie polohy vesmírnej stanice IIS, b) zobrazenie 3D objektu vytvoreného z fotografií pomocou VisualSFM

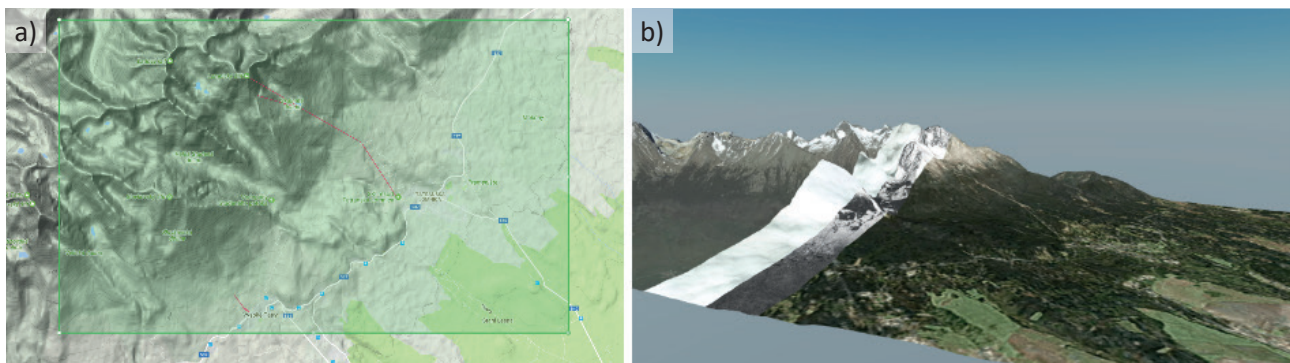
### Babylon.JS

Babylon.js (2018; Garcia, 2014) je JavaScript knižnica s otvoreným zdrojovým kódom umožňujúca vytvárať 3D hry a prácu s virtuálnou realitou zobrazovanou v internetovom prehliadači. Štýl testovanej aplikácie bol navrhnutý ako 2D mapová aplikácia, kde sa ohraňovaním definovala oblasť (obr. 33a), ktorá sa má renderovať do 3D (obr. 33b). Zobrazenie je veľmi rýchle a veľkým benefitom je umožnenie zobrazenia virtuálnej reality. Pri tomto spôsobe je tvorba aplikácie náročnejšia oproti predchádzajúcim riešeniam v Three.JS a WebGL Earth (Cibula et al., 2018).

Táto knižnica obsahuje výrazne väčšiu funkcionality oproti WebGL Earth. Umožňuje podrobné zobrazenie 3D modelov v rôznych formátoch. Chýba funkcionality využívané v systémoch WebGIS.

### Cesium

Cesium je JavaScript knižnica s otvoreným zdrojovým kódom na vytváranie 3D máp (CesiumJS, 2018). Pomocou tejto knižnice bola vytvorená testovacia aplikácia na zhodnotenie možností, podobne ako pri ostatných knižniciach. Po analýze možností a rýchlosti nasadenia bola vybraná na vytvorenie funkčného prototypu. Hlavnými prednosťami sú najmä veľká univerzálnosť a možnosť vkladania 3D objektov.

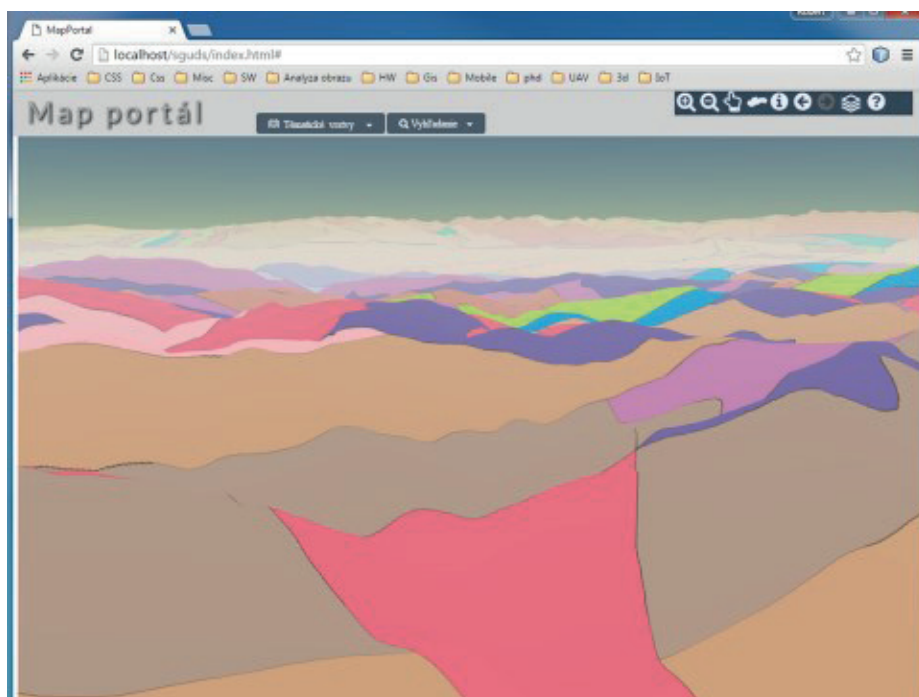


Obr. 33. Babylon.js: a) výber oblasti Vysokých Tatier na zobrazenie v 3D, b) zobrazenie výberu v 3D

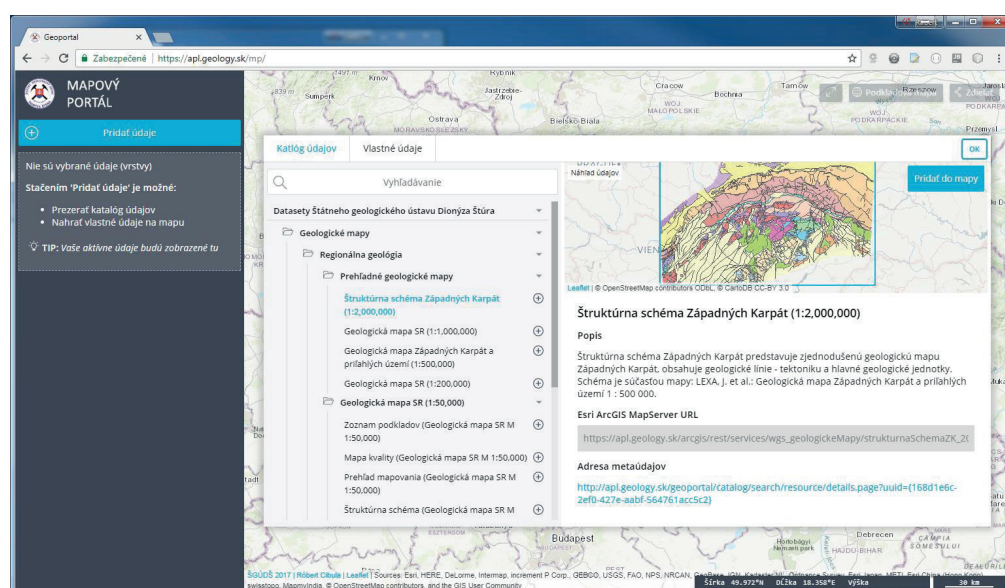
Táto knižnica obsahuje veľké množstvo požadovanej funkcionality, a preto bola vytvorená testovacia aplikácia WebGIS na overenie konceptu použitia.

Na dôkladnejšie otestovanie technológie vzniknutý návrh prototypu obsahoval prvky používateľského rozhrania, ktoré sa vyskytujú v aplikáciách WebGIS. Zámerom bolo dôkladne otestovať funkčnosť, rýchlosť odpovede a používateľské rozhranie. Pri testovaní rýchlosti odpovede a využitia prototypu (obr. 34) sa zistila chyba návrhu vytvorenia čisto 3D aplikácie. Okrem problémov niektorých používateľov, ktoré spomínajú Nolde et al. (2016), Chen et al. (2016) a Herman (2018), sa na zariadeniach s menej výkonnou grafickou kartou vyskytli problémy s vykresľovaním<sup>3</sup>.

Preto bol navrhnutý systém umožňujúci prepínanie 2D a 3D vizualizácie. Na 3D vizualizáciu bol vybraný CesiumJS a na 2D vizualizáciu bol vybraný Leaflet. Po prehladaní množstva zdrojových kódov bol na implementáciu vybraný systém TerriaJS (2018). Tento OSS je zložený z JS API Leaflet a upravenej verzie Cesium. Systém spĺňa všetky požiadavky a ako OSS ho bolo možné implementovať do prostredia ŠGÚDŠ. Hlavnou požiadavkou bolo prepínanie 2D a 3D vizualizácie a zobrazovanie samostatných 3D modelov v glTF.



Obr. 34. Zobrazenie geológie Nízkeho Tatier pomocou verzie Cesium



Obr. 35. TerriaJS spolu s výberom dátového súboru z katalógu údajov

<sup>3</sup>Testovanie sa realizovalo v roku 2016, pričom výkonnosť niektorých počítačov s integrovanou grafickou kartou nepostačovala na plynulú 3D vizualizáciu.

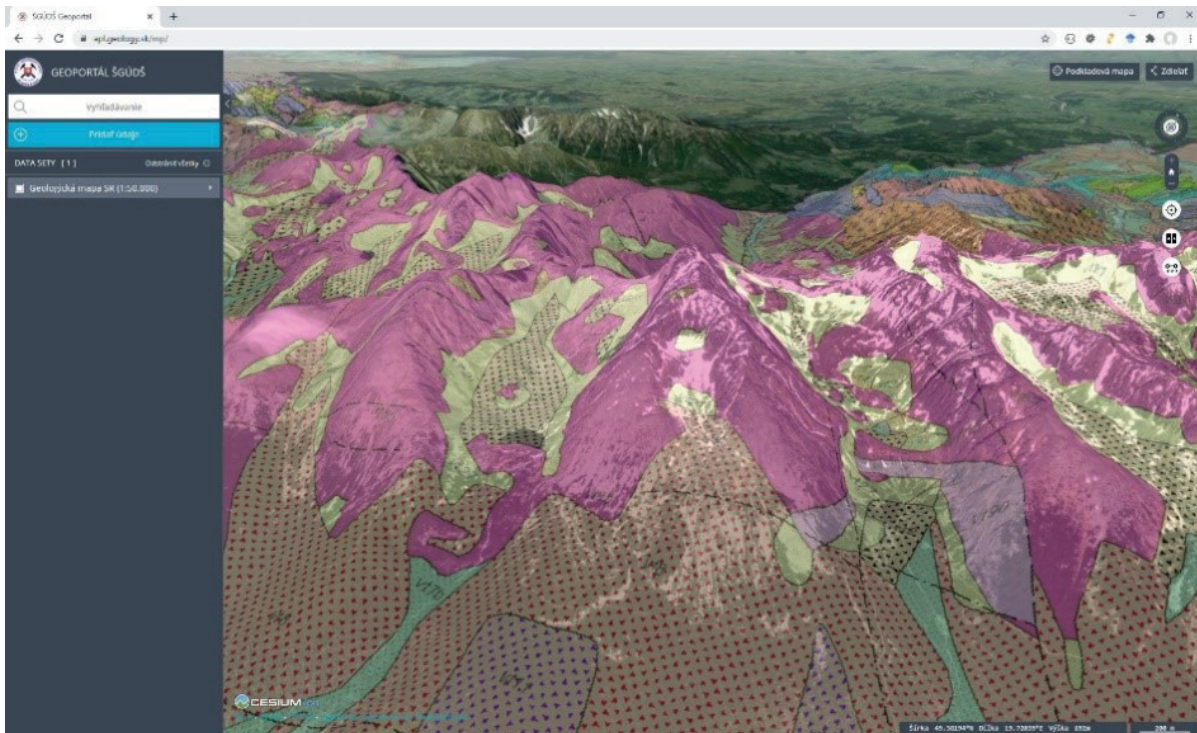
Vykonal sa úpravy zdrojových kódov kvôli prispôbeniu na využitie v ŠGÚDŠ. Systém bol na začiatku roku 2017 funkčný a výsledky sú na obr. 35, 36 a 37. Za hlavné výhody systému považujeme zobrazenie katalógu údajov podľa konfigurácie uloženej vo formáte JSON a to, že na mobilnom telefóne je možné využiť rozšírenú realitu na zobrazovanie geologických údajov.

Napriek tomu, že sa systém javil ako vhodný a v ŠGÚDŠ bol spustený dva roky, prejavila sa hlavná nevýhoda

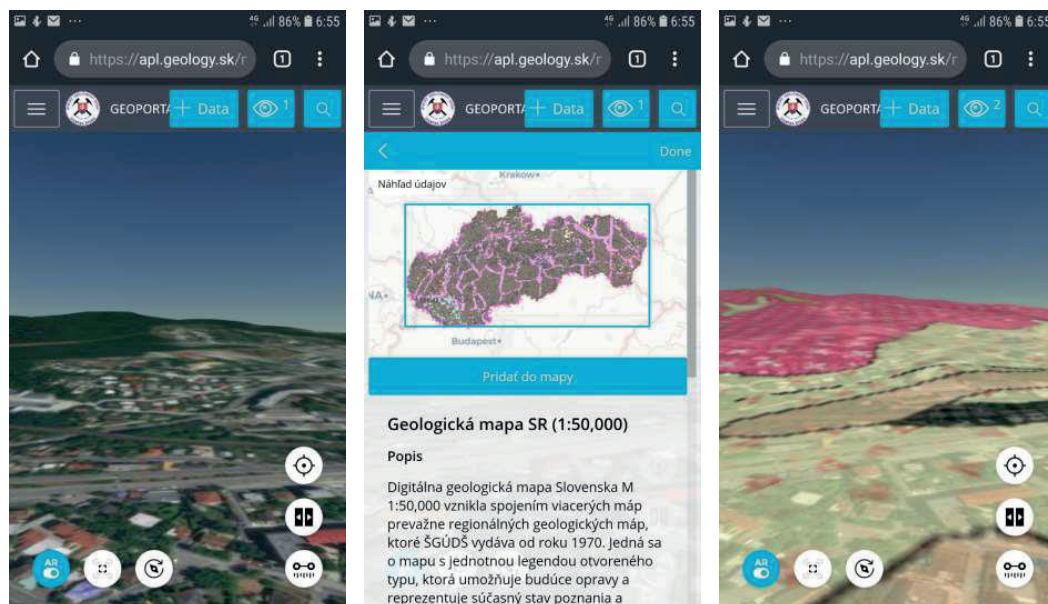
spočívajúca v nemožnosti renderovania 3D modelov pod povrchom v upravenej verzii CesiumJS pre TerriaJS.

### ArcGIS API for JavaScript

ArcGIS API for JavaScript je komerčná verzia knižníc. Na využitie so zakúpeným systémom ArcGIS for server (neskôr ArcGIS for Enterprise) je zadarmo. Táto verzia JS API bola odskúšaná až na konci roku 2018. Dôvodom bolo, že knižnica nebola v roku 2015 dostupná a testovanie sa

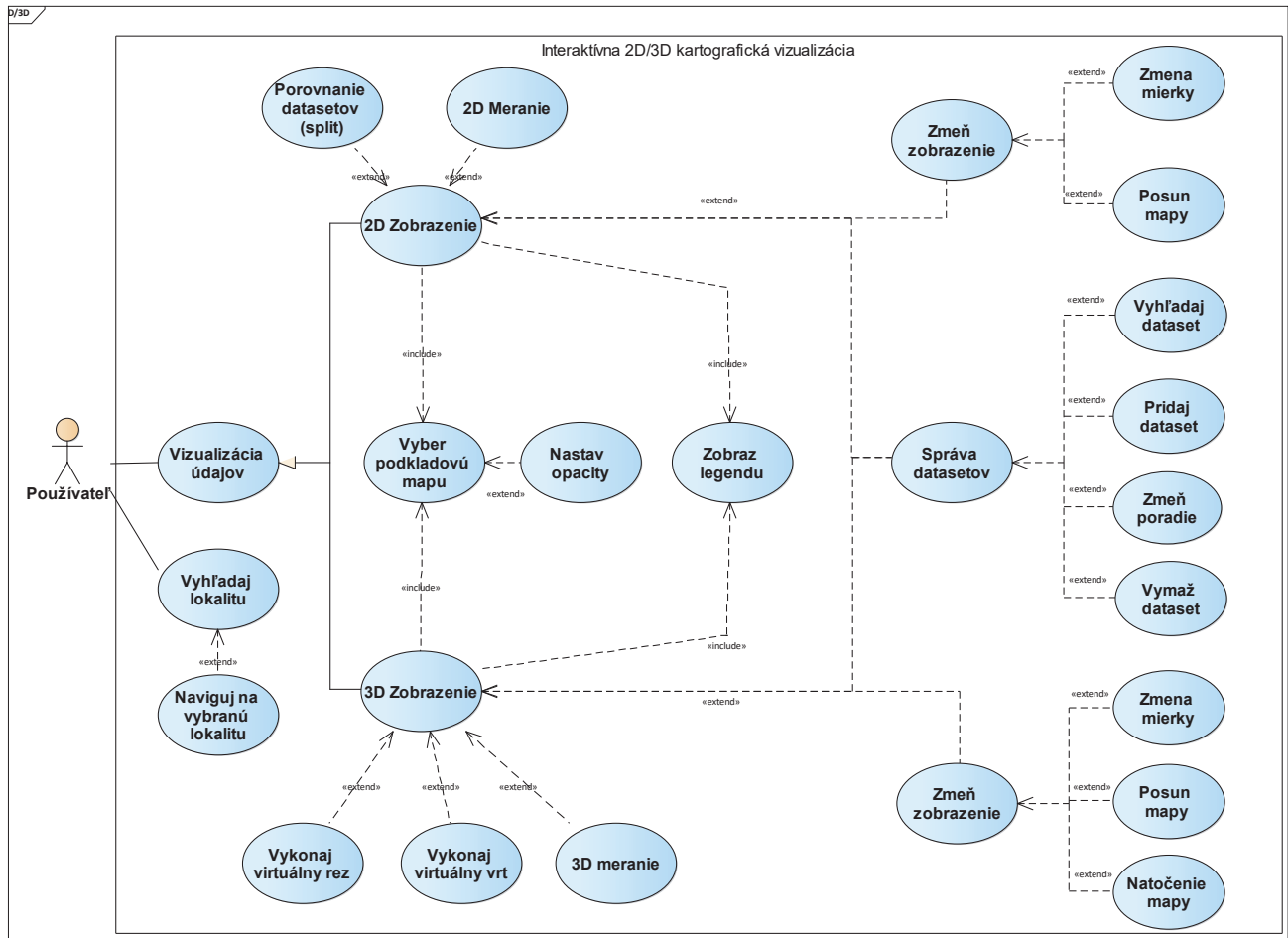


Obr. 36. TerriaJS Pseudo 3D vizualizácia geologickej mapy 1 : 50 000



Obr. 37. Rozšírená realita pri zobrazení na mobilnom telefóne, zobrazovanie údajov sa mení podľa natočenia mobilného telefónu.





Obr. 39. Diagram prípadov použitia navrhovanej aplikácie

Geologické mapy	Geofyzikálne mapy	Náučná geológia	Atlasy	Tematické aplikácie	Registre Geofondu
Geologická mapa Slovenska M 1:50 000	Geoelektrika	Významné geologické lokality	Geochemický atlas Slovenska	Environmentálne a zdravotné indikátory	Prieskumné územia
Prehľadné geologické mapy	Karotáž	Geologické náučné Mapy SR a Geoparky	Atlas geotermálnej energie	Čiastkový monitorovací systém	Ložiská
Tematické mapy	Mapa prírodnej rádioaktivity	Expozícia ložísk nerastných surovín SR	Atlas ťažkých minerálov	Monitoring objemovej aktivity radónu	Staré banské diela
Hydrogeologické mapy	Mapa prírodnej rádioaktivity	GeoHazardy	Atlas stability svahov SR		Svahové deformácie
Hydrogeochemické mapy	Gravimetrická mapa		Inžinierskogeologický atlas hornín SR		Skládky
GIB-GES	Magnetická mapa		Geologické mapy z Atlasu krajiny SR		Vrty
Geologické ukládanie oxidu uhličitého	Seizmika				Preskúmanosť
Geologické členenie Európy	Komplexné GF merania				Hmotná dokumentácia
Geologická mapa Spiš-Gemera					
Aktualizácia geologickej stavby					

Obr. 40. Zoznam aplikácií, ktoré sú prístupné z internetu

- vytvorenie 168 mapových služieb na ArcGIS Serveri,
- prepísanie WebGIS aplikácií (dostupné z internetu sú na obr. 40).

Aplikácie potrebovali na svoje fungovanie aplikačný server Java. Niektoré boli písané ako JSP (*Java Server Page*), niektoré ako *servlety*. Vykonala sa migrácia na PHP (*Hypertext Preprocessor*) a optimalizácia aplikácií. V tab. 8 je zoznam niektorých aplikácií, pri ktorých sa zlepšila interakcia s používateľom aj za príspevku lepšej výkonnosti novej verzie ArcGIS Servera. Súčasťou migrácie bolo prepísanie uložených procedúr na databázovom serveri (Oracle->PostgreSQL).

Pri niektorých *servletoch* bol problém so zdrojovými kódmi. Na niektoré sa dalo uplatniť reverzné inžinierstvo (dekompiláciou alebo odchytením volania na server a odpoveď zo servera). Na aplikačnom serveri zostali 4 aplikácie, ktoré boli príliš komplikované a plánuje sa ich preprogramovanie.

**Tab. 8.** Výsledky optimalizácie pri niektorých aplikáciách

Aplikácia	Štart aplikácie		Získanie údajov z aplikácie	
	novej	starej	nová	stará
Geologická mapa Slovenskej republiky 1 : 50 000	1,33 s	1,74 s	–	–
Svahové deformácie	2,10 s	13,27 s	–	–
Ložisková preskúmanosť	2,00 s	52,00 s	2,03 s	55,00 s

#### 4.1.3. Použité softvérové nástroje

Výber použitých softvérových nástrojov bol determinovaný dostupnosťou v ŠGÚDŠ a kompatibilitou s existujúcou skupinou softvérov využívaných na vyhotovenie 3D modelu na prípravu údajov v geológii. Príprava údajov pre lesníctvo bola výrazne jednoduchšia. Využil sa GIS softvér ArcGIS, štandardne využívaný ako podnikové GIS riešenie v ŠGÚDŠ.

Pri príprave údajov v sektore geológie musel byť použitý softvér, v ktorom sa modely vytvárali. Podľa výsledkov prác (Kotulová et al., 2010; Zlocha et al., 2020) najvhodnejší softvér pre prostredie ŠGÚDŠ (dostupnosť, vhodnosť modelovania podľa požadovaných parametrov a pod.) je softvér Petrel (Schlumberger, 2020). Pre odborníkov z oblasti geoinformatiky softvér Petrel nie je známy, a preto nasleduje stručný opis princípov geologického modelovania v softvéri Petrel.

V softvéri Petrel je model definovaný pomocou 3D gridu, t. j. siete buniek v tvare deformovaných hranolov. Orientácia riadkov a stĺpcov siete je v horizontálnom

smere predurčená zlomami. Bunky gridu sú organizované po vrstvách, diskkrétne limitovaných zlomami, pričom vertikálny posun vrstiev na zlomoch je presne kontrolovateľný. Významným prvkom softvéru je, že modelové vrstvy si zachovávajú stratigrafické vzťahy – pre každú vrstvu je pevne definovaný eróznio-sedimentačný vzťah so susediacimi nadložnými a podložnými vrstvami. Počas interpolácie povrchov softvér automaticky vyklinuje a dopĺňa vrstvy na základe vrtných profilov (obr. 41) (Kotulová et al., 2010).

Zoznam použitých softvérov podľa typu činnosti je v tab. 9.

**Tab. 9.** Využitie softvérové produkty podľa typu činnosti

Typ činnosti	Názov softvéru
Príprava geologických údajov	Petrel 8.4., DroneDeploy (Android app.) Pix4Dcapture
Spracovanie údajov	ArcGIS Pro, ArcMAP, ArcScene, Drone2Map, Pix4DMapper, DroneDeploy (Cloud), RealityCapture, CloudCompare
Ukladanie údajov	PostgreSQL/PostGIS, ArcGIS Data store
Programovanie	IDE PHPStorm

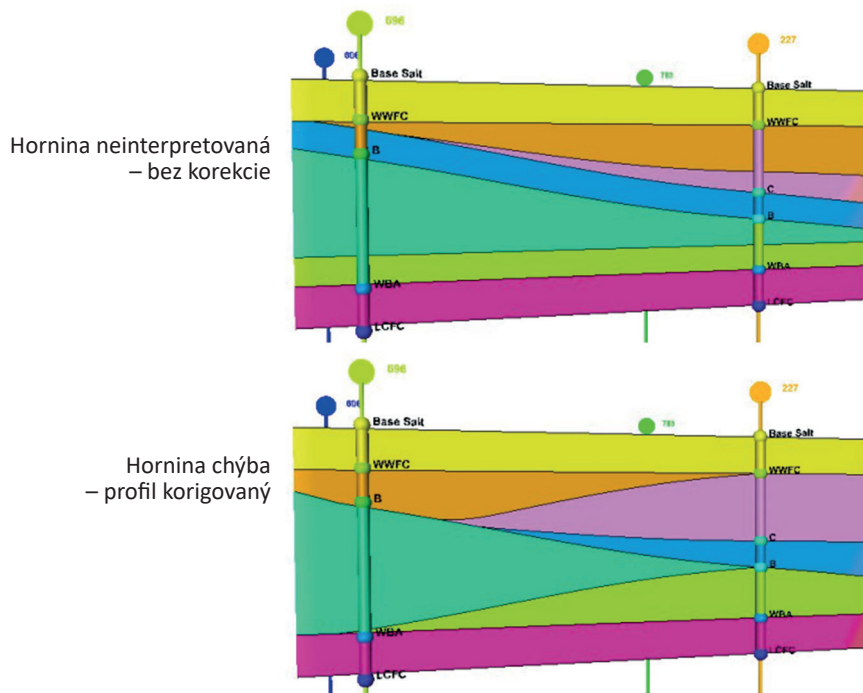
Ďalším faktorom pri výbere typu využitého softvéru je overenie tvorby interaktívnej 2D/3D vizualizácie. To je potrebné v prípade *backendu* riešiť webovým serverom, aplikačným GIS serverom a databázovým serverom a pre *frontend* (klient) sú vhodné JS knižnice (tab. 10).

**Tab. 10.** Názvy využitých produktov pre *backend* a *frontend*

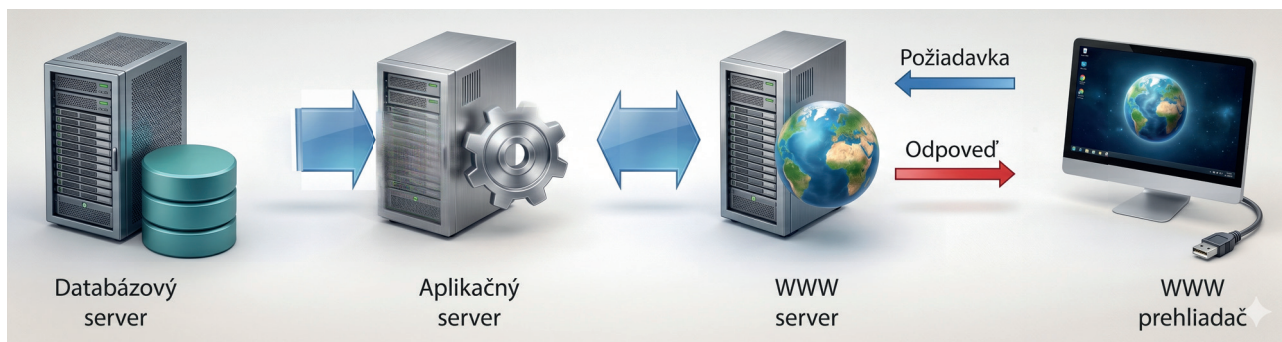
Typ funkcionality	Názov
Aplikačný server	ArcGIS Enterprise (ArcGIS Server + ArcGIS Portal)
Webový server	IIS+ ArcGIS WebAdaptor, NginX + PHP + SLIM (pre služby REST)
Databázový server	PostgreSQL s nadstavbou PostGIS, ArcGIS DataStore
JS knižnice na overenie tvorby 2D/3D vizualizácie	ArcGIS API for Javascript, jQuery, UnderscoreJS, Backbone, Bootstrap, jsPanel

#### 4.1.4. Zdrojové údaje na kartografickú vizualizáciu

Základ každého informačného systému, kam patrí aj GIS, tvorí konkrétna množina údajov, ktorú voláme databáza. Napĺňanie databázy je časovo, finančne a problémovo najnáročnejšia časť projektu. Pred jej naplnením je nutná podrobná analýza údajov, ktoré riešenie daného problému potrebuje. Z tejto analýzy vyplynú aj zdroje, z ktorých sa prvotné údaje čerpajú (Tuček, 1998).



**Obr. 41.** Princíp interpretácie vrtných profilov: ak hornina nebola vo vrte interpretovaná, algoritmus ju v danom mieste dopočíta podľa priebehu vrstiev v okolí (hore). Ak hornina v profile skutočne chýba (napr. bola erodovaná), program danú vrstvu vykliní (dole) (Kotulová et al., 2010).



**Obr. 42.** Príklad viacvrstvej architektúry: správa údajov (databázový server), stredná vrstva (aplikačný server, databázový server) a prezentačná vrstva (frontend – tenký klient)

Vyhľadanie, analýza a príprava dostupných údajov, spracovanie a publikácia prezentovaných výsledkov patrí do kompaktného celku geoinformatickej úlohy. Praktická časť tejto práce využíva údaje z rôznych projektov. V nasledujúcej časti je stručne opísaný proces tvorby údajov z jednotlivých záujmových území. Zoznam projektov, názov organizácie, v ktorej sa projekt riešil, spoluúčasť autora práce na projekte a publikácia údajov na internete prostredníctvom aplikácie WebGIS je v tab. 11.

#### 4.1.4.1. Proces tvorby 3D modelu v záujmovom území Hornonitrianskej kotliny

Primárnym cieľom geologického aj hydrogeologického modelovania bola oblasť nováčkeho hneďduhoľného ložiska. Na ňom sa pristúpilo k tvorbe modelu v mierke 1 : 10 000, vymedzeného hranicou dobývacieho priestoru nováčkeho ložiska, ktorého báza bola stanovená na úroveň kamenského súvrstvia. Rozhodovanie o výslednej podobe modelov často ovplyvňovali kvalita a kvantita údajov.

Z množstva údajov, ktoré sme mali k dispozícii, vyplývali nerovnomerné informácie o jednotlivých prvkoch geologickej stavby (Kotulová et al., 2010).

#### Vrty

Oporným informačným zdrojom pri tvorbe geologického modelu boli vrty. Územie je pokryté vrtmi veľmi nerovnomerne. Pokiaľ ide o hĺbkový dosah vrtov, najlepšie sú zdokumentované súvrstvia do hĺbky približne 400 m, o najhlbších horizontoch je len veľmi málo primárnych informácií. Pre potreby vzdialeného prístupu k týmto údajom z rôznych aplikácií na viacerých pracovných staniciach súčasne bola vytvorená relačná geografická databáza vrtov v prostredí Oracle (Kotulová et al., 2010).

#### Rezy

Popri vrtoch najviac informácií o geologickej skladbe územia poskytli geologické rezy. Spolu bolo použitých 47 rezov a ich plošná lokalizácia je na obr. 43a.

Rezy, v prevažnej väčšine v tlačenej forme, resp. rukou kreslené na papieri, sa najprv skenovali. Línie rezov

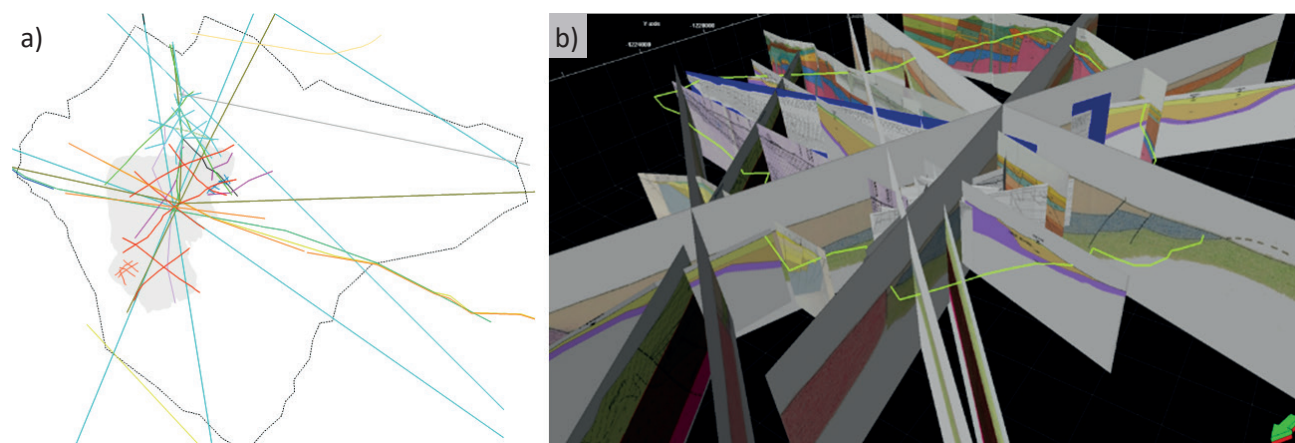
**Tab. 11.** Typy údajov a projekty, z ktorých boli využité údaje

Organizácia	Názov projektu	Typ údajov	Spoluriešiteľ	WebGIS
ŠGÚDŠ	Geologický informačný systém	2D	áno (2 roky/9)	áno
	Geologický informačný systém II	2D	áno	áno
	Hornonitrianska kotlina – trojrozmerné geologické modelovanie exponovaného územia	3D	nie	nie
	3D geologická mapa Slovenskej republiky v mierke 1 : 500 000	3D	áno	áno
NLC	Innovations in the forest inventories based on progressive technologies of remote sensing	2D	nie	nie
	Innovative methods of close-to-nature forests management	2D	nie	nie

na mape (ak bola k dispozícii) sa digitalizovali. Následne boli v programe Petrel jednotlivé rezy segmentované podľa lineárnych úsekov (od ohybu k ohybu) a tieto segmenty georeferencované v priestore (obr. 43b) (Kotulová et al., 2010).

### Proces modelovania

Kľúčový prvok geologického modelu predstavujú zlomy. Predurčujú geometriu siete modelu a segmentujú priestor na vzájomne vertikálne posunuté bloky. Pro-

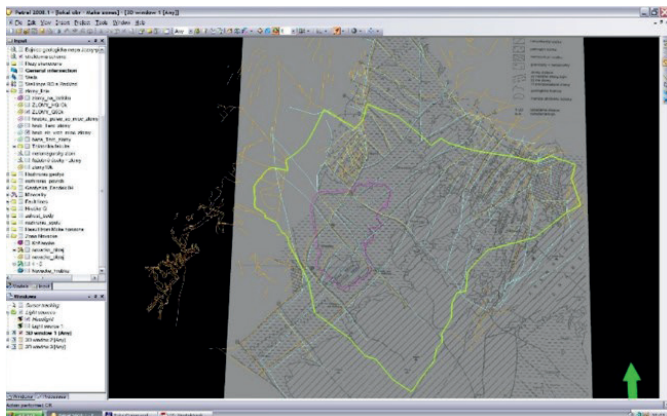
**Obr. 43.** a) Priemety rezov na povrch, b) rezy georeferencované v priestore (Kotulová et al., 2010)

Ďalším významným zdrojom geografických údajov potrebných na spresnenie priebehu modelových vrstiev na povrchu, ale aj v hĺbke, sú mapy. Skenovaných a následne digitalizovaných bolo viacero mapových diel, najmä geologické, hydrogeologické, geofyzikálne a banské mapy rôznej mierky a kvality (obr. 44). Import skenovaných máp do programu Petrel prebiehal v dvoch krokoch – najprv samotné načítanie bitovej mapy vo formáte JPG, TIF alebo BMP, po ňom nasledovalo manuálne georeferencovanie pomocou súradníc rohov obrázka, keďže Petrel v nami používanej konfigurácii nepodporuje priame načítanie žiadneho zo štandardných formátov GIS (Kotulová et al., 2010).

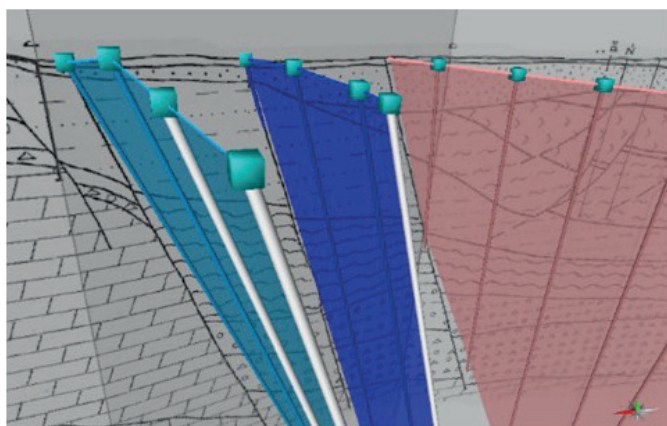
**Obr. 44.** Ukážky papierových máp použitých do modelu (Kotulová et al., 2010)

ces modelovania zlomov sa začínal dôkladným štúdiom tektonických pomerov v širšom okolí. Za pomoci štruktúrnych, tektonických a geologických schém boli identifikované najvýznamnejšie tektonické línie (obr. 45a). Zlomy boli následne jeden po druhom modelované v priestore, pričom sa rešpektoval ich úklon, ako aj priebeh na geologických rezoch (obr. 45b) (Kotulová et al., 2010).

Po dohotovení siete sa mohlo pristúpiť k samotnému interpolovaniu hydrostratigrafických rozhraní. Na interpoláciu používa Petrel špeciálny algoritmus s názvom *convergent griddler* (Zhou a Guan, 2016). Pri interpolácii každej vrstvy sa zohľadňuje, či sú jednotlivé zlomy v danej litostratigrafickej jednotke aktívne, aký môže byť minimálny a maximálny posun, či sa môže hrúbka vrstvy na stranách zlomu meniť (napodobenie sedimentácie počas aktivity zlomu), vyhladenie pozdĺž zlomu, či je povolený posun oboma smermi v rámci toho istého zlomu (zmena z normálneho na reverzný zlom). Po interpolovaní vrstiev sa vykoná kontrola kvality, v problematických miestach sa korigujú vstupné údaje, prípadne sa zmenia parametre interpolácie a proces sa iteratívne opakuje, až kým nie je dosiahnutý uspokojivý výsledok (Kotulová et al., 2010).



a)



b)

**Obr. 45.** a) Príklad použitia tektonickej mapy (Šimon et al., 1997; georeferencované) v interpretačnom okne softvéru Petrel ako možného zdroja informácií priebehu zlomových línií, b) lícovanie zlomov s geologickým rezom (Kotulová et al., 2010)

#### 4.1.4.2. Proces tvorby 3D modelu v záujmovom území Slovenskej republiky

V prvej etape sa zozbierali všetky dostupné už publikované geologické údaje, o ktorých sa predpokladalo, že budú použité pri tvorbe 3D geologického modelu. Metóda tvorby 3D geologickej mapy bola navrhnutá v začiatočných fázach riešenia projektu, počas riešenia projektu však bola viackrát prepracovaná. Hľadali sa jednoduché a efektívne riešenia s dôrazom na maximálnu optimalizáciu procesov prípravy modelu a v neposlednom rade na samotnú architektúru a dizajn aplikácie WebGIS, ktoré sa od pôvodnej predstavy nakoniec líšili. Odpoveď, rýchlosť vizualizácie a tvorba jednotlivých funkčností (tvorba virtuálnych vrstiev, rezov a profilov) je v súčasnej podobe snáď ešte lepšia, ako bol pôvodný predpoklad (Zlocha et al., 2020).

Modelovanie prebehlo v SW Petrel 8.4 firmy Schlumberger, Isatis firmy Geovariances, v programe Surfer firmy Golden Software, ale aj ArcGIS firmy ESRI s využitím nadstavby Spatial Analyst, 3D Analyst a modulu ArcScene. Množstvo úloh spojených s prípravou údajov, importom/exportom, ale aj 3D modelovaním, riešením priestorovej topológie, vizualizácie, kontroly údajov a ich opravy sa realizovalo pomocou samostatných programov vytvorených pomocou programovacieho jazyka C/C++ vo voľne dostupnom kompilátore TurboC vo verzii 2.0. (Zlocha et al., 2020).

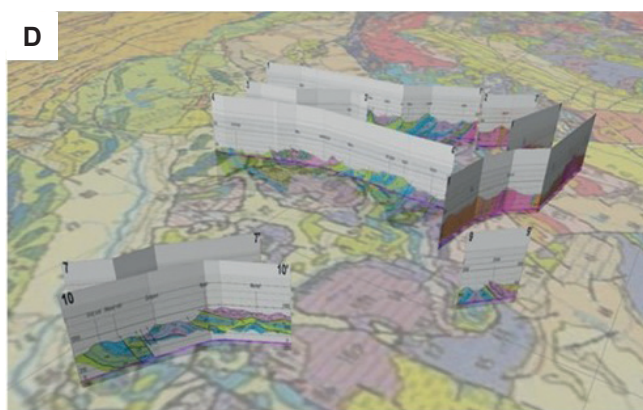
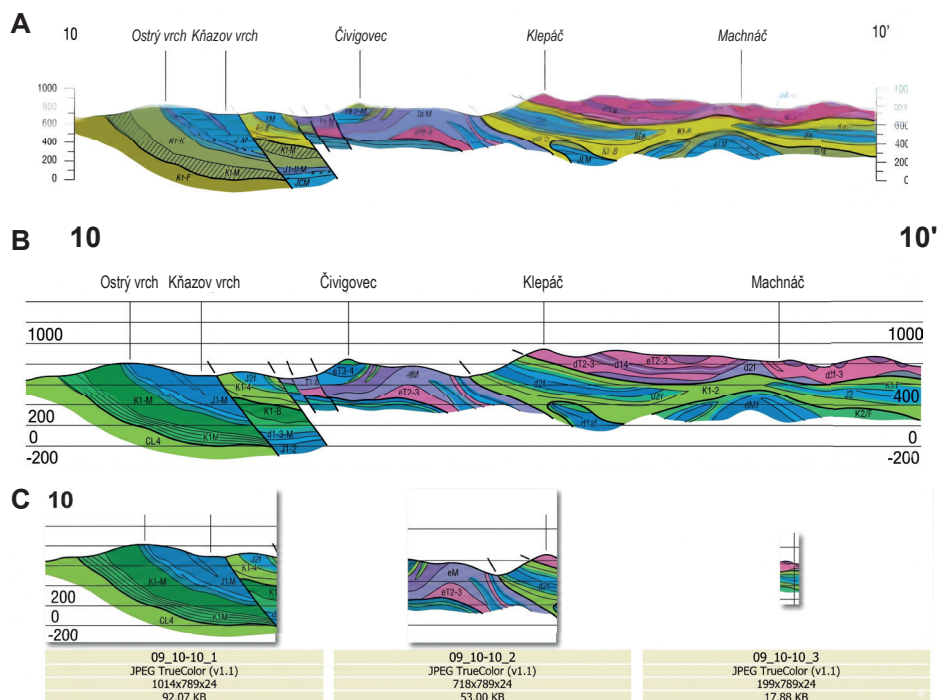
Projekt bol spracovaný podobným metodologickým postupom ako projekt Hornonitrianskej kotliny. Ako vstupné údaje boli využité vrty, rezy a mapy. Vytvorila sa databáza vrstiev, upravili sa a georeferencovali rezy a mapy. Na obr. 46 je ukážka spôsobu prípravy a vloženia rezu (Zlocha et al., 2020).

Rozdiel vo veľkosti územia zapríčinil rozsiahlejšie využívanie štatistických metód. Tvorba modelu predterciérneho reliéfu prebiehala v prostredí ISATIS od spoločnosti Geovariances v dvoch hlavných krokoch:

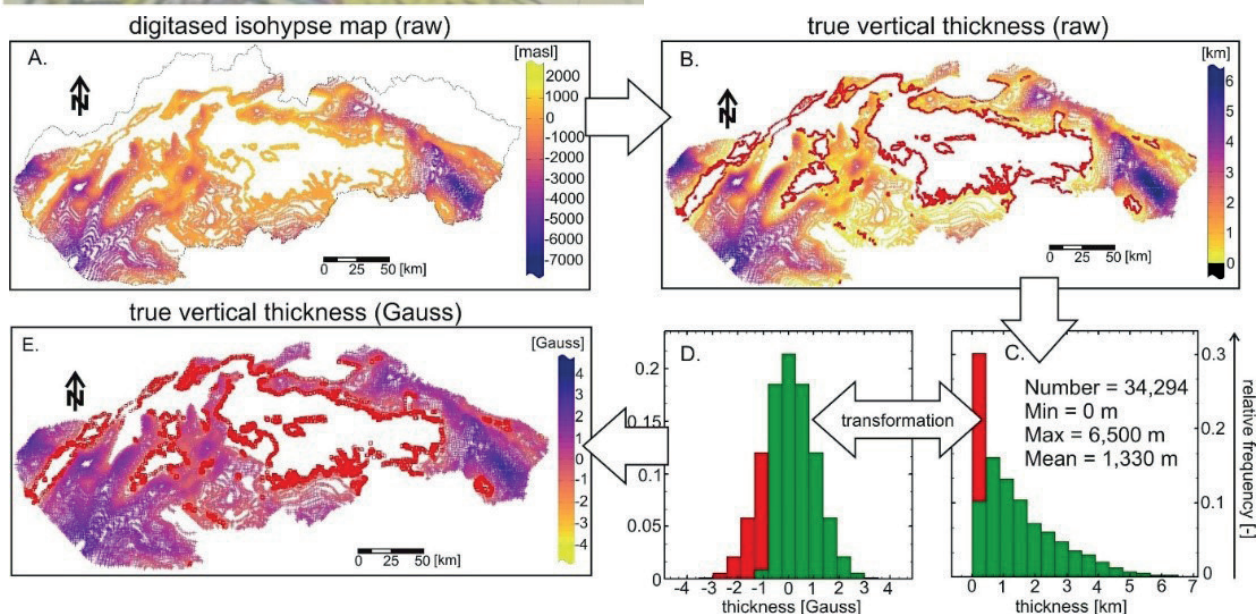
1. vytvorenie modelu reliéfu na základe údajov izohýps a geologických rezov. Tieto údaje predstavujú sekundárne údaje na modelovanie a cieľom je vytvoriť tzv. sekundárny alebo pomocný model, ktorý bude rešpektovať generálny tvar a trendy zmien dostupných hodnôt v rámci hraníc rozšírenia terciérnych sedimentov;
2. vytvorenie finálneho modelu bázy terciéru na základe geoštatistickej integrácie sekundárneho modelu s primárnymi vrtnými údajmi.

Pre potreby vytvorenia sekundárneho modelu (bod 1) bola v každom údajovom bode odvodená hrúbka kenozoickej výplne s minimálnou hrúbkou 0 m (hranice rozšírenia terciérnych sedimentov s maximálnou hrúbkou 6 500 m (Zlocha et al., 2020).

Rozdelenie pravdepodobnosti hrúbky je veľmi zošikmené, s prevažným podielom nízkych hodnôt hrúbky (obr. 47C), čo nepodporuje predpoklad normálneho rozdelenia pravdepodobnosti. Preto boli hodnoty hrúbky transformované do normovaného normálneho rozdelenia pravdepodobnosti s priemerom 0 a rozptylom



**Obr. 46.** Segmentovanie a vkladanie upravených geologických rezov do modelu: A) pôvodný sken, B) orezaný sken s vloženou vertikálnou mierkou, C) segmentovanie profilu podľa pixelov, D) vkladanie jednotlivých segmentov do modelu (Zlocha et al., 2020)

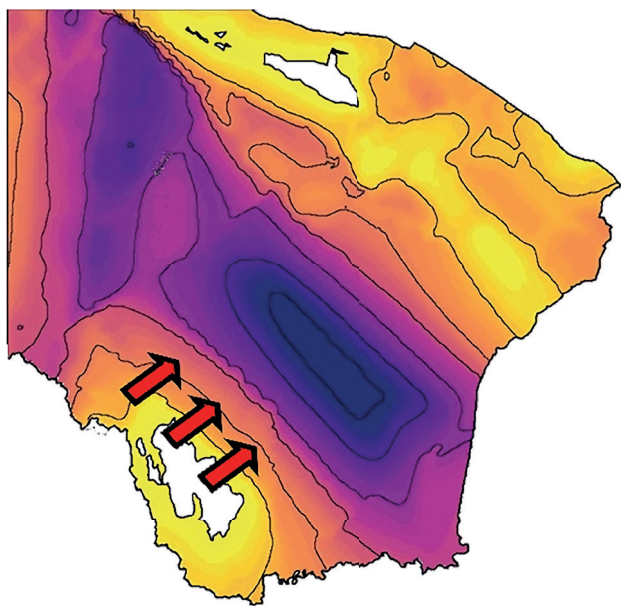


**Obr. 47.** Rozmiestnenie hĺbkových údajov na základe digitalizácie izohýps (A) a výpočet izochor v údajových bodoch (B). Transformácia hrúbky kenozoickej výplne (C) do normálneho (Gaussovho) rozdelenia pravdepodobnosti (D) a finálne rozmiestnenie údajov v Gaussovom priestore použitých na tvorbu sekundárneho modelu predterciérneho reliéfu (E). Na histograme rozdelenia početností počítačových hodnôt hrúbky (C) je červenou vyznačený podiel nulových hrúbok, rovnako tak na Gaussovom ekvivalente (D) (Zlocha et al., 2020).

hodnôt 1 (obr. 47D). Na základe transformovaných hodnôt hrúbky boli vypočítané smerové experimentálne variogramy (obr. 47A), odvodené na základe mapy variability (obr. 47B). Na smerové experimentálne variogramy bol nastavený anizotropný model variability sférického typu kenozoickej výplne so smerom kontinuity SV – JZ. Tento smer zodpovedá smeru Dunajskej panvy a príľahlých zálivov. Výsledok modelovania variogramu je preto logický, lebo zaberá najväčší podiel územia SR. Je teda zrejmé, že sa tam nachádza najviac údajov získaných na základe digitalizácie izohýps a geologických rezov použitých pri odvodení smerových experimentálnych variogramov a modelovaní priestorovej variability (Zlocha et al., 2020).

Pri bližšom pohľade na východnú časť Slovenska v oblasti Východoslovenskej panvy sa však na zobrazených izochorách objavujú systematické vlnovité artefakty (obr. 48) spôsobené umelým „naťahovaním“ smeru kontinuity podľa modelovanej anizotropie v smere SV – JZ, a to napriek tomu, že smer kontinuity Východoslovenskej panvy je SZ – JV (Zlocha et al., 2020).

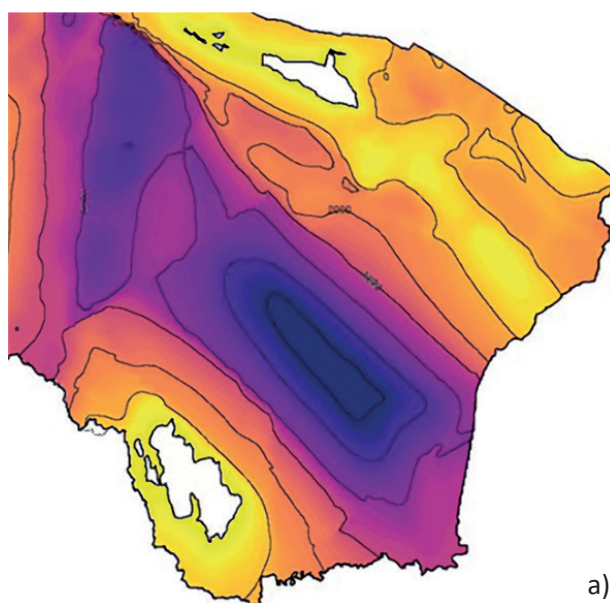
Vzhľadom na predchádzajúce zistenia sa upustilo od použitia geoštatistických metód modelovania. Boli použité deterministické metódy interpolácie, ako sú populárne prevrátené vzdialenosti, metóda *splajnov*, metóda minimálneho zakrivenia, interpolácie z triangulačnej siete a ďalšie. Žiaľ, ani tieto metódy nevedli k vytvoreniu povrchu bez neželaných deformácií. Riešením tejto situácie bolo použitie tzv. kľzavej alebo lokálnej geoštatistiky, ktorej princíp je založený na lokálnej optimalizácii parametrov vstupujúcich do modelovania. Pre potreby aplikácie kľzavej geoštatistiky bolo územie SR rozdelené na pravidelnú sieť podoblastí s rozlíšením 10 x 10 km. Táto sieť slúžila na ukladanie čiastkových výsledkov procedúry *cross-validation* (Zlocha et al., 2020).



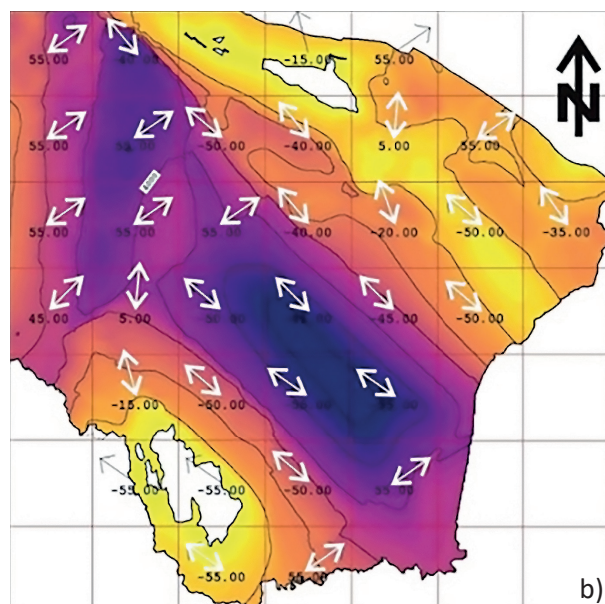
**Obr. 48.** Detail hrúbky kenozoickej výplne Východoslovenskej panvy s prítomnosťou vlnovite deformovaného priebehu zobrazených izochor v smere SV – JZ v súlade s modelom anizotropie použitého modelu variogramu; legenda ako na obr. 47B (Zlocha et al., 2020)

Výsledok aplikácie metodiky kľzavej geoštatistiky na oblasť Východoslovenskej panvy je zobrazený na obr. 49a, kde je možné vidieť výraznú redukciu neželaných „vlnoviek“, ktoré sa objavovali na zobrazených izochorách. Na obr. 49b je detail prekrytý pravidelnou sieťou podoblastí 10 x 10 km so zobrazením smerov hlavných osí lokálnych elíps anizotropie, ktoré v rámci Východoslovenskej panvy majú smer SZ – JV v súlade s priestorovou orientáciou bazénu (Zlocha et al., 2020).

V rámci tvorby modelu bázy terciéru (bod 2) sa testovalo viacero metód priestorovej integrácie údajov, ako sú kolokačný kokringing, Markova-Bayesova aproximácia alebo krigovanie s externým driftom. Vzhľadom na predpoklad nestacionárnej povahy a prítomnosti trendu vývoja sedimentárnej výplne v rámci Východoslovenskej panvy



a)



b)

**Obr. 49.** a) Výsledok aplikácie metodiky kľzavej geoštatistiky na oblasť Východoslovenskej panvy, b) zobrazenie smerov hlavných osí lokálnych elíps anizotropie; legenda ako na obr. 47B (Zlocha et al., 2020)

bola zvolená metóda krigovania s externým driftom. Táto metóda je založená na lokálnom odhade funkcie trendového polygónu na základe vstupného sekundárneho povrchu, ktorý slúži ako externý drift (Zlocha et al., 2020).

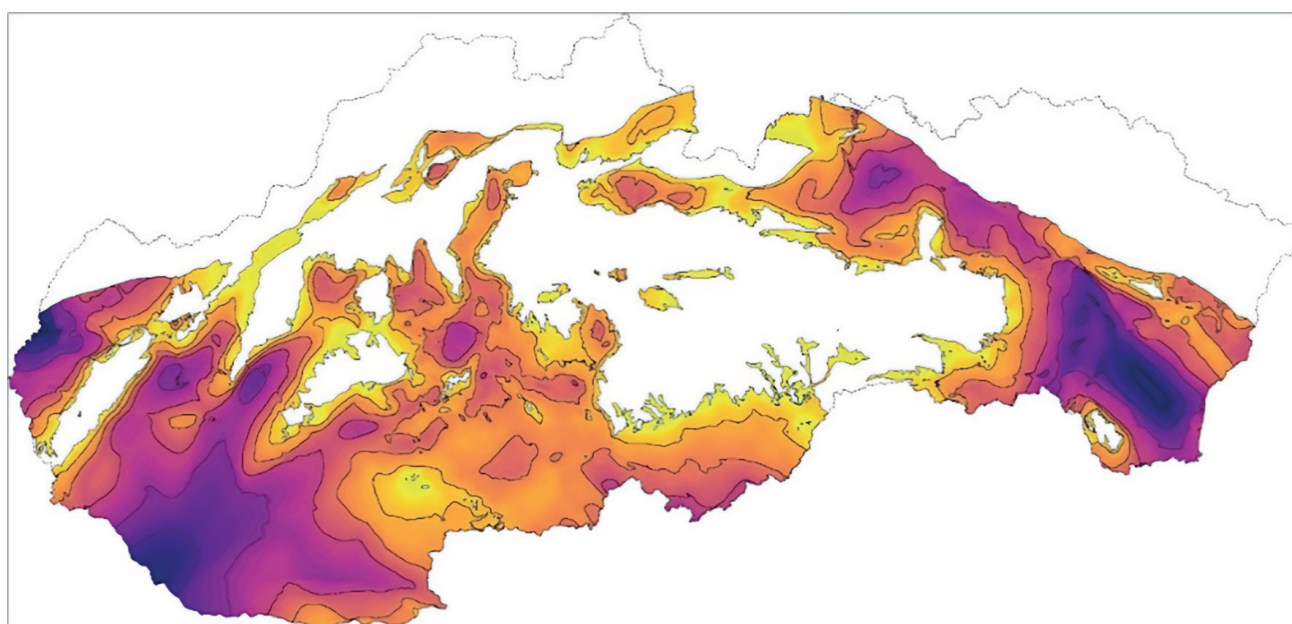
Na obr. 50 je zobrazený výsledný model kenozoickej výplne v rámci terciérneho rozšírenia na území SR. Po extrakcii tohto modelu hrúbky do dostupného DEM dostávame výsledný model bázy terciéru alebo reliéfu predterciérneho podložia (obr. 51) (Zlocha et al., 2020).

Z uvedeného textu vyplýva, že vytváranie geologického modelu je veľmi komplexná činnosť vyžadujúca spoluprácu odborníkov z rôznych oblastí geológie, geofyziky, geoštatistiky, geologického modelovania, databázových odborníkov a programátorov.

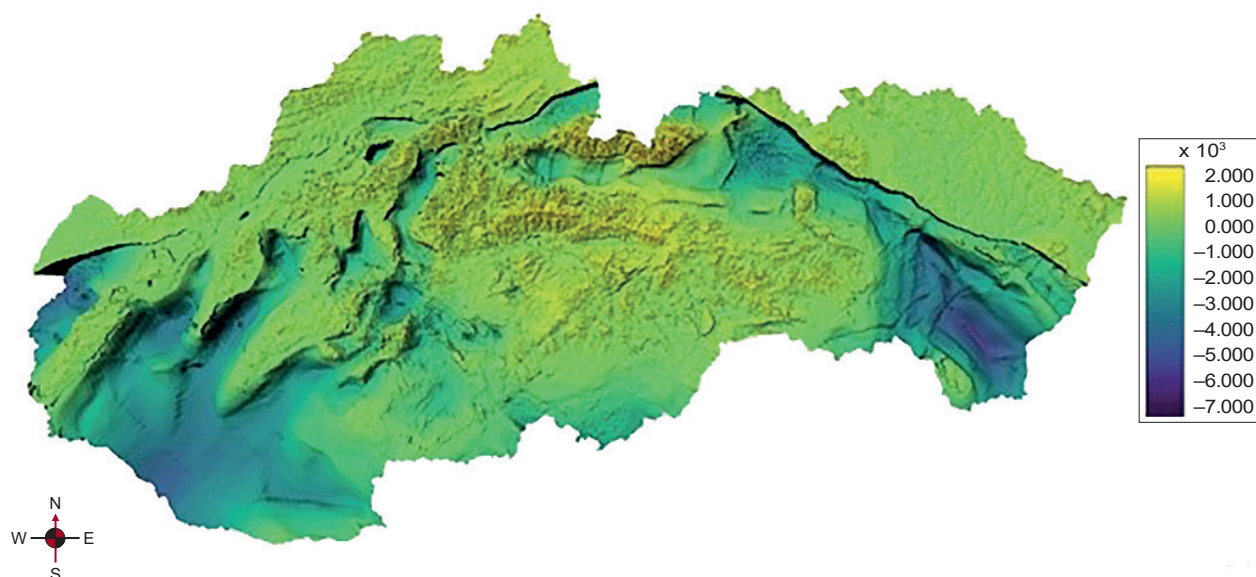
#### 4.1.4.3. Proces tvorby 3D modelu v záujmovom území areálu ŠGÚDŠ

Metodický postup pri vytváraní 3D modelu bol definovaný takto:

- naskenovať územie vzoriek TLS (*Terrestrial Laser Scanning*),
- zamerať budovu vytvoreným prototypom,
- vytvoriť základný tvar budovy ako drôtený model,
- porovnať namerané hodnoty medzi profesionálnym zariadením a prototypom,
- spraviť textúry na objekt z vytvorených fotografií,
- otestovať formát glTF na zobrazovanie testovacieho modelu,
- zobraziť vytvorený výsledný model v IP.



Obr. 50. Výsledok modelovania priestorovej distribúcie hrúbky kenozoika; legenda ako na obr. 47B (Zlocha et al., 2020)

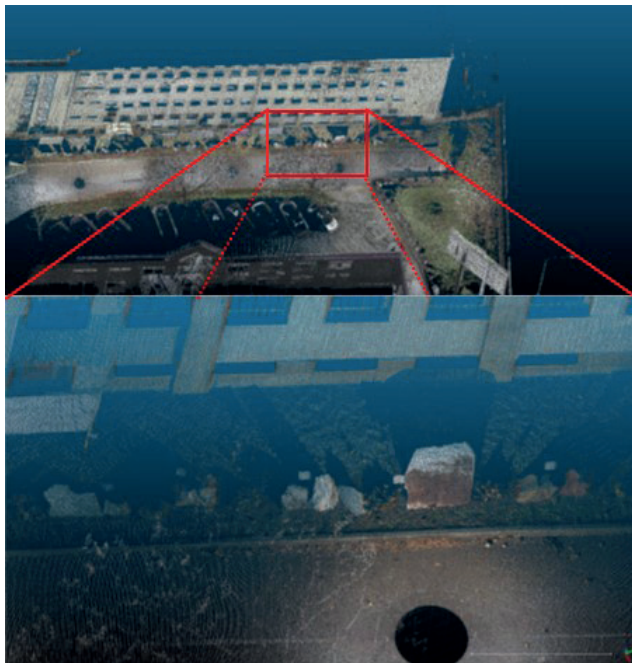


Obr. 51. Výsledný model bázy terciéru spolu s DEM (Zlocha et al., 2020)

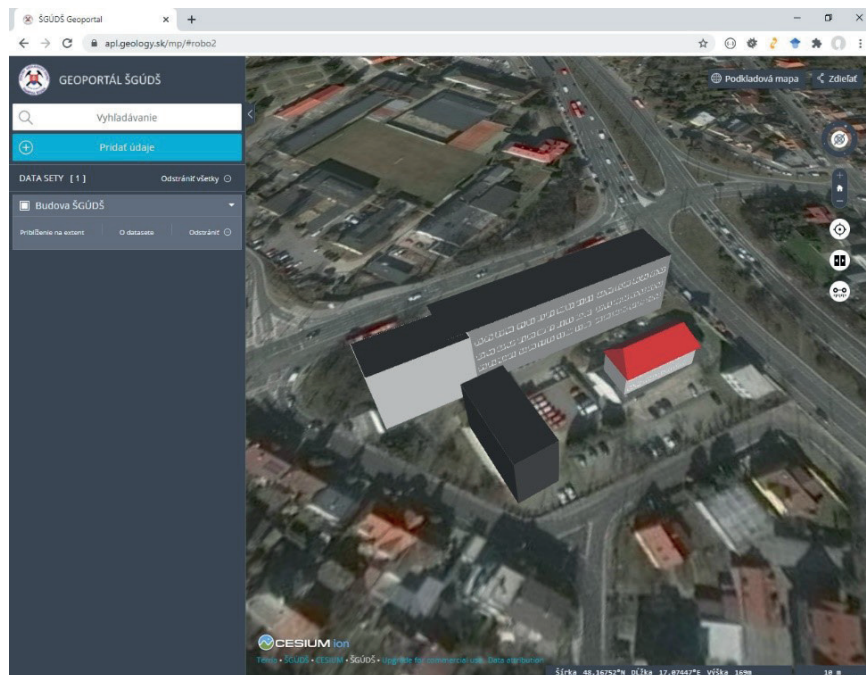
Na základe spolupráce s Technickou univerzitou vo Zvolene sa TLS uskutočnilo 2. 12. 2016 profesionálnym 3D laserovým skenerom FARO Focus3D. Výsledok práce je vizualizovaný v CloudCompare (2018) (obr. 52).

Na otestovanie publikovania glTF súboru na internete pomocou IP bol vytvorený jednoduchý 3D model budov v areáli ŠGÚDŠ v programe Blender. Vizualizácia testovacieho modelu v IP je na obr. 53.

Paralelne s touto činnosťou prebiehalo vytváranie prototypu. Nastali však komplikácie s vývojom prototypu a určený metodický postup nemohol byť dodržaný



Obr. 52. Zobrazenie mračna bodov vzoriek nerastných surovín v programe CloudCompare



Obr. 53. Test zobrazovania 3D modelu vo formáte glTF v internetovom prehliadači

v nastavenom časovom harmonograme. Stanovil sa nový postup v prípade, ak vývoj druhej verzie prototypu nebude úspešný. Nový spôsob spočíval v nalietaní územia UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) a vytvorení 3D modelu zo vzniknutých fotografií pomocou SfM.

Boli vyhľadane možnosti na vytvorenie letového plánu pre systém Android. K dispozícii sú: Pix4DCapture, DJI GS PRO, DroneDeploy, DroneHarmony, Hangar360 a DroneBlocks. Na bezplatné testovanie bol zvolený Pix4DCapture, výsledky však neboli optimálne. Aplikácia definovala príliš dlhý čas letu a počas letu neumožňovala nastavenie fotoaparátu UAV. Výrazne lepšie výsledky boli dosiahnuté v aplikácii DroneDeploy s možnosťou využitia 15-dňovej skúšobnej verzie.

Letová hladina bola nastavená na 70 m, s prekrytom 88 %. Takéto nastavenie závisí od technického vybavenia UAV Mavic 2 Pro. Obrazový senzor má veľkosť 1" a Rolling shutter s elektronickou uzávierkou. V prípade výpadku snímky na nastavenej trase ich zostane stále dosť na vytvorenie modelu a zároveň na lietanie stačia dve batérie, ktoré boli k dispozícii. Pri tejto výške vychádza 1,6 cm na pixel. Kvôli podrobnejším snímkam sa nad časťou areálu lietalo vo výške 30 m, kde vychádza 1 cm na pixel. Zároveň sa vytvorilo 1 038 snímok z pozemnej fotogrametrie.

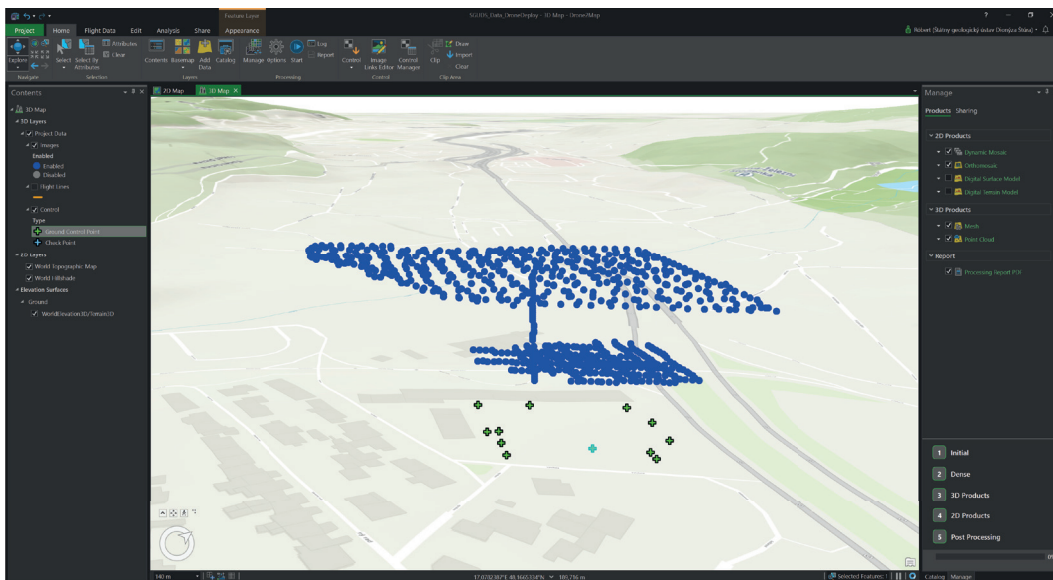
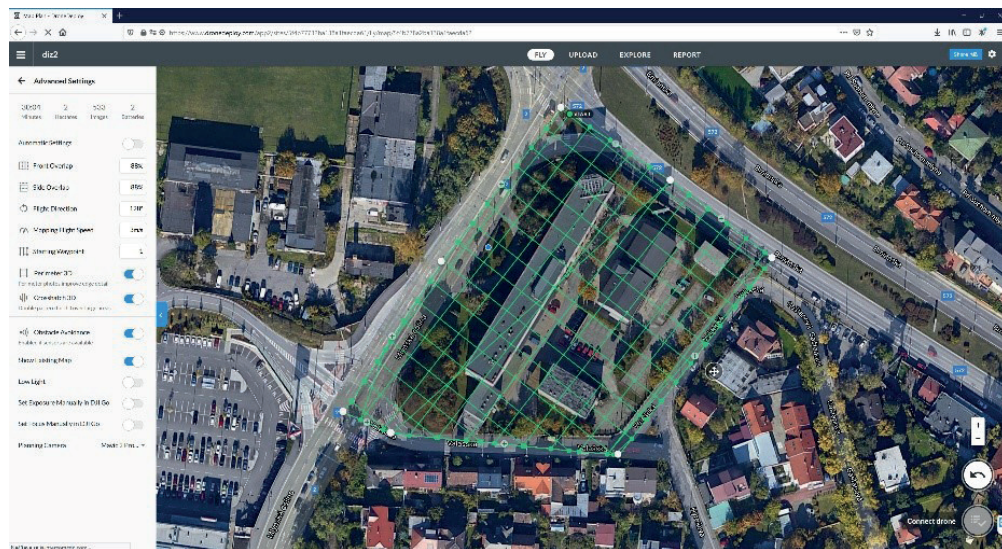
Pred meraním neboli zamerané vlícovacie body (GCP – *Ground Control Points*) pre nedostupnosť vhodného GNSS. Model bol vypočítaný v prostrediach Drone2map (Esri zapožičané firmou ArcGEO System, s. r. o.) a DroneDeploy (Cloud). Na získanie veľmi presného modelu bol úmysel spojiť mračno bodov TLS so snímkami z UAV a fotografií z pozemnej fotogrametrie pomocou RealityCapture. Tento pokus bol pre málo operačnej pamäti (32 GB) neúspešný.

Neskôr sa podarilo zabezpečiť GNSS Geo 7X so Slovenskou priestorovou observačnou službou (SKPOS). Preto boli niektoré výrazné body zamerané s presnosťou 2 cm. Tieto body boli pri veľkosti pixela 1 cm veľmi ľahko rozpoznateľné. Po prepočítaní modelu v Drone2map sa zistili odchýlky.

Bez zameraných GCP (namerané body boli použité ako *check control*) bola XY RMS Error [m] 2,635 2 a Z RMS Error [m] 5,834 321. Pri použití GCP bola XY RMS Error [m] 0,093 869 7 a Z RMS Error [m] 0,221 445.

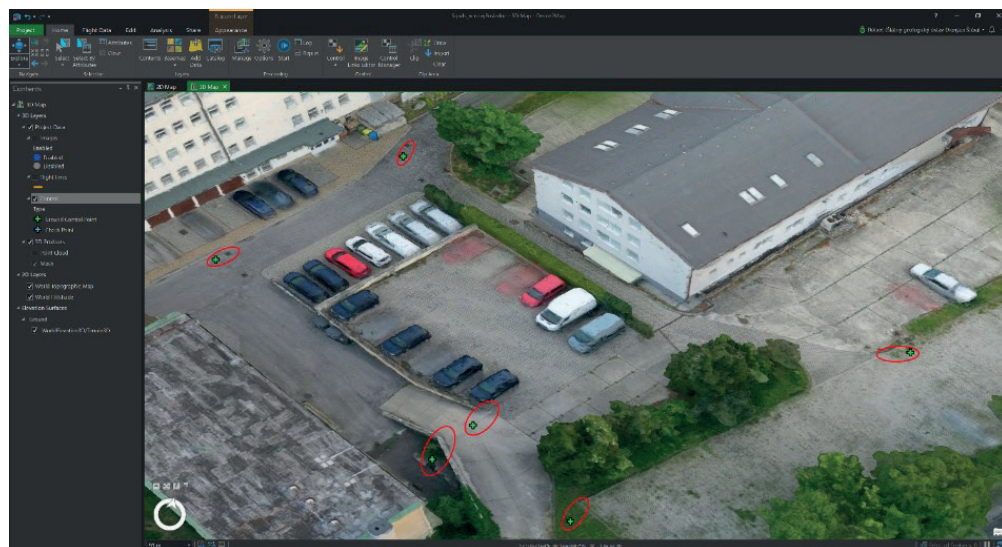
Zo získaných skúseností pri používaných softvéroch bola najjednoduchšia práca pri vytváraní 3D modelu so softvérom Drone2map. Vložia sa snímky, priložia GCP a na snímkach sa označia jednotlivé GCP. Model sa nechá vypočítať a po skončení sa projekt otvorí v ArcGIS Pro, kde je možnosť exportovania ako *hosted layer* cez ArcGIS Portal. Veľmi podrobne je model vytvorený prostredníctvom RealityCapture. Pri využití DroneDeploy sa po odlietaní snímky odošlú

Obr. 54. Vytvorenie letového plánu v DroneDeploy pomocou IP. Letový plán bol potom stiahnutý do mobilného telefónu, ktorý bol pripojený k diaľkovému ovládaču UAV.

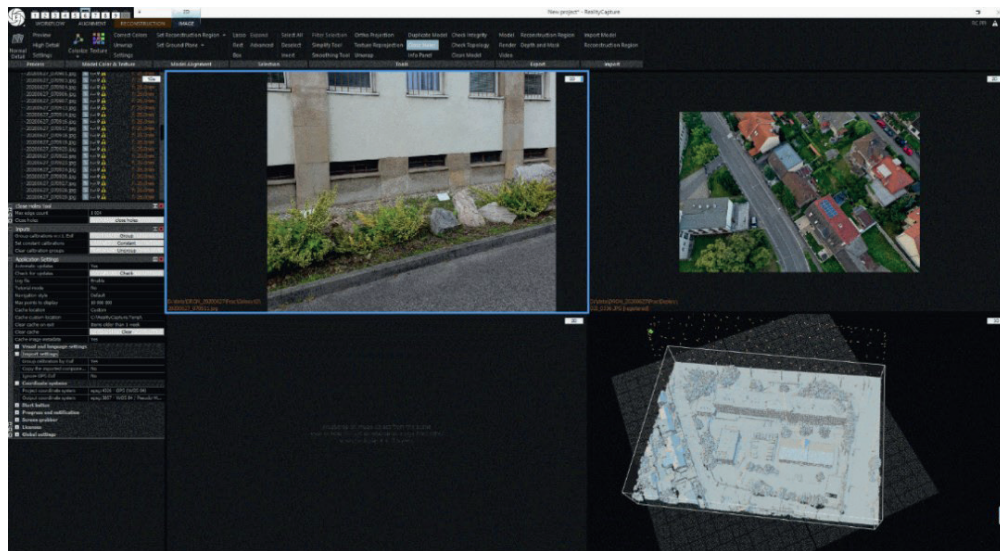
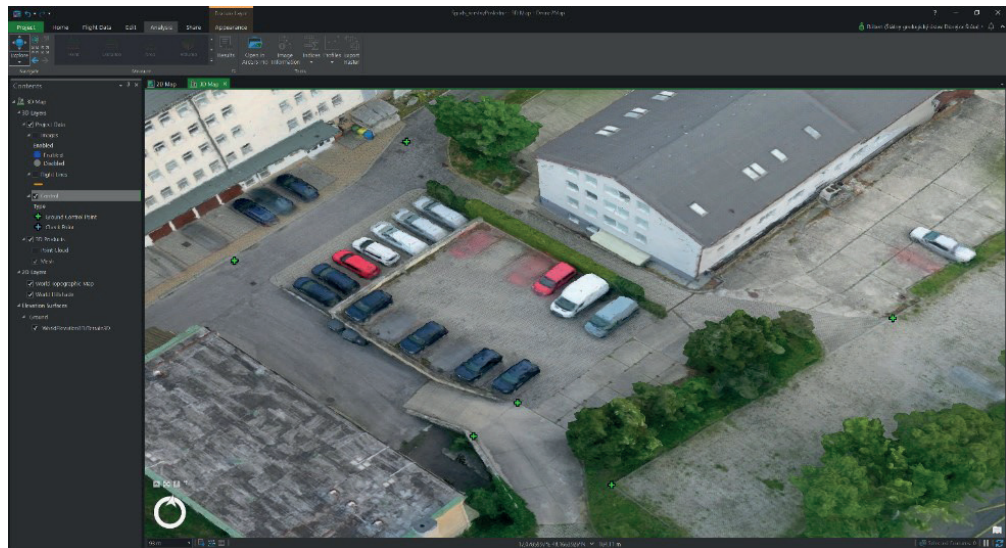


Obr. 55. Zobrazenie pozícií UAV pri vytvorení snímok spolu s GCP v Drone2map

Obr. 56. Chyby polohy bez použitia GCP

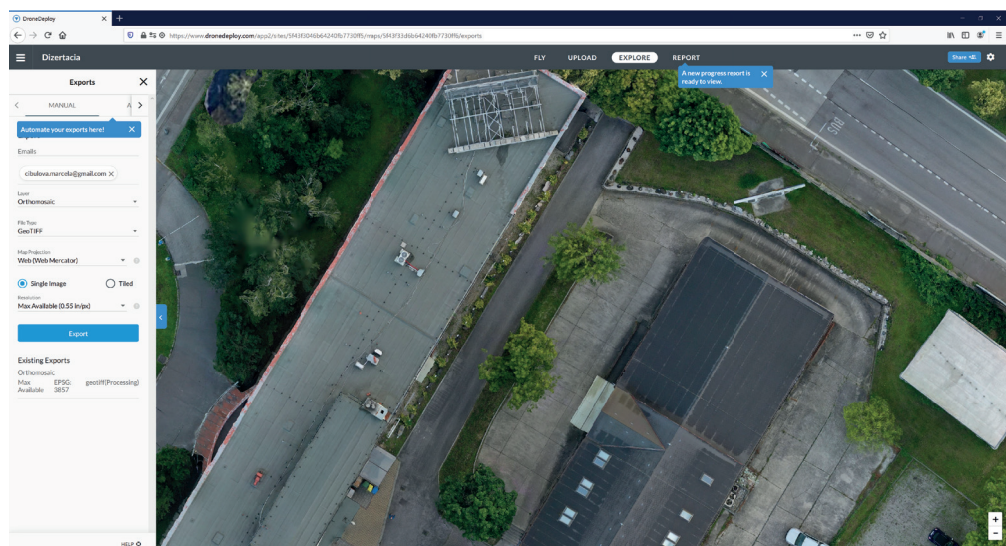


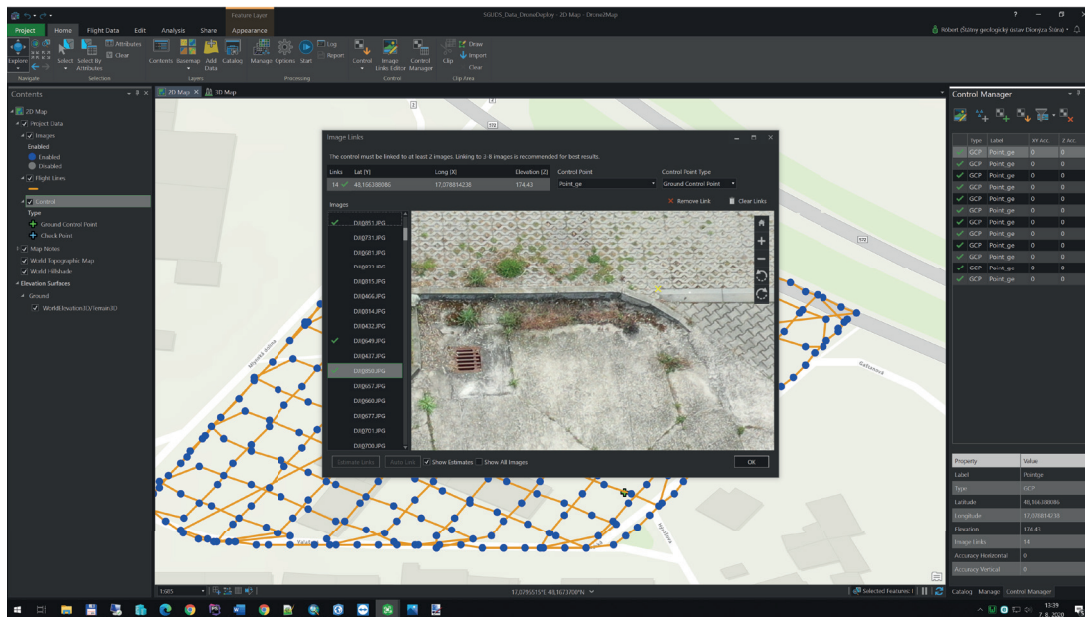
Obr. 57. Vytvorenie modelu s použitím GCP



Obr. 58. Vytváranie modelu v RealityCapture

Obr. 59. Vytváranie modelu v DroneDeploy (cloud)

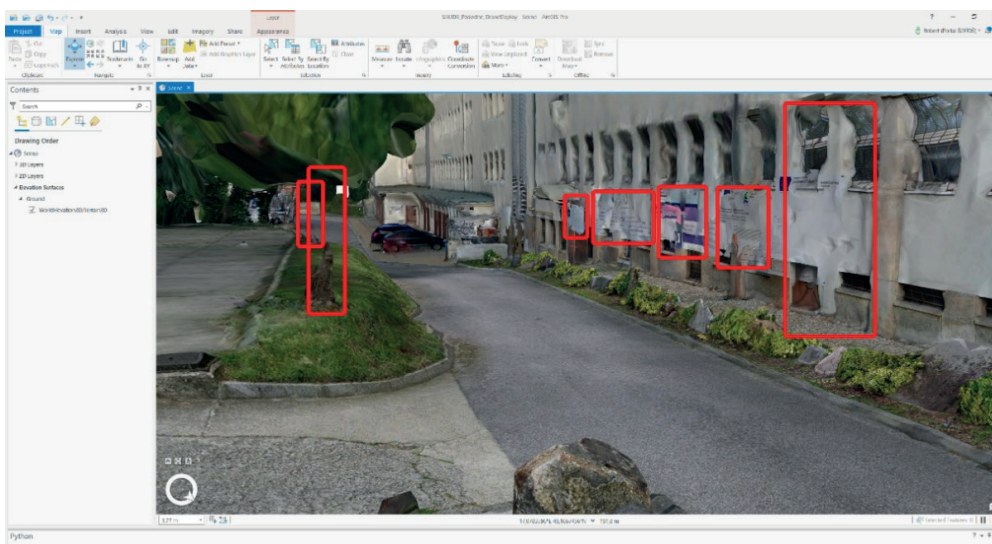




Obr. 60. Označovanie GCP v programe Drone2map



Obr. 61. Detail zobrazenia vzorky nerastnej suroviny: a) Drone2map, b) DroneDeploy



Obr. 62. Chyby vytvoreného modelu zobrazené v ArcGIS Pro

na DroneDeploy Cloud. Na využitie snímok z pozemnej fotogrametrie je model pri zobrazovaní vzoriek nerastných surovín podrobnejší. Problém je v umiestnení do súradnicového systému, ktoré bolo vytvorené manuálne. Oproti modelu vytvorenému v Drone2Map, kde sú lokalizácia modelu a tvar presné, je model z DroneDeploy umiestnený s väčšou polohovou chybou (v aktuálnom období 4 m). Vzhľadom na to, že cieľom využitia je vizualizácia vzoriek, nie je táto chyba dôležitá. Na obr. 61 je porovnanie detailu vytvoreného modelu na vzorke nerastných surovín.

3D model bol vytvorený bez dodatočných úprav a je tam veľké množstvo chýb. Napríklad detaily stromov sú vytvorené zle, lebo stromy sa nachádzajú medzi dvomi budovami a bola obava letieť nižšie, aby nedošlo k poškodeniu UAV. Chyby modelu sú aj pri zobrazení tabúl s projektmi, aj na stene budovy ŠGÚDŠ. Zobrazenie niektorých chýb je na obr. 62.

Kvôli vytvoreniu lepšieho modelu je potrebná kvalitnejšia príprava vyhotovenia snímok pozemnou fotogrametriou a možnosť využitia komerčnej verzie fotogrametrického softvéru.

#### 4.1.4.4. Proces tvorby údajov v záujmovom území lesného celku Vigľaš

Zdrojové údaje do praktickej časti práce v sektore lesníctva boli získané algoritmom, ktorý je popísaný v práci Sačkov et al. (2017).

Algoritmus na detekciu koruny stromov a vymedzenie koruny stromu obsahuje nasledujúce súvisiace postupy.

Vstupným súborom je klasifikované mračno bodov, roztriedené na zem a vegetáciu.

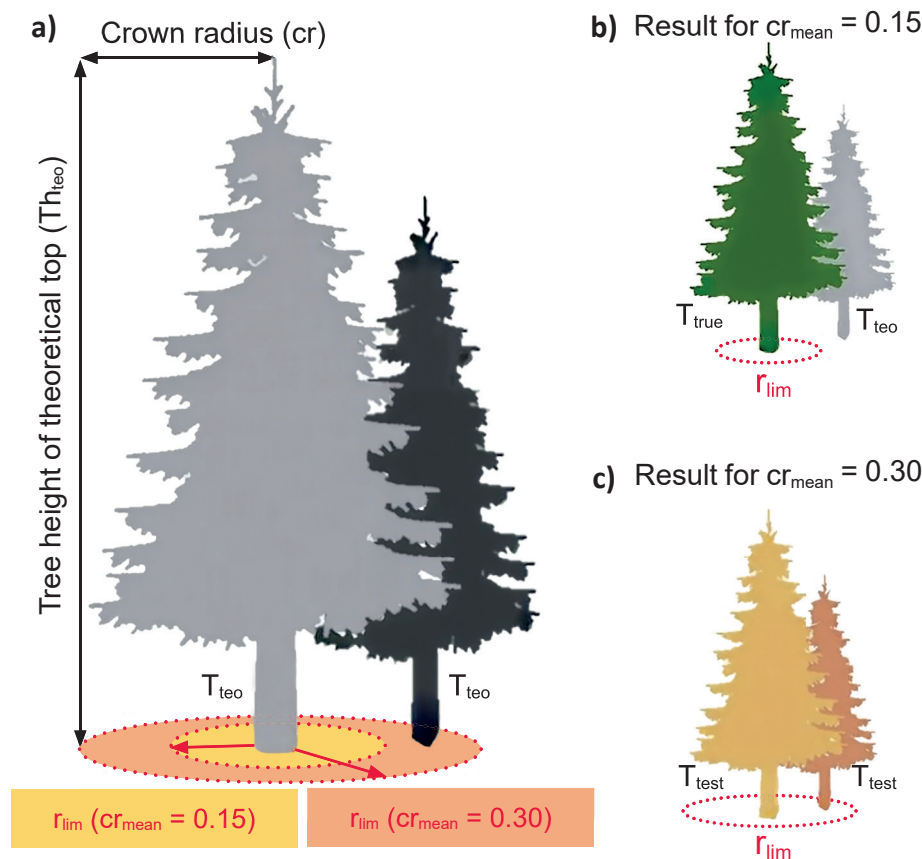
Postup ďalšieho spracovania:

- rozdelenie bodov na trojrozmerné pravidelné dlaždice;
- výpočet absolútnej výšky nad zemou každej z nich (postup normalizácie) a zníženie počtu bodov vo vstupnom súbore uplatnením minimálneho prahu výšky stromu (postup obmedzenia výšky);
- tieto operácie poskytujú mračno bodov, ktoré sa ďalej používa na opakované vyhľadávanie korún stromov (nájdanie miestnych maxím, geodendrometrický test, vymedzenie korún stromov) (obr. 63, 64, 65);
- exportovanie výstupov všetkých postupov do bodov a vytvorenie vektorových polygónových súborov vo formáte ESRI (shp);
- overenie údajov terestrickým meraním.

Overovaním sa zistilo, že použitie vyvinutého algoritmu pomocou optimálnych nastavení dokáže správne zachytiť približne 65 % všetkých stromov v študovanej oblasti (Sačkov et al., 2017).

#### 4.1.5. Tvorba webových služieb pre interoperabilný informačný systém

Interoperabilita medzi informačnými systémami umožňuje, aby sa medzi informačnými systémami navzájom zdieľali potrebné údaje. Dôležitosť tejto témy si uvedomuje aj Európska únia (EÚ). Ilustrujú to napríklad aj rozhodnutia

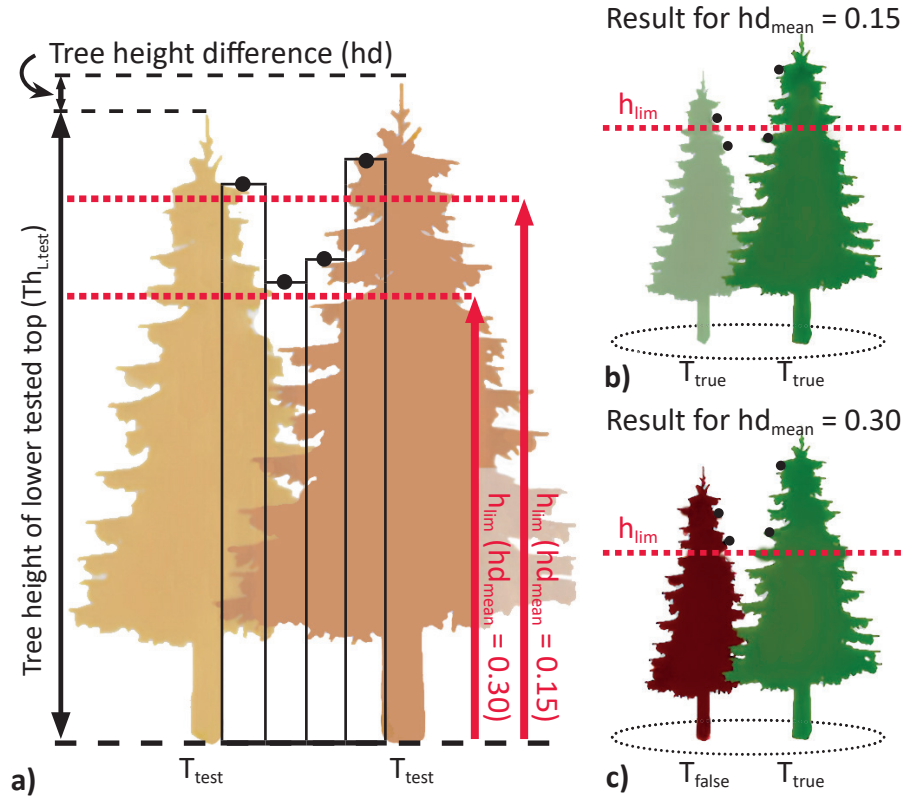


**Obr. 63.** a) Test na výškový rozdiel medzi stromami: okolo každej teoretickej koruny stromov ( $T_{teo}$ , sivé stromy) sa vytvorí testovacia plocha ( $r_{lim}$ ) s polomerom rovným pomeru stredného polomeru koruny k výške stromu v skúmanom lese ( $cr_{mean}$ , 0,15 alebo 0,3 výšky stromu v tomto príklade). b) Ak sa v  $r_{lim}$  nachádza iba jeden  $T_{teo}$ , označí sa ako skutočná koruna stromu ( $T_{true}$ , zelený strom), c) inak sa všetky vyskytujúce  $T_{teo}$  označia ako testovacie vrcholy ( $T_{test}$ , hnedé stromy) (Sačkov et al., 2017).

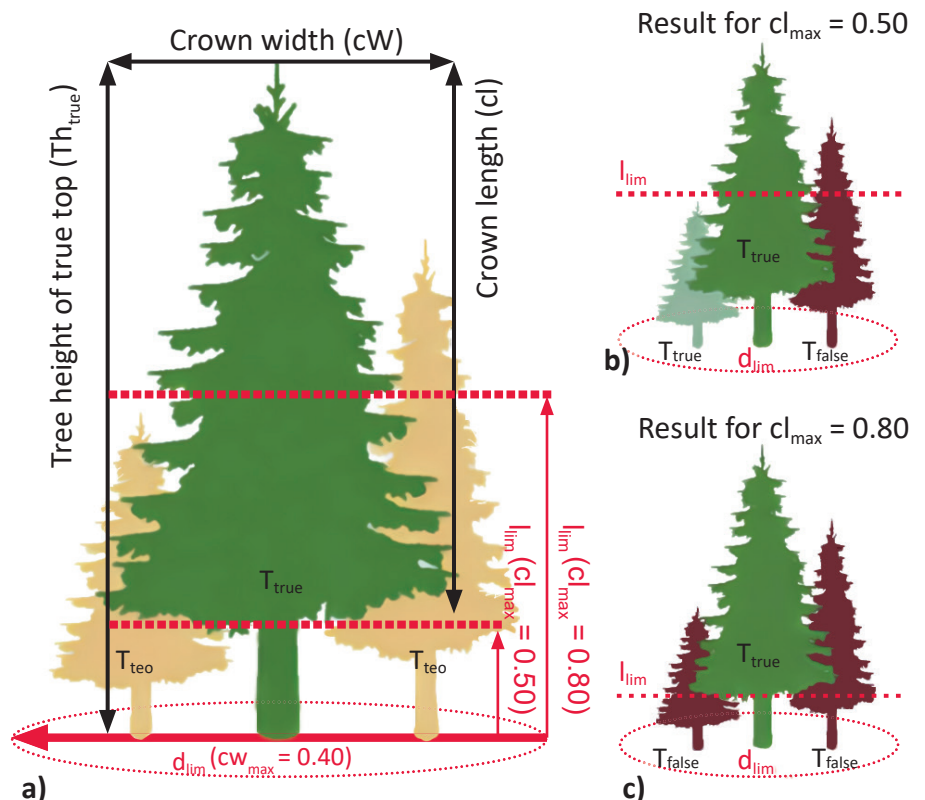
Rady, kde boli prijaté dve nariadenia, ktorými sa stanovuje rámec pre interoperabilitu medzi informačnými systémami EÚ v oblasti spravodlivosti a vnútorných vecí informačných systémov: „Interoperabilita medzi informačnými systémami umožní, aby sa tieto systémy navzájom dopĺňali,

uľahčí správnu identifikáciu osôb a prispeje k boju proti podvodom s osobnými údajmi.“ (Rada EÚ, 2019). Ďalší príklad z EÚ je základom myšlienky INSPIRE (European Commission, 2020), ktorý spočíva v jednotnom využívaní priestorových údajov členských štátov EÚ. Štandardizácia

**Obr. 64.** Test na výškový rozdiel medzi stromami (druhá časť). a) Normalizovaná výška  $h_{T.nor}$  (čierny body) medzi párami  $T_{test}$  sa vypočítava pomocou údajov mračna bodov. Potom sa vypočíta limita výškového rozdielu  $h_{lim}$  pre nižší  $T_{test}$  v každom páre  $T_{test}$  (svetlohnedý strom). Limita závisí od pomeru rozdielu priemernej výšky k výške stromu ( $hd_{mean}$ , 0,15 a 0,3 v príklade). b) Ak je akýkoľvek  $h_{T.nor}$  nižší ako  $h_{lim}$ ,  $T_{test}$  je označený ako skutočná koruna stromou ( $T_{true}$ , zelené stromy), c) inak sa  $T_{test}$  označí ako chybná koruna (Sačkov et al., 2017).



**Obr. 65.** Testy horizontálnej a vertikálnej vzdialenosti medzi stromami sa vykonávajú súčasne s cieľom odstrániť teoretické koruny stromov v miestach, kde sa neočakáva, že koruny stromov budú existovať. a) Horizontálny limit  $d_{lim}$  sa počíta v prípade každej koruny stromu  $T_{true}$ , ktorá predstavuje maximálnu povolenú šírku koruny ( $cw_{max}$ , 0,4 výšky stromu v uvedenom príklade). Vertikálna medzná hodnota  $l_{lim}$  sa vypočíta tak, aby definovala maximálnu prípustnú dĺžku stromu ( $cl_{max}$ , 0,5 a 0,8 výšky stromu v uvedenom príklade). b, c) Všetky skúšané koruny stromov ( $T_{test}$ ) sa klasifikujú ako nové skutočné koruny stromov ( $T_{true}$ ) alebo chybné koruny stromov ( $T_{false}$ ) (Sačkov et al., 2017).



formátu webových služieb a údajov pre priestorové informácie je podstatou interoperability informačných systémov.

Hlavným účelom webovej služby je spracovanie a poskytovanie informácií (Gála et al., 2006). V geoinformatike sa poskytovanie údajov prostredníctvom webových služieb rieši tak, že konkrétna webová služba poskytuje údaje určitého dátového súboru. Výnimku tvoria OGC API (OGC, 2020) a geoprocesné služby, ktoré na základe parametrov môžu poskytovať údaje z rôznych dátových súborov.

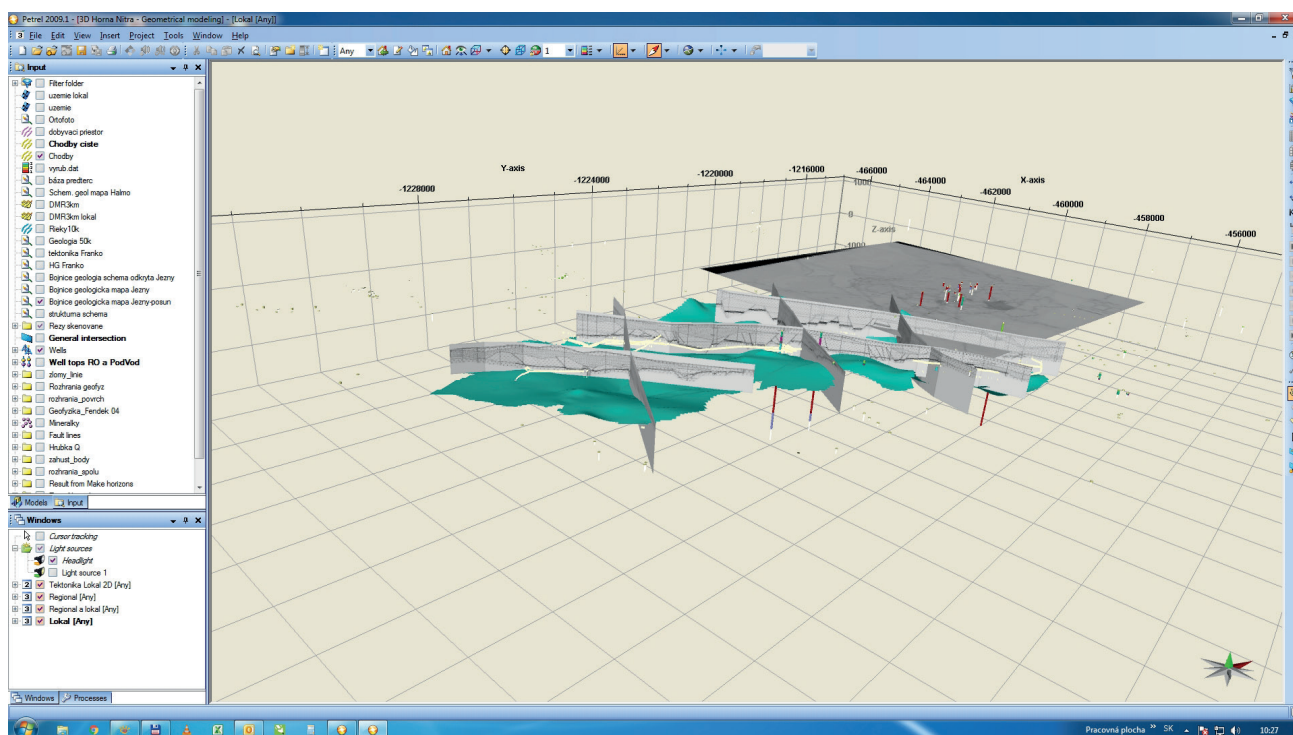
Pri definovaní architektúry aplikácie WebGIS je dôležité využívanie dostupných webových služieb alebo je potrebné vytvoriť nové webové služby prípravou požadovaných údajov. Pripraviť údaje znamená vykonať také činnosti, ktoré pomôžu využívať údaje vytvorené v iných systémoch. Jednou z takýchto činností je výber údajov zo systému, v ktorom vznikli, ich transformácia na požadovaný formát a vloženie do systému, ktorý ich bude využívať (ETL – *extract, transform, load*). Ďalšou takouto činnosťou je transformácia súradnicového systému. Aj keď už je možné v aplikácii WebGIS využívať rôzne súradnicové systémy, transformácia vykonávaná v klientskej aplikácii WebGIS spomaľuje rýchlosť a odpovede. Tieto dva druhy činností tvorili základ spracovania údajov do informačného systému na 2D a 3D kartografické zobrazovanie.

Pri interaktívnej 2D a 3D KV sa budú v systéme využívať údaje z 3D geologického modelovania, 3D model z UAV fotogrametrie, 2D údaje vzniknuté štatistickými metódami nad mračnom bodov vo formáte LAS a 2D údaje z geologických mapových aplikácií.

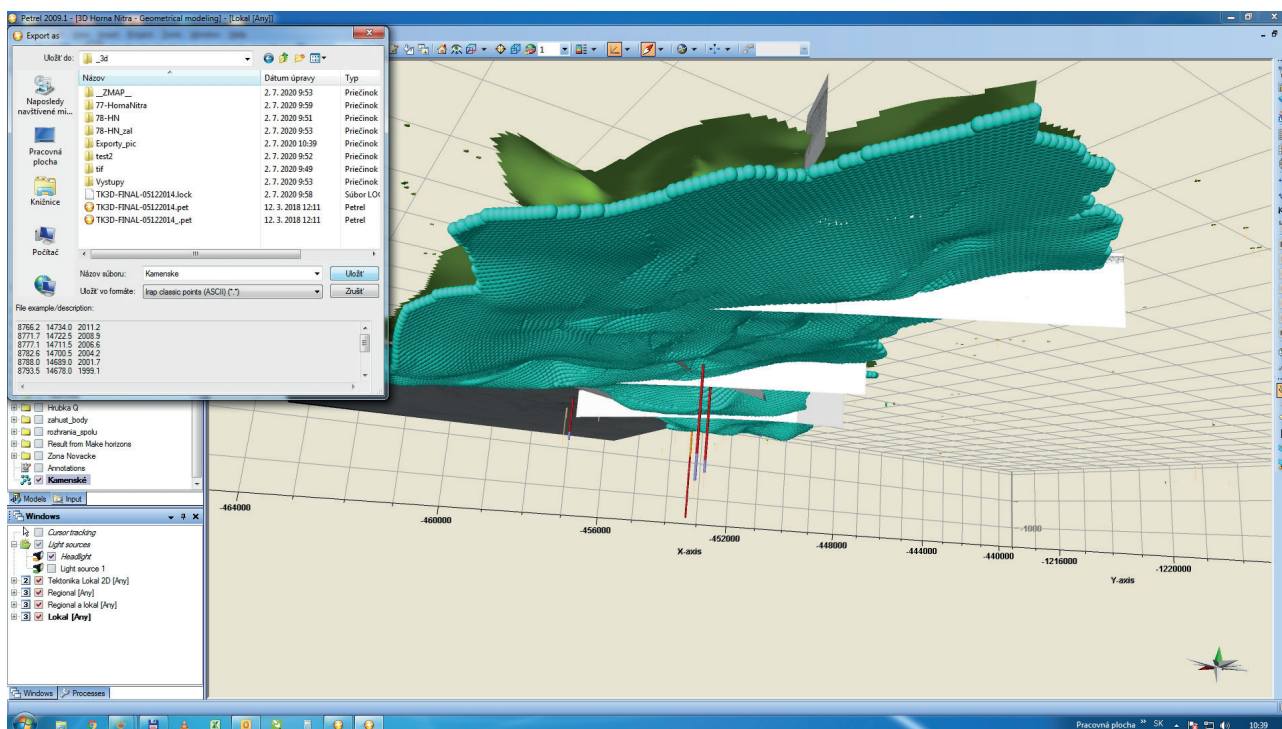
#### 4.1.5.1. Vytvorenie webových služieb pri spracúvaní geologických údajov

Veľmi významnú úlohu pri hľadaní postupu na transformáciu formátu mal projekt *Hornonitrianska kotlina – troj-rozmerné geologické modelovanie exponovaného územia* (Kotulová et al., 2010). Výsledky tohto projektu neboli publikované ako aplikácia WebGIS, ale boli vo forme obrázkov. Spracovanie údajov sa vykonávalo v tej istej verzii programu Petrel. Preto výsledky 3D geologického modelovania boli pilotným územím. Na týchto údajoch sme hľadali spôsoby transformácie údajov z programu Petrel do formátu vhodného na publikovanie na internete (Zlocha et al., 2020).

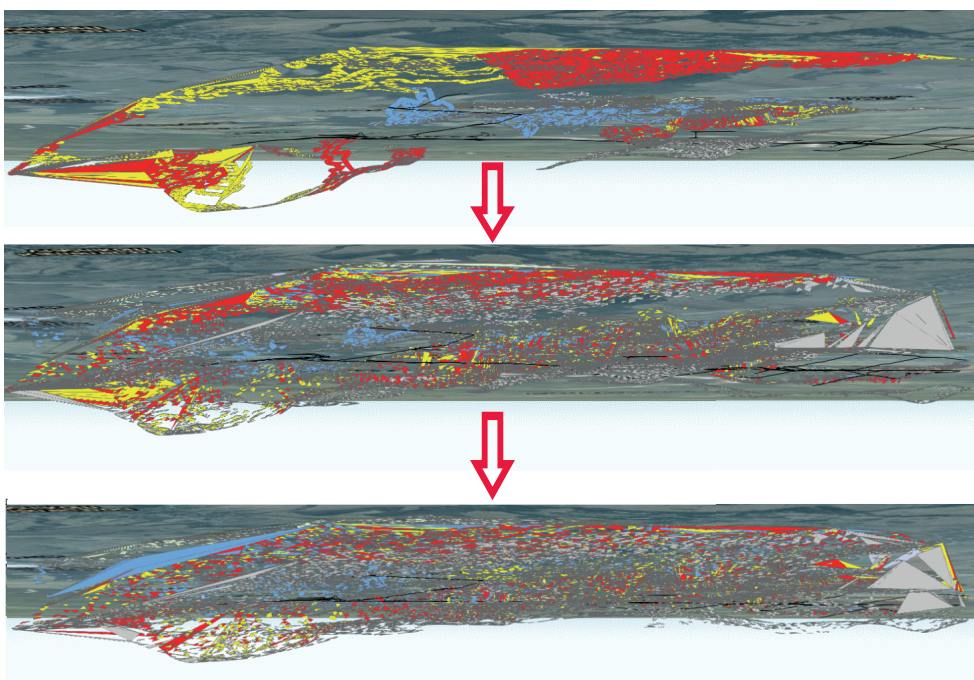
Z dostupných zdrojov sa našlo niekoľko riešení. Niektoré boli pre staršie verzie ArcGIS alebo vyžadovali zakúpenie softvéru od tretích strán. Vyskúšalo sa niekoľko postupov [aj s využitím (trial) Global Mapper], ktoré umožňujú konverziu z interného formátu programu Petrel do formátu vhodného na ďalšie spracovanie. Tieto postupy nevedli k úspešnému výsledku. Nakoniec pre riziko dĺžky verejného obstarávania nebol obstaraný softvér na konverziu údajov, ale bol vybraný variant spracovania textových XYZ súborov. Znamenalo to, že bolo potrebné pripraviť také riešenie, ktoré nebolo založené na zobrazovaní voxelov (Dey et al., 2018), ale na zobrazovaní vrstiev. Riešenie spočívalo v ukladaní jednotlivých modelovaných súvrstiev systematicky ako bázu. Na obr. 66 je zobrazené kamenské súvrstvie v programe Petrel. Na obr. 67 je súvrstvie transformované do bodovej vrstvy a následne exportované do formátu ASCII (Zlocha et al., 2020).



Obr. 66. Kamenské súvrstvie v programe Petrel (Zlocha et al., 2020)



Obr. 67. Z kamenského súvrstvia je vytvorený bodový formát. Ten je následne exportovaný do ASCII (Zlocha et al., 2020).



Obr. 68. Zobrazovanie 3D geologického modelu pilotného územia (Zlocha et al., 2020)

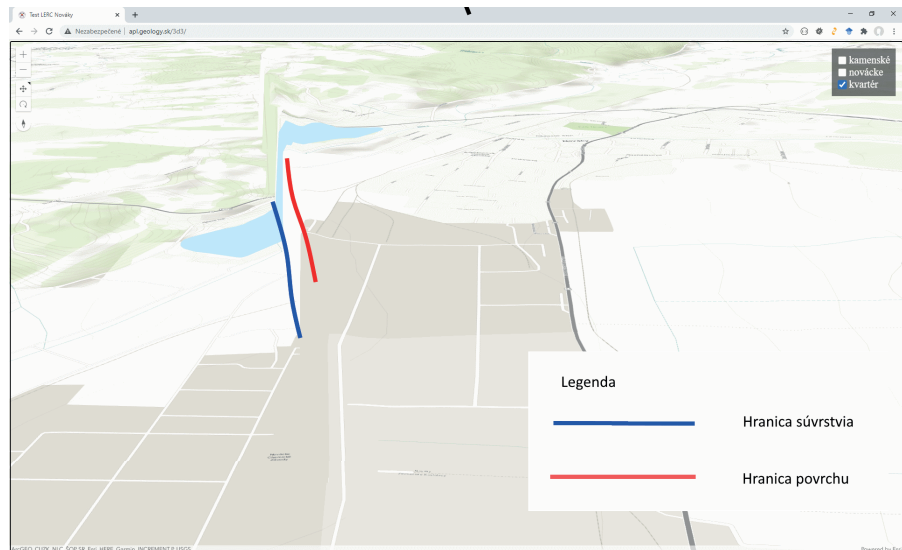
Exportované súbory ASCII sa interpolovali a vytvorili sa modely TIN (trojuholníkových nepravidelných sietí) v prostredí ArcGIS s nadstavbou 3DAnalyst. TIN bol konvertovaný do polygónovej triedy prvkov a exportovaný do databázového servera. Po exporte všetkých súvrství boli vytvorené webové služby a jednoduchá aplikácia WebGIS na otestovanie funkcionality. Výsledky neboli potešujúce.

Systém po 12,6 s skončí načítavanie a pre prekročenú pamäť v IP nezobrazí všetky údaje. Polygóny sa zobrazujú

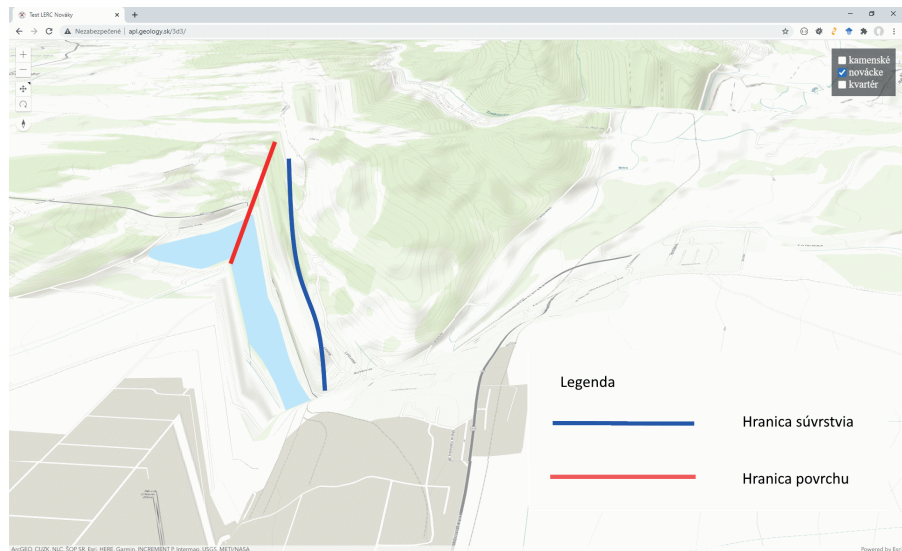
a miznú podľa toho, ako systém načítava ďalšie údaje. Na obr. 68 je ukážka zobrazovania modelu. Hlavný problém spočíval v množstve 280 000 polygónov, z ktorých sa 3D geologický model skladal (Zlocha et al., 2020).

Po zistení, že tento spôsob transformácie nie je dobrý, nastalo hľadanie ďalšieho postupu. Zvažovali sa aj 3D dlaždice, ale na vytvorenie by musel byť použitý iný typ softvéru, napríklad 3D grafický softvér Blender. Ďalším pokusom 3D KV bolo využitie formátu LERC od ESRI na

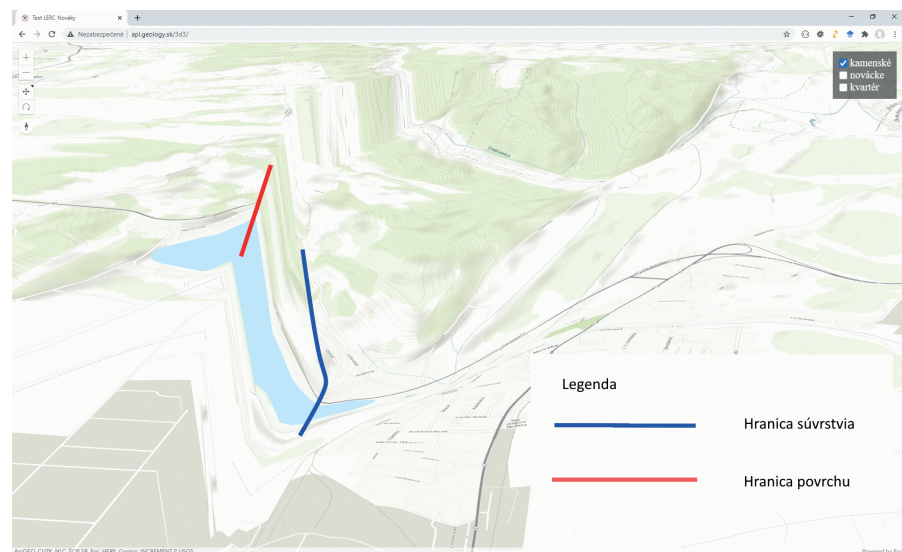
**Obr. 69.** Uloženie podkladovej mapy na súvrství kvartéru. Model vystupuje nad povrch, lebo povrch mimo hraníc 3D modelu nie je položený na EL a má výšku 0 m.



**Obr. 70.** Uloženie podkladovej mapy na nováckom súvrství



**Obr. 71.** Uloženie podkladovej mapy na kamenskom súvrství



zobrazovanie. Tento formát využíva firma ESRI na zobrazovanie *elevation layer* EL (vrstva na modelovanie terénu). Z technického hľadiska ide o rastrový formát na rýchle kódovanie akéhokoľvek typu pixela (nie iba RGB alebo byte) (Maurer et al., 2020). Tento formát sa využije pri vytvorení webovej služby (*Image service*). Jeho výhodou je, že zobrazenie je veľmi rýchle. Úmyslom bolo vytvorenie niekoľkých služieb EL (*Elevation Layer* – výšková vrstva) a renderovanie každej vrstvy s farebným označením. Pri vytvorení sa využil TIN a konvertovanie na raster. Z rastra bola vytvorená webová služba. Zobrazenie je veľmi rýchle, ale ako sa ukázalo neskôr, štandardne je možné zobraziť iba jednu EL. JS knižnica inú možnosť neponúka. Po konzultácii so zástupcom firmy ESRI sa iná možnosť neplánuje. Na obr. 69, 70 a 71 je zobrazenie podkladovej vrstvy (*base map*) uložených na vrstve kvartéru, nováckom súvrství a kamenskom súvrství, vytvorených ako EL (Zlocha et al., 2020).

Po predchádzajúcich neúspešných pokusoch sa testovalo riešenie s využitím *multipatch* polygónu (ESRI, 1998; ESRI, 2012). Nový postup spočíval vo vytvorení polygónu, ktorý bol hranicou územia (polygón bol potrebný na výpočet *multipatch* polygónu). Využili sa TIN vygenerované v predchádzajúcich krokoch. *Multipatch* polygón nie je možné vytvoriť z menu. V okne Python sa píše príkazy a pomocou nich sa vytvorí súbor shp s *multipatch* polygónom:

```
arcpy.env.workspace = "d:/data/robo/3d_geologia500/"
arcpy.InterpolatePolyToPatch_3d(„kvarter_tin“, „kamenske_polygon.shp“, „kvarter_multipatch.shp“, 1024, 1, „Area“, „SArea“, 5)
```

Tieto príkazy sú spustené pre každé súvrstvie. Potom sa ešte vytvorí projekcia do súradnicového systému s kódom EPSG:3857 [WGS 1984 Web Mercator (*auxiliary sphere*)] (ESRI, 2019):

```
infc = r" d:\data\robo\3d_geologia500\kamenske_multipatch.shp"
```

```
sr = arcpy.SpatialReference("WGS 1984 Web Mercator
(auxiliary sphere)")
arcpy.DefineProjection_management(infc, sr)
```

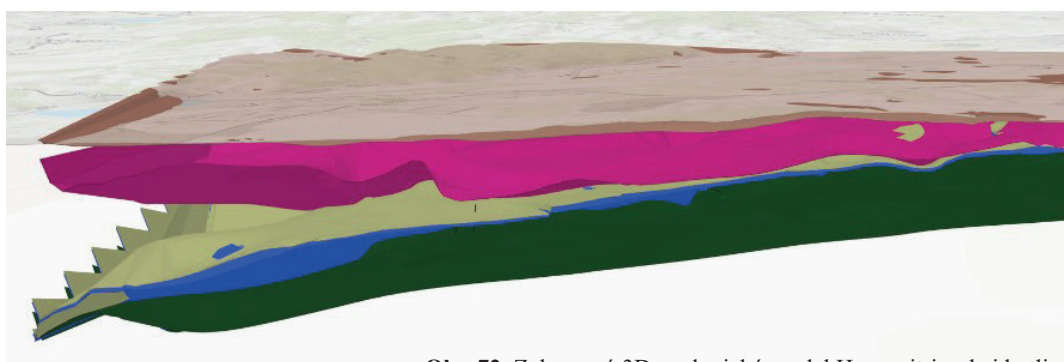
Po vykonaných krokoch vznikol jeden súbor „shp“ s jedným polygónom za každé súvrstvie. Publikovať webovú službu je potrebné v ArcGIS pro v menu Sharing - > Share As Web Layer. Tento krok vytvorí na serveri ArcGIS Scene Layer (ESRI, 2019) vo formáte I3S (ESRI, 2019), uloženú v ArcGIS Data Store.

Tab. 12. Typy vrstiev vo formáte I3S (ESRI, 2019)!

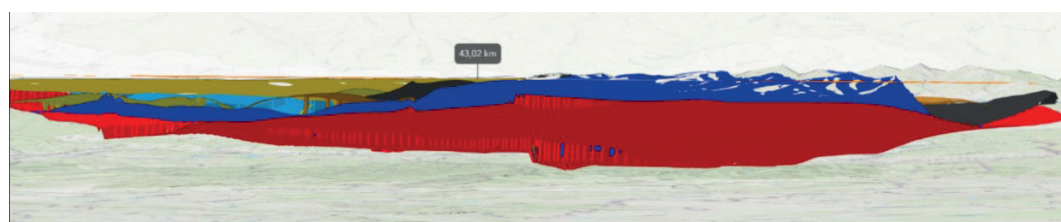
Typ vrstvy (príklad)	Typ reprezentácie	Identifikovateľné prvky	Atribúty
3D Object	<i>mesh-pyramids</i>	Yes	Yes
Integrated Mesh	<i>mesh-pyramids</i>	No	<i>planned</i> : Triangle Attributes
Point	<i>points</i>	Yes	Yes
Pointcloud	<i>pointclouds</i>	No	Vertex Attributes
Line	<i>lines</i>	Yes	Yes
Polygon	<i>polygons</i>	Yes	Yes

Tento pokus bol úspešný a zobrazenie bolo veľmi rýchle. Celý 3D model je zložený z piatich *multipatch* polygónov. Toto riešenie bolo vybrané na ďalší postup.

Kým bol vytvorený 3D geologický model Slovenskej republiky, postup bol otestovaný na 3D modeloch z projektov *TransEnergy* (Černák et al., 2008) a *Turčianska kotlina* (Nagy et al., 2014). Výsledky týchto projektov boli v programe Petrel 8.4. a neboli publikované na internete pomocou IP. Ukážky zobrazenia týchto 3D geologických modelov sú na obr. 73 a 74.



Obr. 72. Zobrazený 3D geologický model Hornonitrianskej kotliny



Obr. 73. 3D geologický model Turčianskej kotliny, veľkosť modelu 45 x 19 km

Pri 3D geologickom modeli Slovenska 1 : 500 000 sa začala príprava údajov pre webové služby rovnakým spôsobom. Bola vytvorená vrstva kvartér. Následne sa zistilo, že uvedený postup funguje dobre len pri konvexných polygónoch. TIN pracuje s Delaunayovou trianguláciou, ktorá si sama vytvorí konvexný polygón. Ak ide o územie, z ktorého nemáme údaje, dostávame z týchto oblastí nevhodné informácie s nutnosťou orezania a pod. (Zlocha et al., 2020).

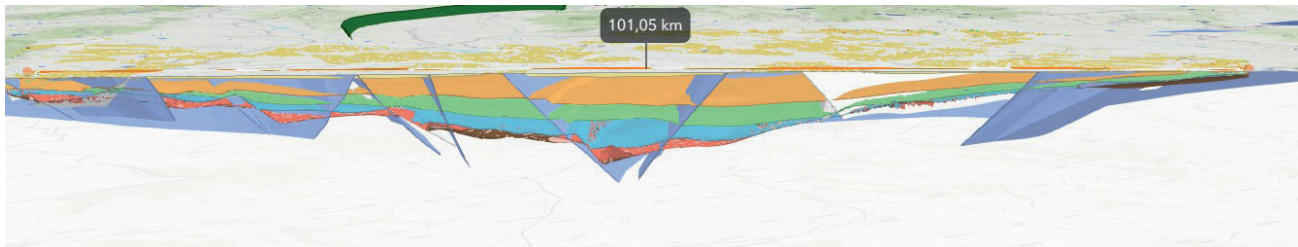
Preto boli vytvorené rutiny na tvorbu vhodných „shp“ formátov na polygónové triangulácie s jedným *multipatch* polygónom. Pri takto koncipovaných údajoch sú vyvinuté optimalizačné techniky používané pri renderovaní komplikovaných scén (využívaných napr. aj v 3D hrách), čo bola aj naša požiadavka. Navyše, pri diskretných vlastnostiach objektov (máme na mysli nespojitý atribút, teda vrstva je napr. žula v celom svojom objeme definovanom svojím nadložím a podložím, nie je v jej strede viac žula ako na jej okraji) a konečnom množstve modelovaných súvrství a bežne zložitej geologickej stavbe bolo možné

podstatne (rádovo) znížiť počet polygónov pomocou techniky *run-length encoding* (Zlocha et al., 2020).

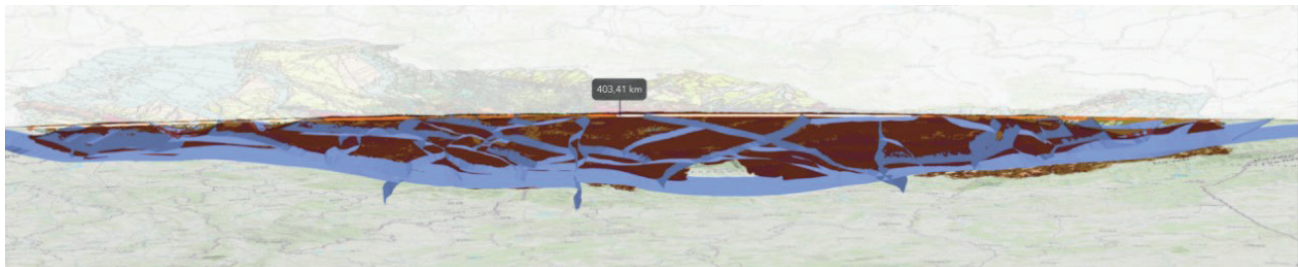
Ďalšie rutiny, ktoré boli pripravené na vyčistenie údajov, boli 3D topologického charakteru. Je to napr. vzájomné priestorové orezanie 2 vrstiev v závislosti od ich geologického postavenia (jedna vrstva je v podloží druhej, teda nemôže nadobúdať priestorovú pozíciu nad prvou vrstvou, podobne je to naopak), resp. distribúcia modelovanej polohy mimo oblasti danej priestorovým polyédrom alebo obmedzujúcou plochou, ktorou môže byť napr. zlom definovaný v priestore a pod. (Zlocha et al., 2020).

Zavedením nových rutín na spracovanie formátu ASCII z programu Petrel sa zmenil postup vytvárania údajov. Už nie je potrebné generovať TIN, ale je priamo vytvorený „shp“ súbor s *multipatch* polygónom, z ktorého sa generuje webová služba Scene. Výsledok 3D geologického modelu Slovenska je na obr. 75.

Na zobrazovanie 3D modelu areálu ŠGÚDŠ boli vytvorené dve služby. Jedna zobrazuje model vytvorený v Drone2map, typ služby je webová služba Scene a typ vrstvy



Obr. 74. 3D geologický model Podunajskej nížiny; sú zobrazené aj tektonické zlomy, veľkosť modelu 102 x 54 km



Obr. 75. 3D geologický model Slovenskej republiky v mierke 1 : 500 000



Obr. 76. Vizualizácia 3D modelu vytvoreného v Drone2map pomocou SceneViewer ArcGIS Portal

Integrated Mesh (tab. 12). Druhá webová služba je pre model vytvorený v DroneDeploy, typ služby je webová služba Scene a typ vrstvy Polygons (tab. 12). Keď sa model nachádza v programe ArcGIS Pro, model zdieľa (Share as) webová služba. Vizualizácia 3D modelu pomocou portálu Scene viewer ArcGIS v prípade modelu vytvoreného pomocou Drone2Map je na obr. 76 a pomocou DroneDeploy je na obr. 77. Na obr. 78 je zobrazenie detailov 3D modelu na vzorkách nerastných surovín v prípade modelov vytvorených prostredníctvom Drone2map a DroneDeploy. Na obr. 79 je zobrazenie chýb modelu v IP.

Mercator. Potom nasledoval návrh webových služieb na zabezpečenie optimalizácie rýchlosti zobrazenia údajov. Na lesnom celku (LC) Vígl'áš sa algoritmom reFLEX zistilo 968 217 jednotlivých stromov (Cibula a Sačkov, 2020). Na optimalizáciu zobrazenia sa vykonali 3 druhy testov rýchlosti v mierke 1 : 20 000. Údaje sa museli v IP stiahnuť a zobraziť:

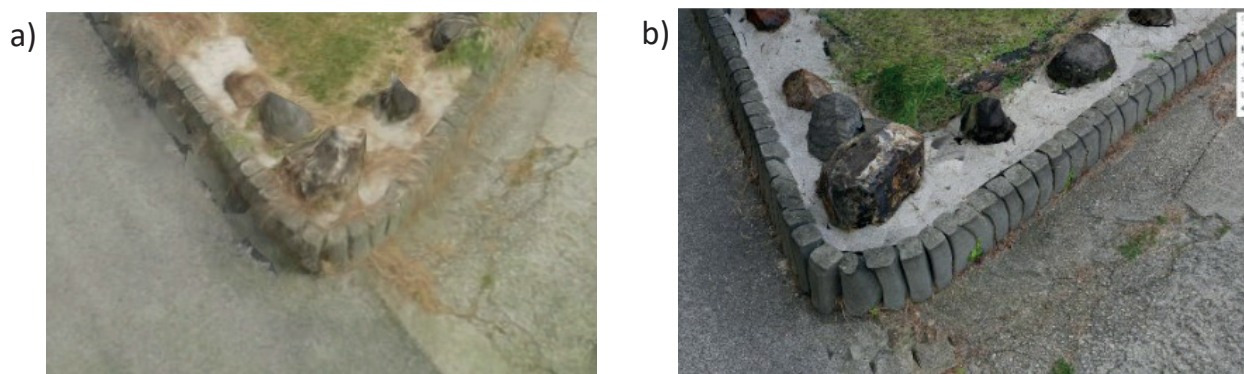
1. 2D zobrazenie bez podpory WebGL (2D – WebGL),
2. 2D zobrazenie s podporou WebGL (2D + WebGL),
3. 3D zobrazenie s WebGL (3D + WebGL).

#### 4.1.5.2. Vytvorenie webových služieb pri spracúvaní lesníckych údajov

Prípravou na vytvorenie webových služieb bola v programe ArcMap vykonaná transformácia súradnicového systému z JTSK do WGS 84 Web



**Obr. 77.** Vizualizácia 3D modelu vytvoreného v DroneDeploy pomocou Scene Viewer ArcGIS Portal



**Obr. 78.** Vizualizácia detailu 3D modelu pomocou Scene Viewer ArcGIS Portal: a) Drone2map, b) DroneDeploy



**Obr. 79.** Zobrazenie chýb 3D modelu pomocou Scene Viewer ArcGIS Portal

**Tab. 13.** Rýchlosť načítania 968 217 stromov pri rôznych spôsoboch načítania

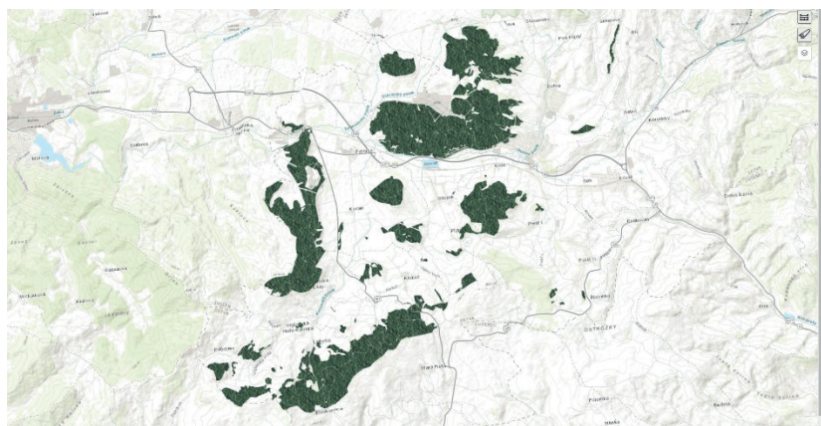
Typ zobrazenia	Čas nahrávania [ms]	Počet požiadaviek na server	Veľkosť prenesených údajov [MB]	Veľkosť spotrebovanej pamäti [MB]	Celkový čas [s]
2D – WebGL	65 321	20	236	236	47,58
2D + WebGL	529	472	279	281	47,50
3D + WebGL	993	239	5	12,1	5,34

\*Údaje zo servera boli stiahnuté, ale IP ich zobraziť nevie, keď sa zväčši mierka, údaje sa zobrazia.

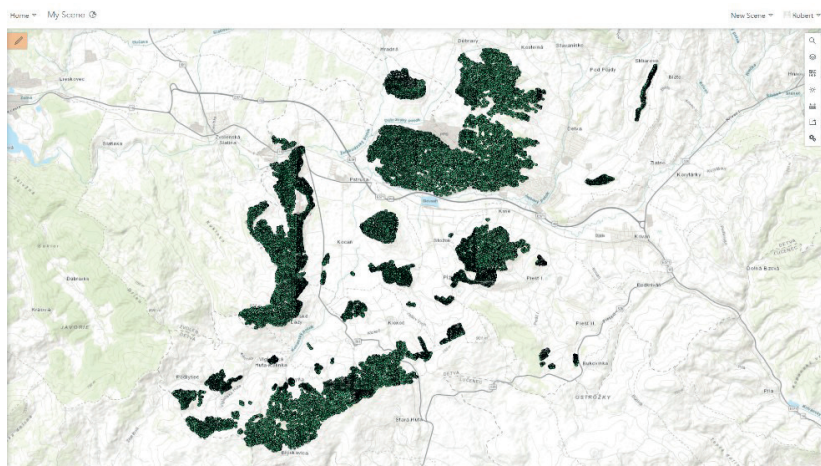
Na zobrazenie informácií z LC Vígľaš boli vytvorené webové služby zobrazené v tab. 14.

**Tab. 14.** Typ vytvorených webových služieb na zobrazenie údajov z LC Vígľaš

<b>Elevation</b>	územie bolo zamerané ALS, preto bol vytvorený aj model terénu
<b>Image</b>	na zobrazenie do mierky 1 : 20 000 je zobrazená táto služba (vytvára zdieľanie, že sa zobrazujú jednotlivé stromy) (obr. 80)
<b>Scene</b>	na zobrazenie od mierky 1 : 20 000, zobrazovanie jednotlivých stromov, typ vrstvy Point (tab. 12, obr. 81)
<b>Feature</b>	na zobrazenie od mierky 1 : 3 000, vizualizácia jednotlivého stromu (obr. 82)

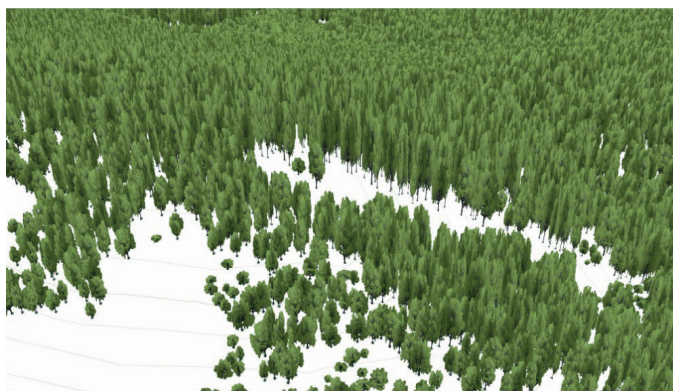


**Obr. 80.** Zobrazenie stromov na lesnom celku Vígľaš pomocou webovej služby Image



**Obr. 81.** Zobrazenie stromov na lesnom celku Vígľaš pomocou webovej služby Scene

**Obr. 82.** Zobrazenie stromov na lesnom celku Vígľaš pomocou webovej služby Feature





#### 4.1.7. Návrh a vývoj klientskej časti interoperabilného informačného systému na 2D a 3D vizualizáciu

Návrh aplikácie čerpal zo skúseností pri návrhu informačných systémov, pričom niektoré riešenia boli ocenené na Slovensku aj v zahraničí<sup>5</sup>. Návrh klientskej časti (FE – Frontend) je súčasťou celkovej architektúry návrhu systému. FE využíva služby serverovej časti. Zoznam aplikácií serverovej časti (Backend):

- Databázový server PostgreSQL s nadstavbou PostGIS,
- ArcGIS 10.7.1 Data Store,
- ArcGIS Enterprise 10.7.1 (ArcGIS for Portal ArcGIS for Server),
- ArcGIS WebAdaptor 10.7.1,
- NginX,
- PHP (CGI) – vývoj REST služieb.

Návrh FE spočíval v SPA (*Single Page Application*), založenej na aplikácii riadenej udalosťami (*Event Driven Application*) s dizajnovým vzorom OBSERVER (obr. 87) využívajúcim webové služby.

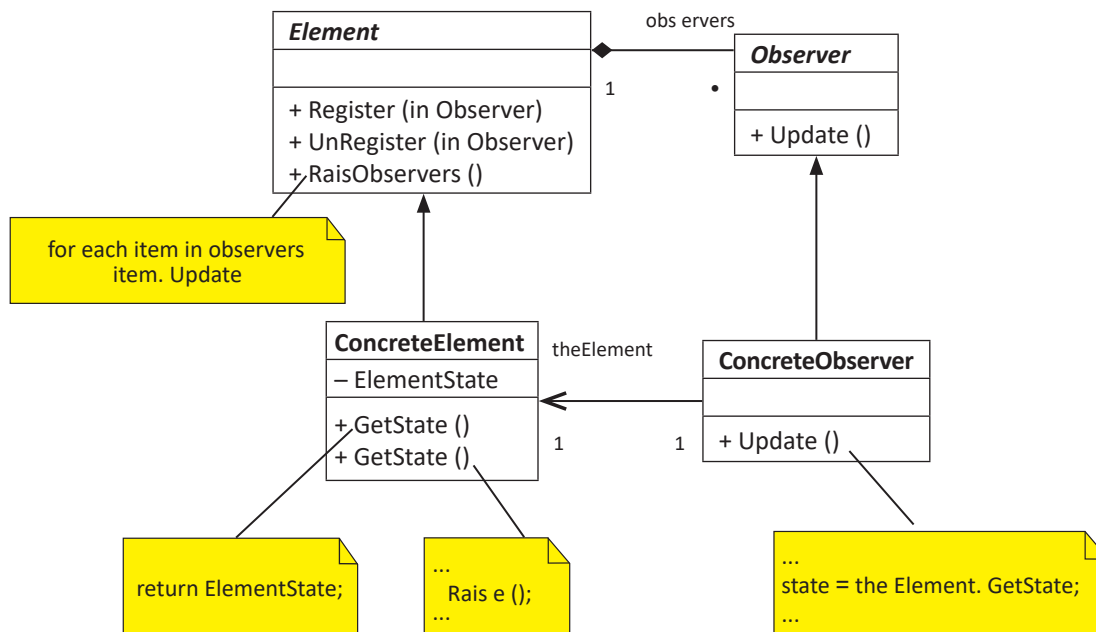
SPA zobrazuje informácie dynamicky, prepísaním aktuálnej stránky, bez nahrávania nových stránok zo servera. Nahrávané sú iba nové informácie a obsah, ktorý používateľ



Obr. 86. Virtuálny rez a vrt na Geologickom modeli Slovenskej republiky (Cibula a Mižák, 2020b)

vidí a je vytvorený aplikáciou u klienta. Riadená udalosťami znamená, že zmeny sa vykonávajú na základe udalostí (kliknutie myšou, nahranie údajov, zmena mierky a pod.). V prípade FE boli použité nasledujúce knižnice:

- ArcGIS API for Javascript,
- jQuery,
- UnderscoreJS,
- Backbone,
- Bootstrap,
- jsPanel.



Obr. 87. Štruktúra vzoru OBSERVER (Krahal, 2002)

<sup>5</sup>Pořovníky GIS (Geoaplikácia roka 2009, čestné miesto na ITAPA 2009 – *Information Technology in Public Administration*) <https://www.itapa.sk/cena-itapa-2009/>, Lesnícky GIS (víťaz kategórie nové služby na ITAPA 2010 <https://www.itapa.sk/vitazne-projekty-sutaze-cena-itapa-2010/> a SAG 2012 – *Special Achievement in GIS Award Esri San Diego*, Ca <https://events.esri.com/conference/sag-list/?fa=Detail&SID=1378>).

Na zobrazenie 3D modelov aplikácia využíva WebGL, *webworkery* a *webassembly*. WebGL už bol opísaný v tejto práci. *Webworker* (Sauble, 2015) je časť programu, ktorá je spustená v samostatnom vlákne (na pozadí) a neovplyvňuje interakciu používateľa s webovou stránkou. Výrazne urýchľuje prácu s aplikáciou. *WebAssembly* (Viafore, 2020);

Rourke, 2018) je otvorený štandard umožňujúci spúšťanie prenosného binárneho kódu v prehliadači.

Štruktúra aplikácie sa rieši pomocou komponentov, ktoré sa spájajú do balíčkov. Na obr. 88 je zobrazená štruktúra vytvoreného FE.

Pre FE je dôležité načítanie inicializačného súboru vo formáte JSON. Tento súbor nastaví úvodný *extend*, formát zobrazenia (2D/3D) pri spustení, zobrazenie niektorých komponentov a zoznam a usporiadanie datasetov v katalógu datasetov. Tento spôsob definovania využívaných webových služieb je prevzatý z OSS TerriaJS, len bol výrazne rozšírený. FE nemá v kóde nastavený žiadny dataset, všetky datasety sú načítané z inicializačného súboru. Na vloženie datasetu nie je potrebné prepisovať kód aplikácie, ale stačí pridať informácie do inicializačného súboru. Takýto spôsob vytvárania aplikácií WebGIS nie je veľmi rozšírený. Jeho hlavnou výhodou je odstránenie práce programátora pri rozširovaní datasetov, zmena URL adresy webovej služby a pod. Na obr. 89 je zobrazený katalóg datasetov, v ktorom sa nachádzajú:

- **datasety Štátneho geologického ústavu Dionýza Štúra:**

- **2D datasety** v počte 42 v 14 skupinách – sú to údaje z niektorých aplikácií WebGIS;
- **3D datasety** – 3x geologické modely, 2x areál ŠGÚDŠ a 1x 3D model stromov;

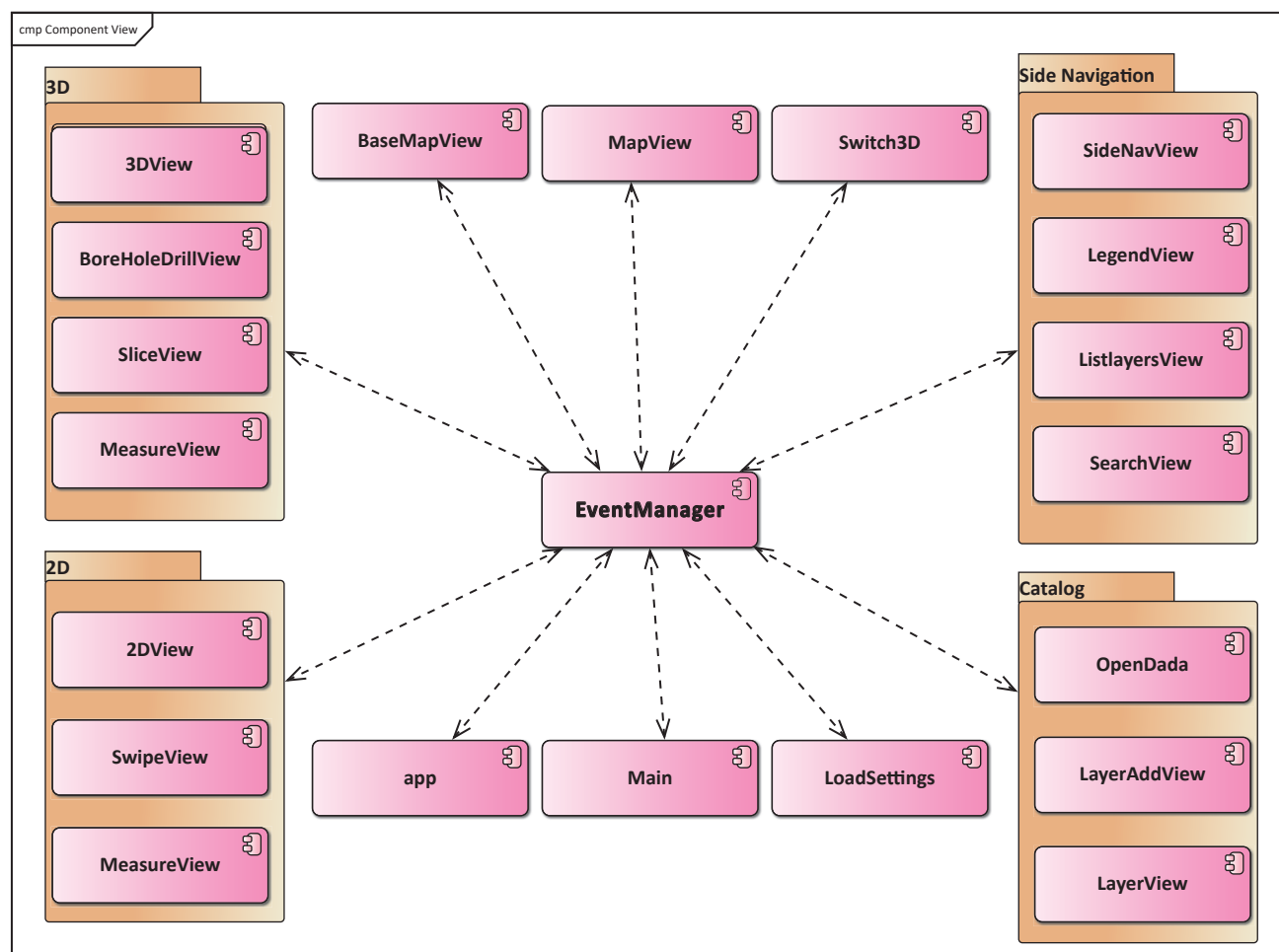
- **datasety Geografického a kartografického ústavu** (pripojené cez WMS):

- parcela registra „C“ – katastrálna mapa,
- parcela registra „E“ – mapa určeného operátu.

Zobrazený záznam na obr. 89 je v inicializačnom súbore JSON zobrazený takto:

```
{
  „name“: „Geologické mapy“,
  „type“: „group“,
  „preserveOrder“: true,
  „isOpen“: false,
  „description“: „Geologické mapy predstavujú jednu zo základných podkladových vrstiev, ktoré sa využívajú pri analýzach a aplikáciách v odvetviach životného prostredia. Geologická mapa predstavuje dvojrozmerný obraz geologickej stavby územia, ale skúsený geológ vie z nej vyčítať aj tretí – hĺbkový rozmer, ako aj detailne definovať štvrtý rozmer – teda časový vývoj geologickej stavby.“,
  „items“: [...]
}
```

Typ záznamu je skupina („type“: „group“), to znamená, že v poli „items“ sa nachádzajú ďalšie záznamy. Tieto záznamy môžu byť zase typ „group“ alebo je tam nastavený typ datasetu (Scene, WebMap, Image a pod.). „isOpen“



Obr. 88. Komponenty prezentačnej časti (FE)

znamená, či sa má pri otvorení „katalógu datasetov“ skupina otvorit' a zobrazit' vložené položky. „preserveOrder“ je príznak, či má byť zachovaná postupnosť, ako je definovaná v inicializačnom súbore. JS automaticky zoradzuje podľa abecedy položky poľa alebo objektu.

Na obr. 90 je ukážka výberu datasetu *Geologická mapa SR (1 : 50 000)*. Kvôli skráteniu zobrazenia je popis datasetu *Štruktúrna schéma SR (1 : 50 000)* vynechaný.

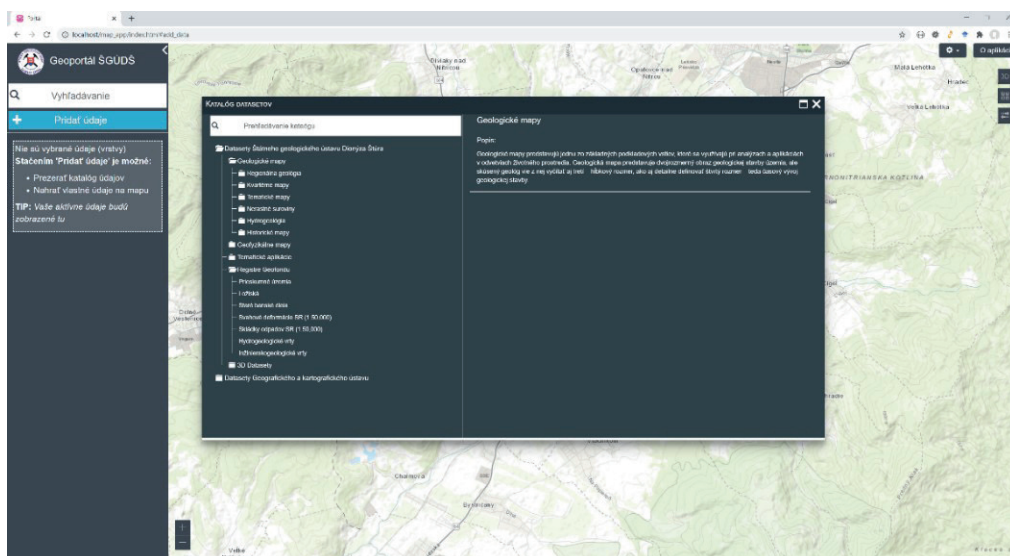
```
{
  „name“: „Geologická mapa SR (1 : 50,000)“,
  „type“: „group“,
  „preserveOrder“: true,
  „isOpen“: false,
  „description“: „Digitálna geologická mapa Slovenskej republiky M 1 : 50 000, Š. Káčer et al. Geologická mapa s jednotnou legendou otvoreného typu umožňujúcou budúce opravy a zohľadňujúca súčasný stav poznania a geologického mapovania územia Slovenskej republiky.“,
  „items“: [
    {
      Vynechaný popis pre Štruktúrnú schému SR (1 : 50 000)
    },
    {
      „url“: „https://gis.geology.sk/arcgis/rest/services/wgs_geologickeMapy/geologickaMapaSR_50_wgs/MapServer“,
      „metadataUrl“: „http://apl.geology.sk/geoportal/rest/metadata/item/8b4a04df8e8b417195a4e65b6e8fe20e/html“,
      „type“: „esri-mapServer“,
      „allowFeaturePicking“: true,
      „name“: „Geologická mapa SR (1:50,000)“,
      „detailedData“: 1,
      „module“: „gm50“,
      „description“: „Digitálna geologická mapa Slovenska M 1 : 50 000 vznikla spojením viacerých máp prevažne regionálnych geologických máp, ktoré ŠGÚDŠ vydáva od roku 1970. Ide o mapu s jednotnou legendou otvoreného typu, ktorá umožňuje budúce opravy a reprezentuje súčasný stav poznania a geologického mapovania územia SR. Webová aplikácia obsahuje okrem informácie jednotnej spoločnej legendy platnej pre celé územie SR aj pôvodnú legendu použitého podkladu. Geologická mapa obsahuje plošné, líniové a bodové informácie.“,
      „info“: [
        {
          „name“: „Citácia mapy“,
          „content“: „Geologická mapa Slovenska M 1 : 50 000 [online]. Bratislava: Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, 2013. Dostupné na internete: http://apl.geology.sk/gm50js.“
        }
      ]
    }
  ]
}
```

```
}
]
}
„url“: URL adresa webovej služby;
„metadataUrl“: URL adresa záznamu metakatalógu INSPIRE;
„type“: Podľa tejto položky sú použité triedy z API;
„module“: Niektoré datasety môžu potrebovať funkcionality, ktorá nie je štandardná pre iné datasety. Ak si používateľ vyberie tento dataset, do IP je automaticky nahraný tento modul a sú vykonané potrebné inicializačné kroky. Modul si môže nahráť ďalšie potrebné JS súbory alebo datasety;
„allowFeaturePicking“: Či sa má pri kliknutí na mapu dopytovať aj na položky z tejto triedy objektov. Ak si modul plne obsluhuje výber informácií na kliknuté miesto, je nastavená položka na false;
„info -> „name“: Pole info->položka name zobrazuje názov rozširujúcich položiek pre dataset;
„info -> „content“: Pole info->položka content zobrazuje obsah rozširujúcich položiek pre dataset;
„detailedData“: ID na načítavanie rozšírených informácií pre dataset z webových služieb (obr. 91). Tieto informácie sa načítavajú z REST služieb aplikácie Mapový portál na URL apl.geology.sk vytvorenej v roku 2016. Údaje sú publikované vo formáte JSON. Aj takýmto spôsobom je zabezpečená interoperabilita na úrovni webových služieb. Na obr. 92 je zobrazenie informácií v aplikácii Mapový portál.
```

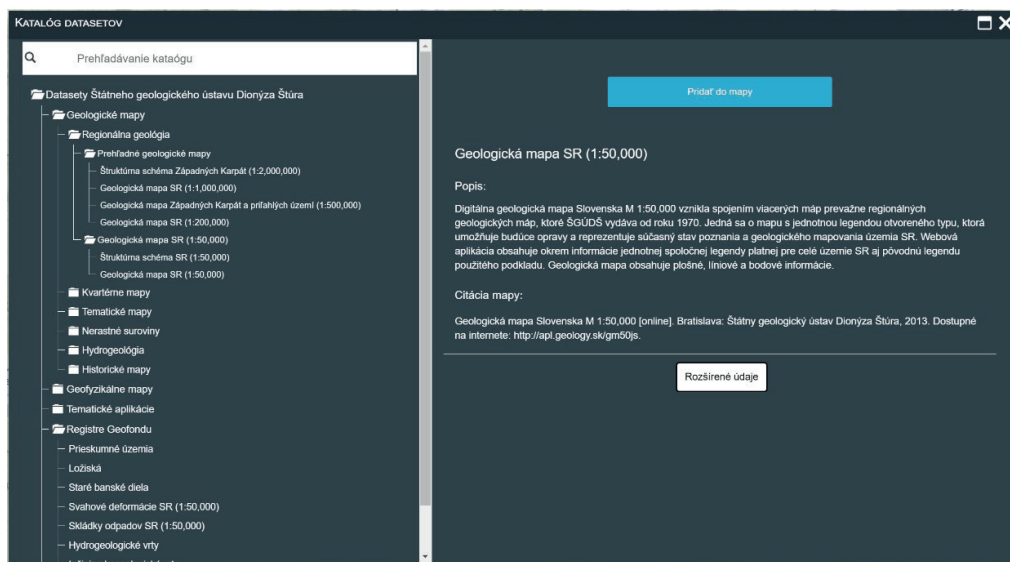
Po inicializácii zobrazenia FE umožní prepínanie zobrazenia 2D a 3D a zmenu podkladovej mapy. ArcGIS API for JavaScript neumožňuje priame prepínanie zobrazenia. Každé zobrazenie má definovanú vlastnú triedu s príslušným kontextom. Na 2D zobrazenie je to *MapView* a na 3D zobrazenie *SceneView*. Prepínanie zobrazenia znamená zrušenie jedného a zapnutie druhého. Preto sa všetky informácie o aktuálnom zobrazení stratia. Z hľadiska používateľa ide o zobrazené vrstvy, vybranú podkladovú mapu a aktuálnu veľkosť zobrazovaného územia. Preto je potrebné aj tieto informácie uložiť do premenných. Veľkou výhodou bol naprogramovaný *EventManager*, ktorý túto činnosť veľmi uľahčil.

Ako už bolo spomenuté, 3D geologické modely nie sú vo formáte *voxel*, ale ako vrstva. Na uľahčenie pridávania 3D geologických modelov ako celku, nie po jednotlivých súvrstviach, bola vytvorená skupina *SceneLayerGroup*, ktorá umožňuje načítanie všetkých vrstiev v skupine naraz.

FE umožňuje 2D a 3D KV podľa požiadaviek používateľa. Ak používateľ vyberie 3D dataset do 2D KV, vrstva je pridaná do zoznamu vrstiev (*layerList*), ale nie je zobrazená. Stačí prepnúť na 3D KV a údaje sa zobrazia.

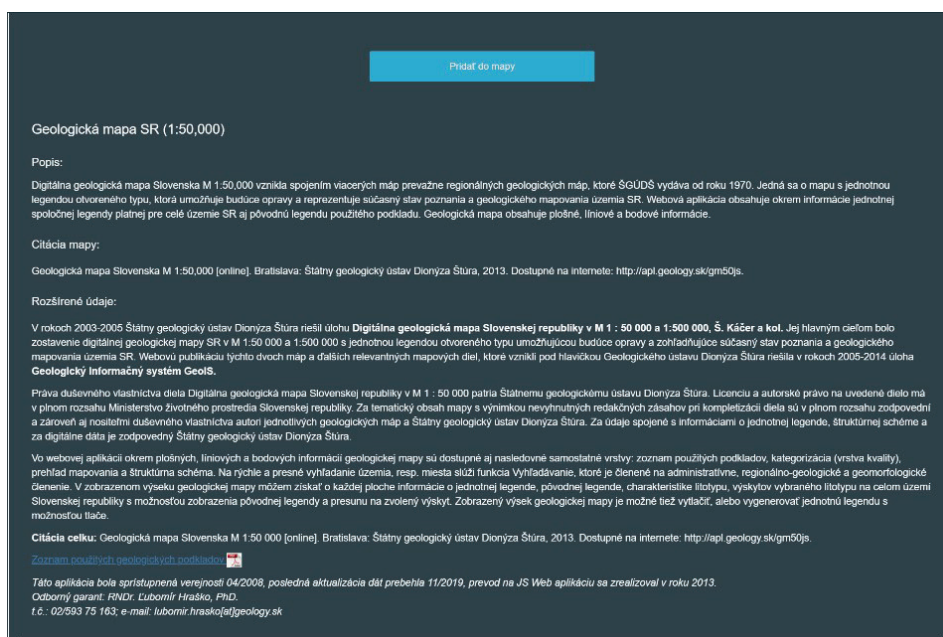


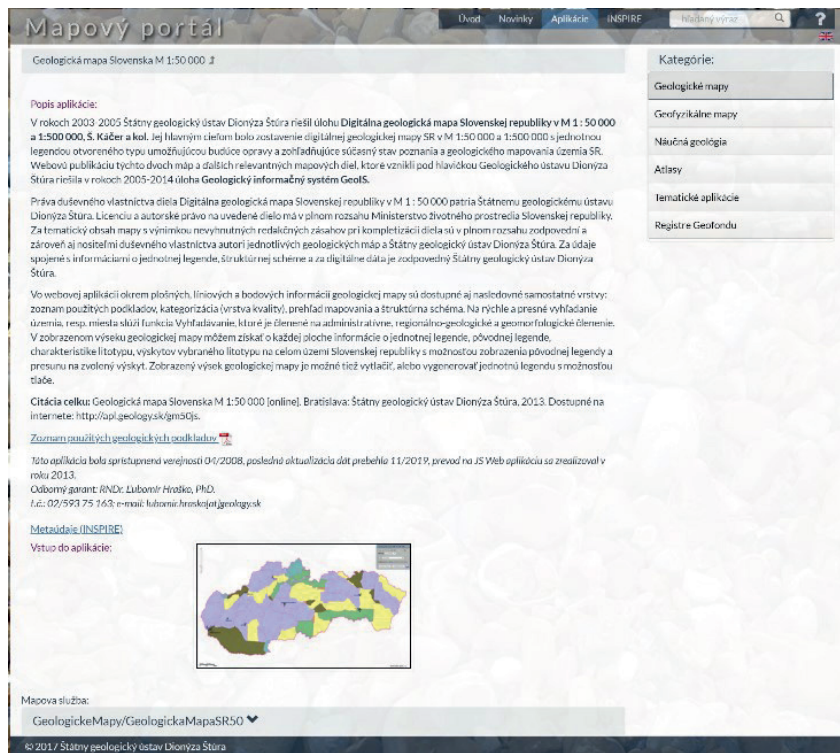
Obr. 89. Zobrazenie skupiny záznamov spolu s popisom v katalógu datasetov



Obr. 90. Výber datasetu Geologická mapa SR (1 : 50 000) z katalógu datasetov

Obr. 91. Zobrazené informácie po kliknutí na tlačidlo „Rozšírené údaje“





Obr. 92. Zobrazenie informácií v aplikácii z roku 2016

#### 4.2. Vývoj mobilného zariadenia na zber 3D bodových údajov

Na vývoj prototypu bola vykonaná analýza požiadaviek:

- nefunkcionálne požiadavky:
  - výber vhodných hardvérových komponentov,
  - analýza softvérovej časti pre mobilný telefón;
- funkcionálne požiadavky:
  - meranie zemepisných súradníc,
  - meranie horizontálnych a vertikálnych uhlov,
  - meranie vzdialenosti,
  - komunikácia s mobilným telefónom.

##### 4.2.1. Výber vhodných hardvérových komponentov

Pre vyhodnotené funkcionálne požiadavky je potrebné vyhľadať vhodné elektronické súčiastky alebo moduly. Každá elektronická súčiastka bude komunikovať s integrovaným mikropočítačom pomocou dostupného rozhrania (*interface*).

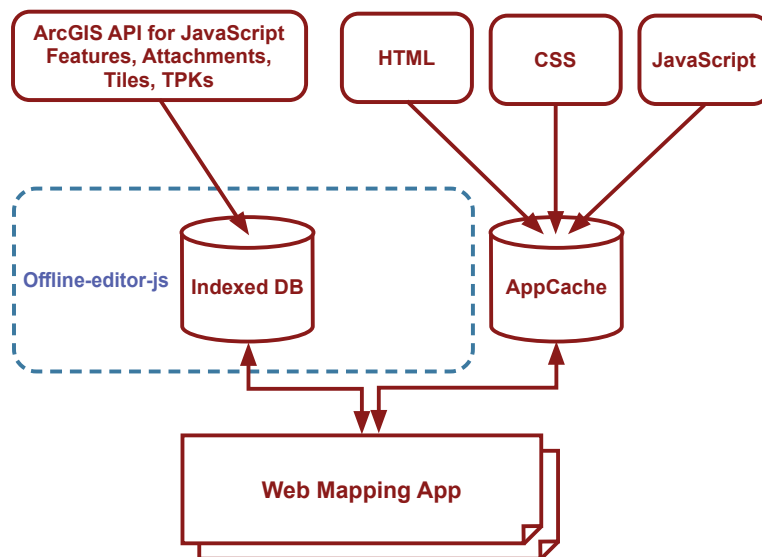
Pri hľadaní laserového senzora bol problém s vysokou obstarávacou cenou a pri dovoze je ešte problém s preclením „laserového zameriavača“. Prvé lacnejšie sa objavili na webe (LightWare, 2020). V roku 2014 boli najlacnejšie približne za 400 €. V aktuálnom období (rok 2020) je najlacnejší v cene 239 €. K tejto cene treba prirátat poštovné a clo. Po objavení návodu na využitie laserového diaľkomera (Fuller, 2013) bol diaľkomer objednaný. Pre elektronický kompas sa využil senzor MPU

9250. Ide o integrovaný akcelerometer, gyroskop a geomagnetický senzor. Na komunikáciu pomocou Bluetooth bol vybraný senzor HC-05. Na snímanie polohy bol použitý GNSS modul blox NEO 6M.

##### 4.2.2. Analýza softvérovej časti pre mobilný telefón

Pri overení konceptu návrhu prototypu sa počítala aj s vývojom mobilnej aplikácie pre mobilný telefón (MT) s operačným systémom Android. Preto na vývoj softvérovej časti sa v prvom kroku hľadali knižnice pre platformu Android, ktoré by pomohli uľahčiť vývoj mapovej aplikácie. Žiaľ, v období návrhu neboli pre platformu Android dostupné bezplatne. Jediné bezplatné boli pre programovací jazyk JS. Problémom s aplikáciou WebGIS je, že vždy musí byť dostupný webový server. Preto sa hľadal spôsob, ako vyriešiť, aby aplikácia WebGIS mohla byť spustená v móde offline. Riešenie sa našlo v „*application cache*“ (AC). Pre AC sa

vytvorí definičný súbor (*manifest file*), v ktorom sa prehliadaču oznámi, ktoré súbory má uložiť lokálne. Bola otestovaná aplikácia WebGIS s Leaflet, kde bolo možné stiahnuť dlaždice do lokálneho úložiska IP a ako vektorové údaje boli vo formáte GeoJSON. Dáta sa ukladali vo WebSQL Database. V podstate ide o databázu SQLite, s ktorou sa pracuje prostredníctvom príkazov SQL. Princíp spočíva v tom, že prvýkrát sa aplikácia pripojí na webový server a potom už môže byť spustená v móde offline (Sauble, 2015). V prípade zmeny na serveri sa iba zmení číslo verzie v definičnom súbore a IP si stiahne nové verzie definovaných súborov.



Obr. 93. Štruktúra aplikácie offline JS od ESRI (2016)

Aj firma ESRI riešila možnosť offline aplikácie Web-GIS pre JS. Tento projekt už opustila a navrhuje využiť natívne API pre systémy (ESRI, 2016) (obr. 93).

Po vyriešení problému s offline aplikáciou WebGIS bolo potrebné vyriešiť ešte BT komunikáciu so zariadením. Na zabezpečenie komunikácie cez BT bol využitý systém Apache Cordova AC (Apache Cordova, 2015). AC je kontajner, ktorý umožňuje spustenie kódu JS v prostredí Android ako natívnej aplikácie pomocou WebView.



**Obr. 94.** Testovanie výkonnosti WebView Apache Cordova (zdrojový kód je použitý z internetu)

Vznikla obava o výkonnosť využívaného WebView pri vykresľovaní 3D scény. Na overenie plynulosti bol použitý príklad s Three.JS, ktorý dostatočne vyťažil GPU mobilného telefónu Samsung 4. Na obr. 94 je testovacia aplikácia pre WebView. Kód tejto aplikácie bol stiahnutý z internetu a, žiaľ, už sa stratil zdroj. Overenie potvrdilo obavy a v niektorých prípadoch sa vykresľovanie 3D scény zasekávalo. Na fóre k AC sa našlo riešenie na odstránenie

problému využitím iného typu WebView, ktorý sa inštaloval spoločne s aplikáciou.

Po vyhľadani základných hardvérových a softvérových prvkov prototypu nasledoval vlastný vývoj. Ako už bolo spomenuté, kvôli čo najnižšej cene zariadenie nemalo obsahovať displej, ale informácie malo posielat' do MT. Preto vývoj spočíval v dvoch samostatných častiach, ktoré spolu komunikovali:

- vývoj hardvérovej časti,
- vývoj mobilnej aplikácie.

V priebehu vývoja vznikli dve verzie prototypu. V ďalšej časti nasleduje popis vývoja aj zdôvodnenie vývoja dvoch verzií.

### 4.2.3. Vývoj prvej verzie prototypu

#### 4.2.3.1. Vývoj hardvérovej časti

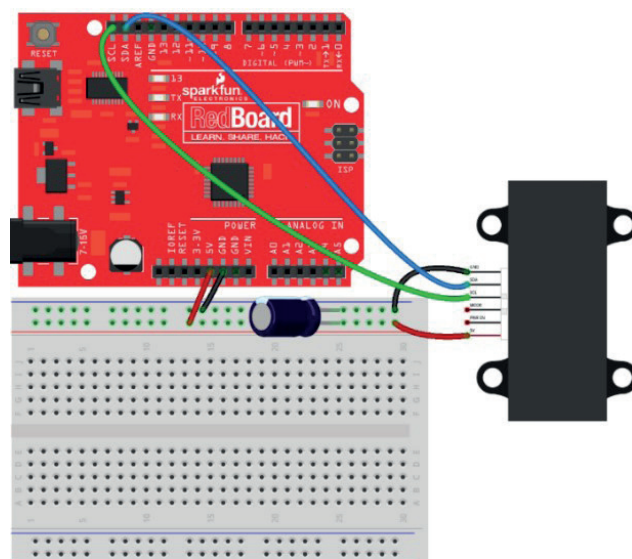
Ako platforma na vývoj zariadenia bolo v roku 2015 kvôli jeho veľkosti vybrané Arduino Pro Mini (APM). Ostatné komponenty boli vybrané na základe analýzy hardvérových komponentov.



**Obr. 95.** Laserový diaľkomer UT390B so zobrazením kontaktov na pripojenie sériovej komunikácie (GND-TX-RX) a pripojenie klávesnice zariadenia (ON-GND-OFF)

Na obr. 95 je zobrazený vybraný diaľkomer, z ktorého bol vybraný laserový senzor spolu s radiacou elektronikou. Na obrázku sa nachádza aj označenie vodičov, na ktoré bol pripojený APM.

Vývoj zariadenia prebiehal postupnými krokmi. Najprv sa testovalo pripojenie jednotlivých senzorov na zbernicu Arduina, hľadali sa potrebné softvérové knižnice. V testovacej fáze boli senzory pripojené pomocou *breadboardu* (obr. 96).



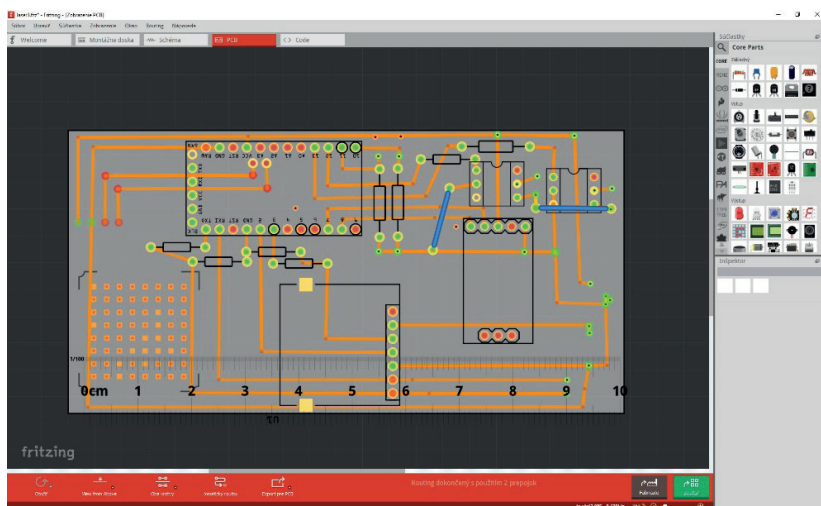
fritzing

**Obr. 96.** Ukážka zapojenia senzora LidarLITE pomocou *breadboardu* na Arduino v programe fritzing

Pri pripojení senzora na APM je možnosť využitia sériovej komunikácie (UART), SPI (*Serial Peripheral Interface*) a I2C (*Inter-Integrated Circuit*). Je potrebné dať

pozor na rovnakú úroveň napájania. Napríklad APM má 5 V a elektronika v diaľkomere 2,7 V. Pri priamom pripojení by sa poškodil diaľkomer. Rieši sa to buď odporovými deličmi, alebo modulmi na úpravu signálu.

Po otestovaní funkčnosti jednotlivých senzorov a otestovaní BT komunikácie sa na APM pripojili všetky senzory a modul BT komunikácie. Otestovalo sa meranie laserom aj údaje z gyroskopu, elektronického kompasu, akcelerometra a GNSS (GPS, Galileo) a vytvorila sa doska plošných spojov (PCB – *Printed Circuit Board*) pomocou programu fritzing (obr. 97) podľa nájdenej a zakúpenej krabičky z internetu.



Obr. 97. Návrh PCB pre zariadenie v fritzing

Vyrobila sa PCB, naletovali sa súčiastky, moduly a vodiče pre laser, tlačidlá a batériu. Na obr. 98 je zobrazené vyrobené zariadenie. Po vytvorení zariadenia nasledoval vývoj aplikácie pre MT.

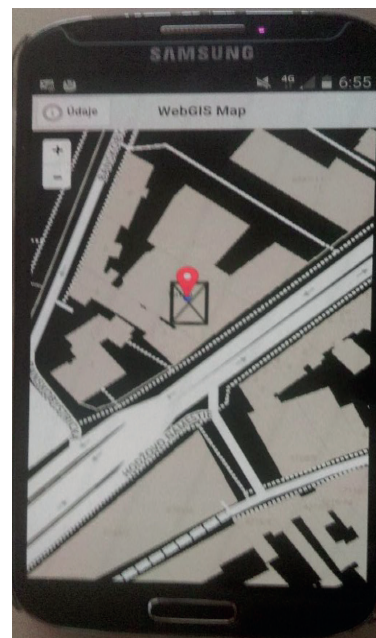


Obr. 98. Vytvorené zariadenie na meranie vzdialenosti, uhlov a GNSS

#### 4.2.3.2. Vývoj softvérovej časti

Po spomenutých testovaniach sa začal vývoj aplikácie s Leaflet. Využila sa *canvas layer*, na ktorú sa pripojil, a knižnica Three.JS, aby bolo možné renderovať výsledky zo zariadenia. Najprv sa začal testovať elektronický kompas. Na mobilnej aplikácii sa mal zobrazovať kváder podľa natočenia zariadenia. Na obr. 99 je zobrazená offline

aplikácia WebGIS využívajúca Leaflet, ThreeJS, BT modul pre AC a samotný kontajner AC. Po pripojení zariadenia sa kváder začal rôzne hýbať a ani v prípade, že zariadenie bolo položené na stole, pohyb neprestal. Ako sa následne zistilo, išlo o „šum“ senzorov, veľmi častý jav v elektro-technike. Na obr. 100 je zobrazenie šumu zariadenia pri senzore položenom na stole. Pri klepnutí na kláves (*print screen*) je možné vidieť zmenu signálov na obr. 101.

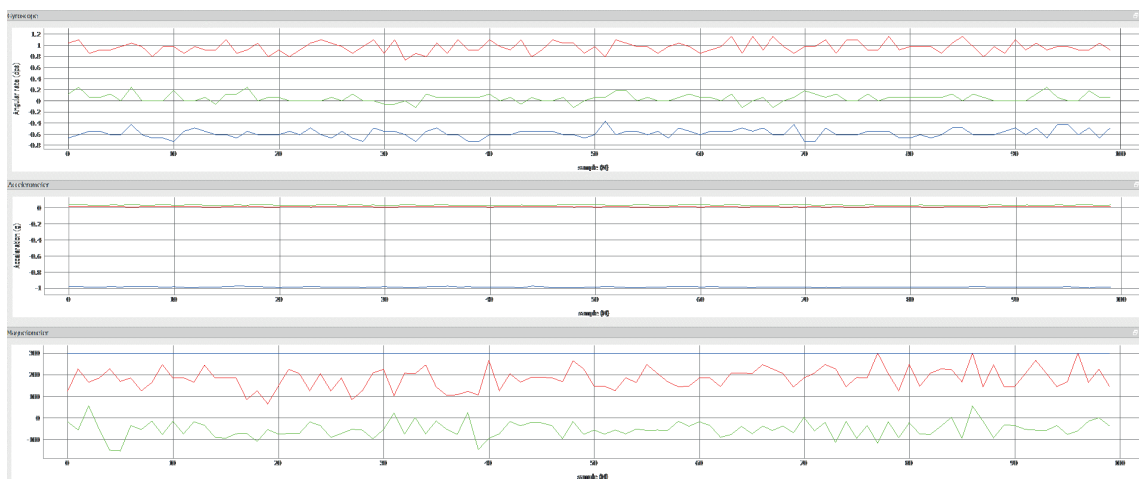


Obr. 99. Testovanie elektronického kompasu zariadenia

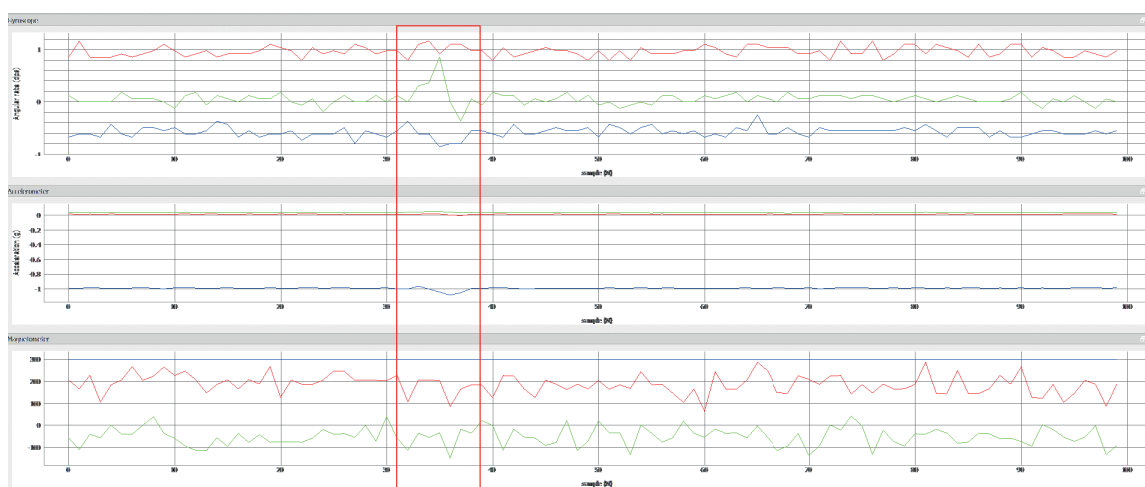
Bolo možné opísať problém, a preto už bolo možné nájsť ďalšie informácie. Riešením bolo prerobiť kód zariadenia a využiť Kalmanov filter (Shuli, 2003; Mao a Sheng, 2010; Welch a Bishop, 2006) a zjednotenie senzorov (*fusion sensors*) (Shuli, 2003; Fabio, 2010; Mao a Sheng, 2010; Zhang et al., 2010; Chan et al., 2011; Kim et al., 2013; Ivanov et al., 2014; Zhang et al., 2018; Dai et al., 2019). Po implementovaní techník spomenutých v citovaných prácach bol kód pre pamäť APM príliš veľký, preto sa použil algoritmus *Madgwick filter* (Madgwick, 2010) a *Mahony quaternions* (Mahony et al., 2005). Kváder v mobilnej aplikácii sa pri zariadení položenom na stole prestal hýbať. Implementáciou filtra do kódu zariadenia vznikol ďalší problém a v podstate napriek rôznym postupom optimalizácie<sup>6</sup> neriešiteľný. Kód v zariadení ide sériovým postupom a keď sa kód nachádzal pri filtrácii údajov, prestali reagovať tlačidlá zariadenia na spustenie lasera. V praxi sa to prejavovalo tak, že niekedy sa po stlačení nestalo nič.

V tomto okamihu padol plán na zameranie budovy zariadením a porovnanie údajov z TLS z FARO Focus3D, ktorým Technická univerzita vo Zvolene zamerala areál ŠGÚDŠ, a nemohla byť porovnaná cena/výkon na zameranie areálu (FARO Focus3D za 35 tis. € a zariadenie za

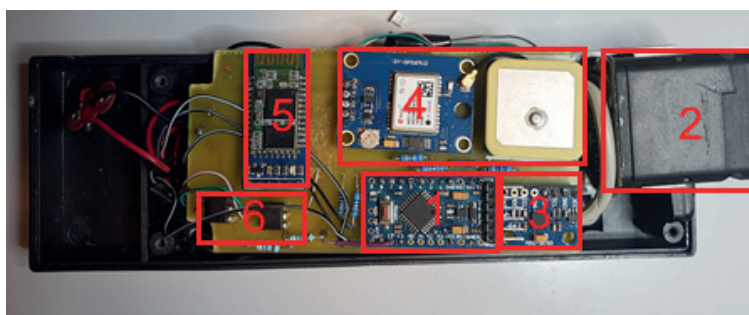
<sup>6</sup> Boli testované rôzne formy prerušenia neblokujúce funkcie (*non blocking function*).



Obr. 100. Zobrazenie šumu akcelerometra, kompasu a gyroskopu



Obr. 101. Zmena signálu po klepnutí na kláves (v červenom)



Obr. 102. Posledná fotografia vytvoreného zariadenia pred rozobraním: 1 – APM; 2 – elektronika z laserového diaľkometra; 3 – gyroskop, akcelerometer, kompas; 4 – GNSS s anténou; 5 – BT modul; 6 – optočleny na komunikáciu APM s diaľkometerom na galvanické oddelenie prepojenia

400 €). Samozrejme, neočakávalo sa, že to bude rovnako presné, ale že to bude „dostatočné“ na použitie.

#### 4.2.4. Vývoj druhej verzie prototypu

##### 4.2.4.1. Vývoj hardvérovej časti

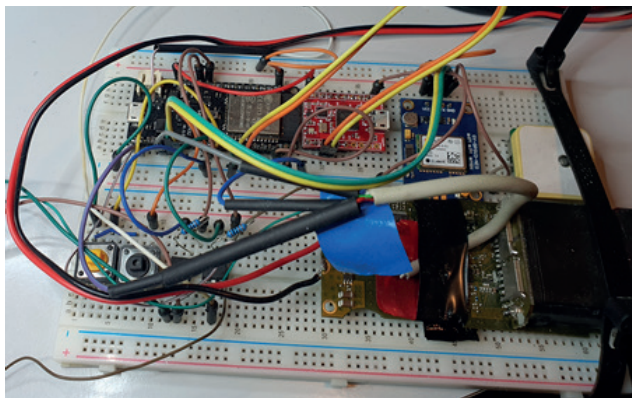
V roku 2018<sup>7</sup> bol k dispozícii ESP32, ktorý bol dvoj-jadrový, obsahoval BT aj WiFi. Vznikla možnosť navrhnuť

<sup>7</sup> ESP32 bol vyrobený ku koncu roku 2016, ale boli chybové, a tak prvé reálne použiteľné verzie sa na Ebay dali kúpiť k začiatku roku 2018 po vyčerpaní starých zásob. Ešte nejaký čas trval na implementovaní ESP32 do IDE Arduina.

druhú verziu prototypu. Prvotný nápad bol v jednom jadre riešiť filtráciu údajov a druhé jadro by riešilo ostatný kód. Vznikol pokus napísať si vlastný systém na prepínanie jadier (*Watchdog*), inak sa ESP32 resetuje. Pokus nebol veľmi úspešný. ESP32 sa náhodne resetovalo. Vyskúšal sa predtým vytvorený kód pre APM a po vymenení niektorých knižníc bol funkčný. Vďaka výrazne väčšej výkonnosti sa očakávalo, že systém bude funkčný.

Vznikol nový návrh, lebo rozhranie ESP32 je 3,3 V. K návrhu pribudol ešte jeden laserový snímač. Laserový diaľkometer má presnosť  $\pm 2$  mm, ale frekvenciu snímania 1 x za 2 s (0,5 Hz). V tomto prípade sa dajú zamerať body – napríklad vrcholec stromu, roh budovy, ale nedá sa

pohybom zariadenia nasnímať priemer stromu<sup>8</sup>. Preto bol zakúpený LidarLite v1 od Pulsed Light (teraz Garmin), ktorý má frekvenciu snímania až 100 Hz. Presnosť tohto zariadenia je +/- 2 cm. Poprepájali sa jednotlivé senzory s ESP32. Na obr. 103 je výsledné zapojenie na *breadboard*. Keď bolo zariadenie položené na stole, uhly sa nemenili. Bolo možné meranie laserom. Použil sa nový GNSS 72 kanálový snímač NEO-M8N/Q s možnosťou GPS, Galileo, GLONASS, BeiDou a korekciou SBAS EGNOS.



Obr. 103. Prepojenie senzorov pomocou *breadboardu*

- Po overení zapojenia *breadboardu* bola navrhnutá a vyrobená PCB. Priletovali sa súčiastky a moduly a overila sa funkčnosť. Keďže LidarLite je výrazne väčší, nezmestí sa do pôvodne zakúpenej škatuľky. Pre vyrobený prototyp sa zatiaľ neriešil dizajn výsledného hardvéru. Je plán vo Fusion360 navrhnuť a vytlačiť nový obal, ktorý by zahŕňal aj LidarLite.

#### 4.2.4.2. Vývoj softvérovej časti

Vývoj softvérovej časti bol od začiatku spojený s využitím skúseností z predchádzajúcej verzie. Namiesto knižnice ThreeJS bolo využité ArcGIS API for JavaScript s možnosťou 2D/3D prepínania a výberu podkladovej mapy. Bola upravená verzia aplikácie WebGIS použitá na riešenie prvého hlavného cieľa tejto práce. Údaje sú vizualizované do klientskej vrstvy *Feature* bez napojenia na server. Pôvodne sa testovala aj online webová služba ArcGIS Feature, no pri využití senzora LidarLite systém nestíhal zapisovať údaje. Preto je ako interná databáza použitá PouchDB (PouchDB, 2020). PouchDB je JS databáza, ktorá je automaticky synchronizovaná s NoSQL databázovým systémom CouchDB. V aplikácii je vyriešený systém synchronizácie v prípade módu online aj offline.

<sup>8</sup> Predtým sa na tento účel uvažovalo so zameraním stredu stromu. Tým by bola zameraná vzdialenosť a potom natočením zariadenia by boli uhly. Pomocou týchto údajov by sa zamerala hrúbka (DBH) stromu.

## 5. VÝSLEDKY PRÁCE

### 5.1. Výsledky vývoja interoperabilného informačného systému na interaktívnu 2D a 3D kartografickú vizualizáciu prírodných zdrojov v aplikačných sektoroch geológie a lesníctva

Výsledky vývoja systému sú v práci prezentované pomocou snímok obrazovky a pomocou testov rýchlosti vizualizácie. Systém umožňuje vizualizovať 2D a 3D údaje z rôznych zdrojov pomocou webových služieb. Na 2D vizualizáciu je dostupná funkcionality porovnávania dvoch máp (obr. 117), zobrazenia informácie z digitálneho archívu ŠGÚDŠ (obr. 118) a merania. Pri 3D vizualizácii je možné vykonávať 3D meranie. Príklad 3D merania vrcholov korún 3D modelov stromov je na obr. 114. Pri 3D modeloch umožňuje vykonávať virtuálne rezy (obr. 104) a pri 3D geologických modeloch aj vrty (obr. 104, 105, 107).

Testy rýchlosti vizualizácie jednotlivých 3D webových služieb sa robili na dvoch počítačoch (tab. 15), vždy dvakrát.

Tab. 15. Technické parametre testovacích počítačov

	PC1	PC2
Procesor	Intel i7 9700K 3,6 GHz	Intel i7 7700K 4,2 GHz
Pamäť	40 GB	32 GB
Grafická karta	NVIDIA GeForce RTX 2080 Ti	NVIDIA GeForce RTX 2060
Pripojenie do internetu	1 GB optika	LTE mobilné

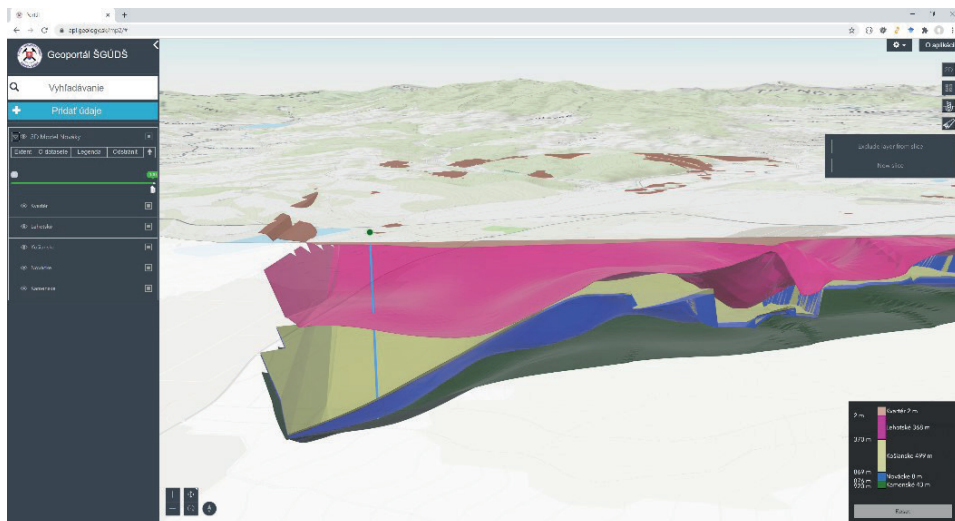
Prvý test (Zob. 1 – Zobrazenie) bol vykonaný po vymazaní histórie IP. Druhé testovanie (Zob. 2) bolo vykonané po zrušení a znovu načítaní webovej služby. V oboch prípadoch bola v IP vypnutá vyrovnávací pamäť (*Disable cache*). Zrýchlenie bolo zapríčinené internými procesmi ArcGIS API for JavaScript bez zásahu IP. Testovanie prebiehalo podľa záujmových území.

#### 5.1.1. Výsledky zobrazovania a testov 3D geologických modelov

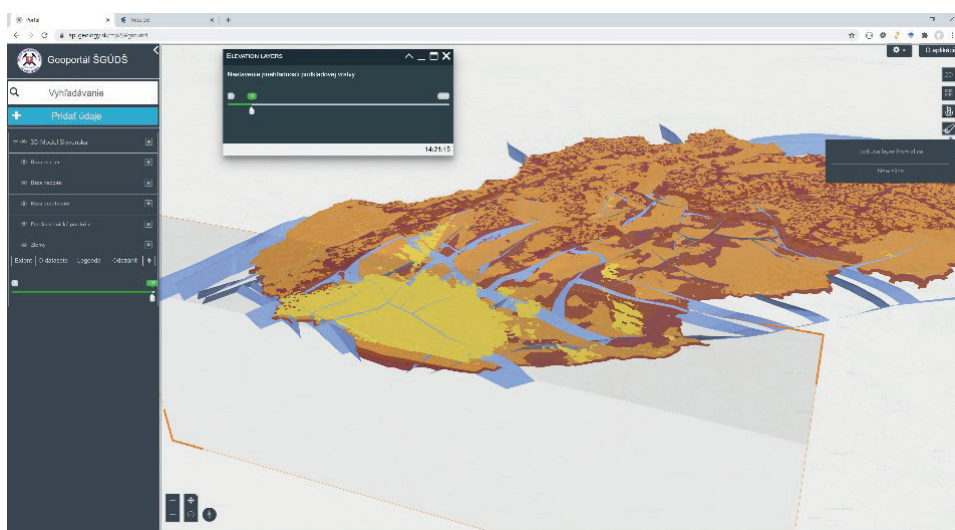
Na obr. 104 je vizualizácia pilotného územia Hornonitrianskej kotliny. Pre celý model alebo jednotlivé súvrstvia je k dispozícii nastavenie prehľadnosti. V prípade vypnutia súvrstvia virtuálne vrtanie sa vykoná bez tohto súvrstvia. Virtuálne rezy môžu byť vertikálne alebo horizontálne. Na obr. 105 je nastavená priehľadnosť na podkladovú vrstvu. Časť územia je šikmo rezaná a sú zobrazené aj hlavné zlomy Slovenskej republiky.

Tabuľka 16 zobrazuje rýchlosť vizualizácie geologických modelov. Na rýchlosti vidieť vplyv pomalej linky PC2. Napriek vypnutému kešu (*cache*) prehliadača je druhé zobrazenie vždy rýchlejšie. ArcGIS API for JavaScript využíva IndexedDB pre webové služby Scene na urýchlenie práce. Napriek času skoro 3 s pri načítaní 3D geologického modelu je práca s ním veľmi rýchla. Na obr. 106 je

Obr. 104. Virtuálny rez pi-  
lotným územím Nováckej  
kotliny a vrt



Obr. 105. Model Slovenska  
s rázom časti územia a nastave-  
nou priehľadnosťou pod-  
kladovej vrstvy a šikmým  
virtuálnym rezom



porovnanie rýchlosti načítania pri jednotlivých modeloch PC a zobrazenia.

Tab. 16. Rýchlosť zobrazenia 3D geologických modelov Hornonitrianskej kotliny a Slovenska

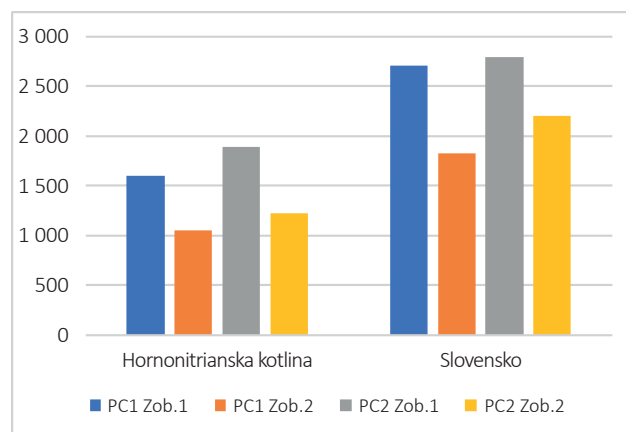
Zobrazenie 3D geologických modelov				
3D model	PC1 Zob. 1 [ms]	PC1 Zob. 2 [ms]	PC2 Zob. 1 [ms]	PC2 Zob. 2 [ms]
Hornonitrianska kotliná	1 599	1 051	1 894	1 218
Slovensko	2 704	1 821	2 793	2 207

Obr. 106. Porovnanie zobrazenia 3D geologických modelov Hornonitrianskej kotliny a Slovenska

Z areálu ŠGÚDŠ sú k dispozícii dva typy vrstiev (tab. 12) vo webovej službe Scene. Je to zapríčinené využitím rôznych postupov a softvérov. Model vytvorený v Drone-2Map je omnoho ľahšie použiteľný, aj výkonnosť je vyššia. Problémom je, že vytvorenie modelu sa mohlo realizovať iba cez víkend, lebo výpočet výrazne zaťažoval pracovnú

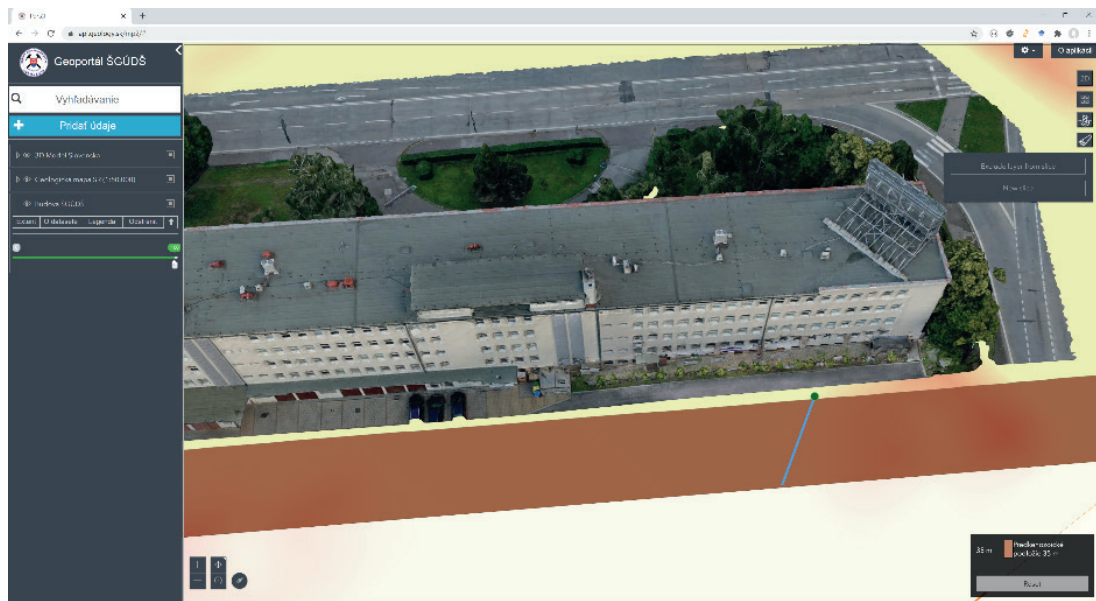
stanicu. DroneDeploy ponúka na vytvorenie modelu aj veľmi dobrý riadiaci softvér pre UAV a po nalietaní sa údaje odošlú na DreoneDeploy Cloud, ktorý model vytvorí. Umiestniť model do súradnicového systému sa však nepodarilo automatizovane, preto sú tam polohové chyby.

Na obr. 107 je ukážka virtuálneho rezu geologickej mapy 1 : 50 000, areálu ŠGÚDŠ a 3D geologického

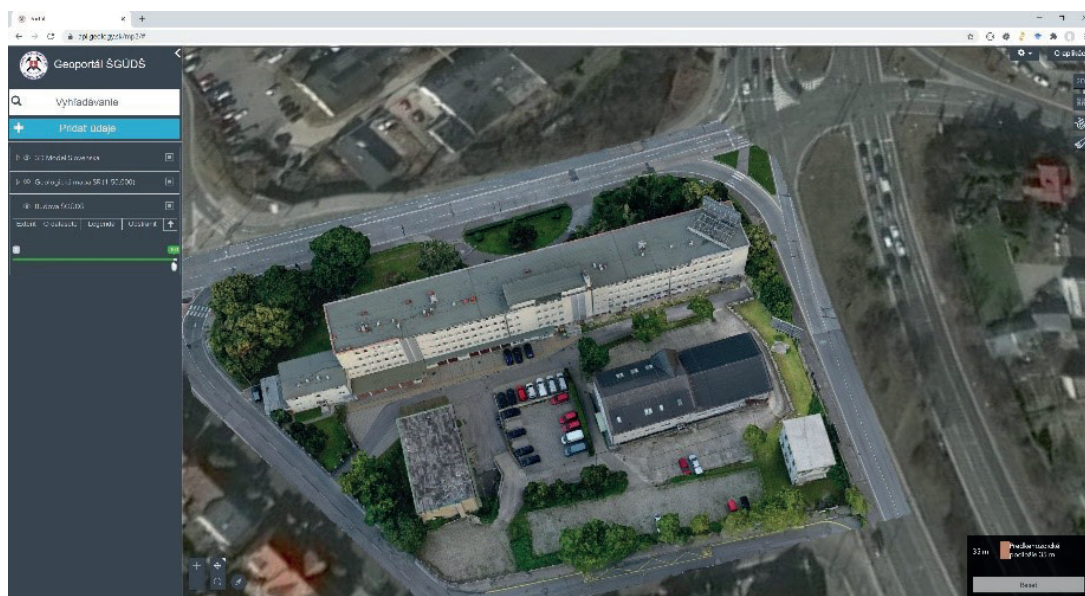
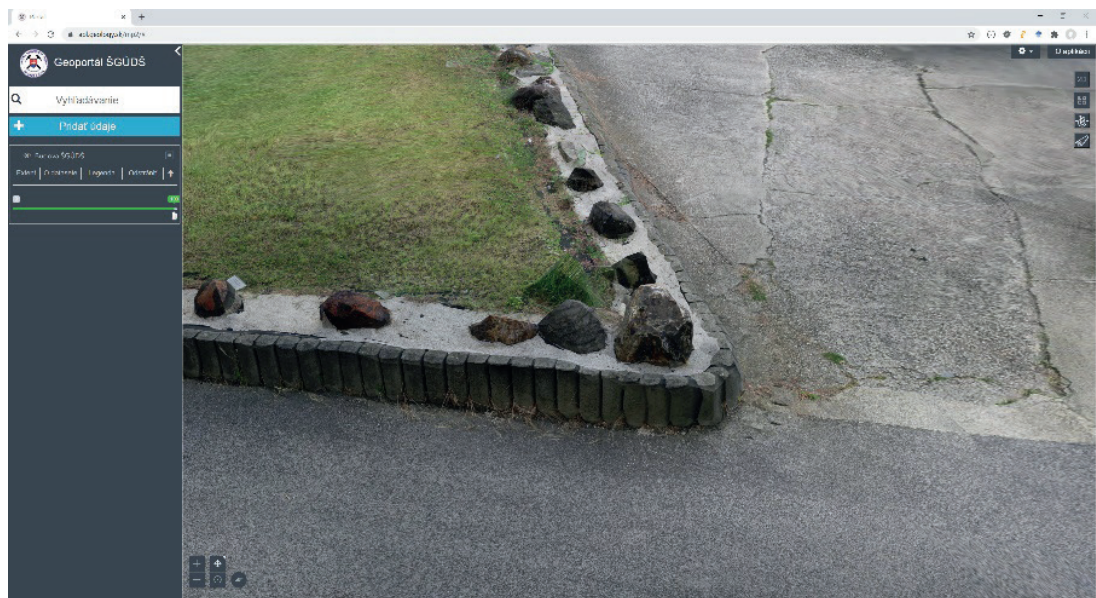


Obr. 106. Porovnanie zobrazenia 3D geologických modelov Hornonitrianskej kotliny a Slovenska

Obr. 107. Rez modelom areálu ŠGÚDŠ a geologickým modelom Slovenskej republiky



Obr. 108. Detail vzoriek nerastných surovín v areáli ŠGÚDŠ



Obr. 109. Model areálu ŠGÚDŠ na ortofotomape

modelu Slovenska, ktorý nemôže byť na obrázku vizualizovaný celý, lebo areál by nebolo ani vidieť. Na obr. 108 sú zobrazené vzorky nerastných surovín, kde v budúcnosti pribudnú podrobné informácie o danej vzorke v prípade, ak na ňu používateľ systému klikne. Na obr. 109 je ako podklad použitá ortofotomapa.

Dve vytvorené služby areálu ŠGÚDŠ boli aj testované v rôznych mierkach na otestovanie LOD a podľa typu vrstvy vo webovej službe Scene:

**Integrated Mesh Layer (IML):**

Údaje sú vytvorené v Drone2map, webová služba využíva LOD. Veľkosť modelu je 731 MB.

**Multipatch Polygon (MP):**

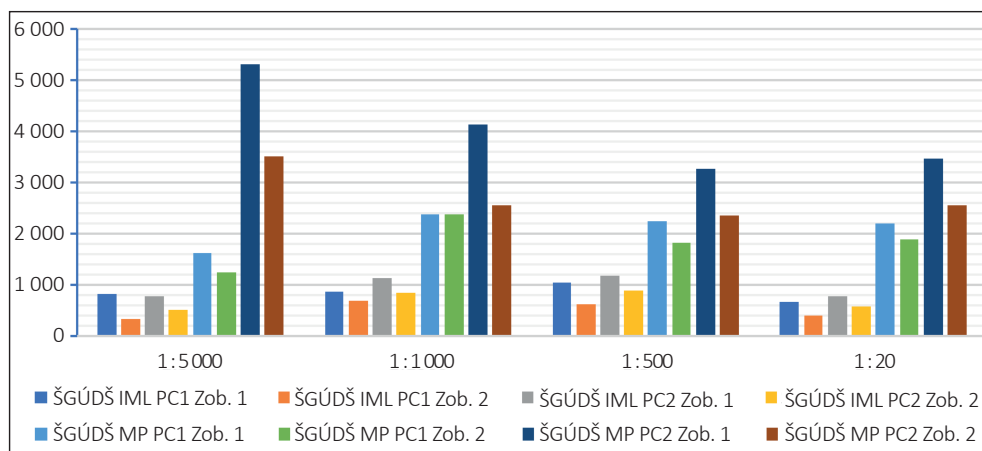
Údaje sú vytvorené v DroneDeploy. Služba nevyužíva LOD a textúry sú vždy sťahované. Veľkosť modelu je 63 MB.

Výsledky času vizualizácie podľa mierky, typu vrstiev, PC a zobrazenia sú v tab. 17.

Grafické porovnanie je na obr. 110. Najhoršie časy sú pri využití mobilného pripojenia s prvým zobrazením areálu s *multipatch* polygónom. IP neukladal obrázky textúry do vyrovnávacej pamäte. Tie museli byť vždy načítané, čo predlžovalo vizualizáciu. Porovnanie prvých vizualizácií po zmazení histórie IP je na obr. 111. Pri mierke 1 : 5 000 je pri mobilnom pripojení viac ako 5x dlhšie načítanie modelu z MP oproti IML.

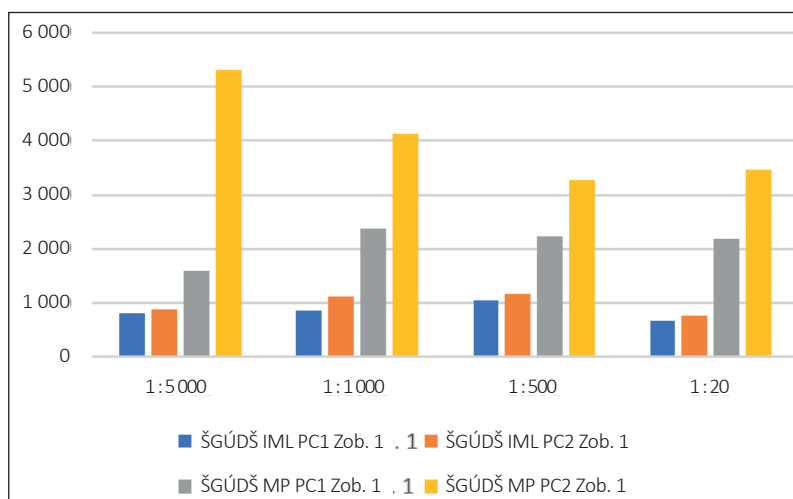
**Tab. 17.** Rýchlosť zobrazenia modelov areálu ŠGÚDŠ

	Zobrazenie areálu ŠGÚDŠ							
	Integrated Mesh Layer (IML) (Drone2map)				Multipatch Polygon (MP) (DroneDeploy)			
Mierka	PC1 Zob. 1 [ms]	PC1 Zob. 2 [ms]	PC2 Zob. 1 [ms]	PC2 Zob. 2 [ms]	PC1 Zob. 1 [ms]	PC1 Zob. 2 [ms]	PC2 Zob. 1 [ms]	PC2 Zob. 2 [ms]
1 : 5 000	811	328	777	493	1 606	1 243	5 303	3 509
1 : 1 000	864	678	1 131	825	2 370	2 363	4 137	2 541
1 : 500	1 046	617	1 175	887	2 238	1 820	3 271	2 349
1 : 20	668	399	765	567	2 192	1 875	3 471	2 544



**Obr. 110.** Porovnanie rýchlosti vizualizácie 3D modelu areálu ŠGÚDŠ (popis skratiek je v tab. 15 a 17)

**Obr. 111.** Porovnanie rýchlosti vizualizácie medzi IML a MP 3D areálu ŠGÚDŠ v jednotlivých mierkach

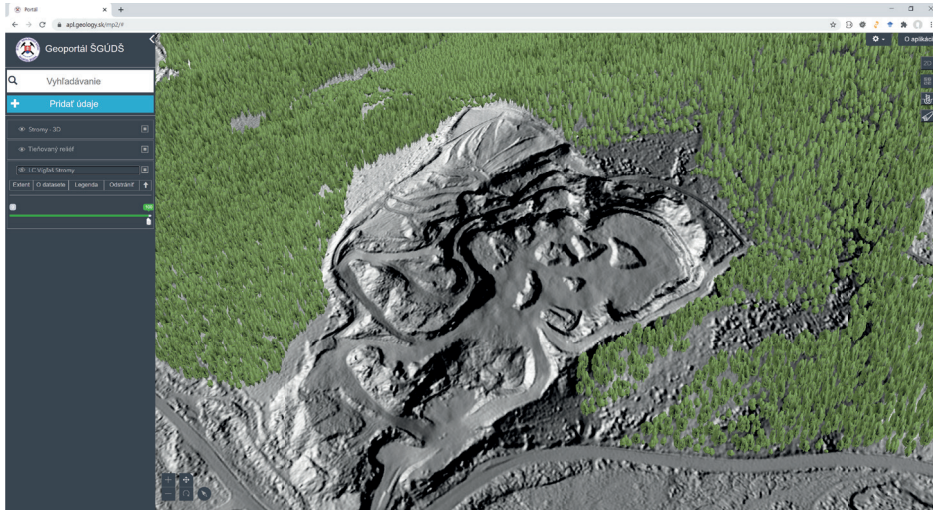


### 5.1.2. Výsledky zobrazovania a testov lesníckych údajov

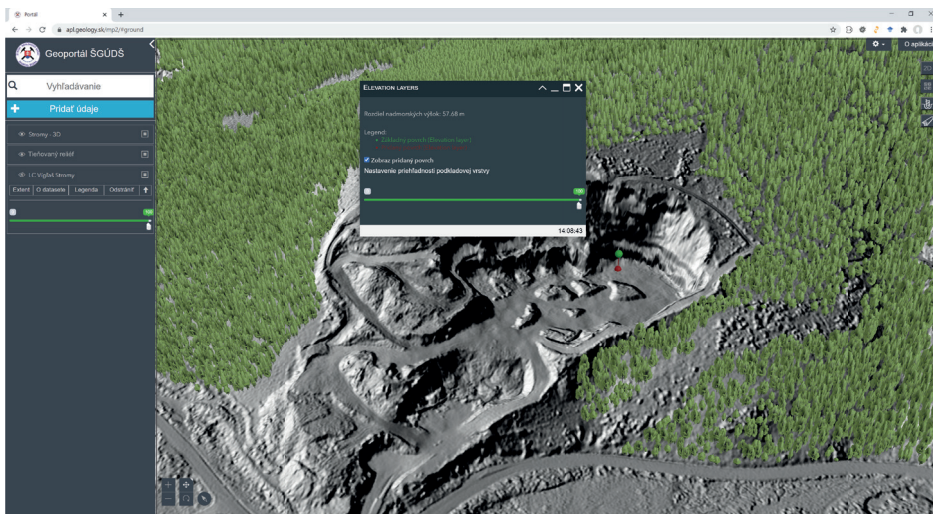
V sektore lesníctva boli zobrazené 3D modely stromov. Pri spracovaní údajov bol k dispozícii digitálny model terénu (DTM), z ktorého bola vyrobená EL. Tá bola použitá na vytvorenie funkcionality využiteľnej pri zosuvoch. Systém umožní doplniť z určitého územia EL. Tá prepíše v tejto

oblasti existujúcu EL. Systém ich potom v tejto oblasti dokáže porovnať a vypočítať vzájomnú vzdialenosť (obr. 113) jednotlivých EL.

Na obr. 112 je zobrazená vizualizácia 3D v okolí kameňolomu, kvôli väčšej prehľadnosti položená na tieňovanom reliéfe. Tu je využitý DTM Slovenskej republiky, ktorý slúžil na vytvorenie vlastnej EL. Po vložení EL zo záujmového územia LC Vigľaš je tvar terénu výrazne zmenený.



**Obr. 112.** LC Vigľaš s vizualizáciou 3D stromov pri kameňolome na tieňovanom reliéfe na EL vyrobenej z DTM Slovenskej republiky



**Obr. 113.** LC Vigľaš s vizualizáciou 3D stromov pri kameňolome na tieňovanom reliéfe, kde EL je vyrobená z ALS. Meranie rozdielu medzi DTM Slovenskej republiky a DTM získaných z ALS. Stav je po ťažbe kameňa pod rýchlostnú cestu R2.

**Obr. 114.** 3D meranie vzdialenosti vrcholov korún stromov



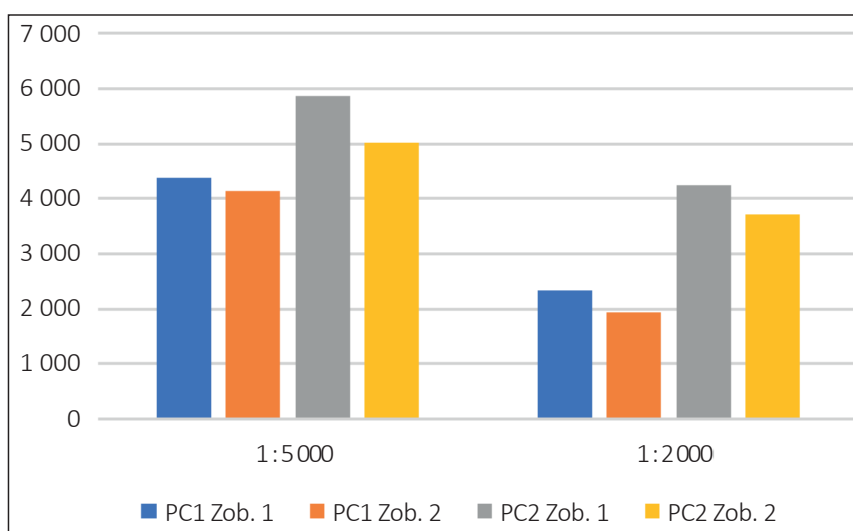
Na obr. 113 je ukážka merania rozdielu výšok. DTM LC Vígľaš je vytvorený po ťažbe kameňa pod rýchlostnú cestu R2. Po zmeraní rozdiel je to 58,68 m. Takýmto spôsobom je možné merať rozdiely v akomkoľvek mieste. Na vrchole kameňolomu bol rozdiel 0,4 m. Boli overené rozdiely medzi EL a priemerný rozdiel medzi EL je 0,6 m (mimo kameňolomu). Na obr. 114 je 3D meranie 3D objektov. Pri meraní vrcholcov korún je vypočítaná priama, vodorovná a zvislá vzdialenosť.

Pri testovaní vizualizácie sa predpokladalo, že pri väčšom území bude načítané viac údajov, a preto vizualizácia bude pomalšia. Meranie rýchlosti sa realizovalo pri mierke 1 : 5 000 a 1 : 2 000. Predpoklad pomalšej vizualizácie väčšieho územia sa naplnil. Veľký vplyv na testovanie 3D vizualizácie stromov mala vypnutá vyrovnávací pamäť IP. Model stromu na vizualizáciu má 4,5 MB. Pri načítavaní na 1 Gb pripojení načítanie trvalo od 0,4 do 0,8 s. Pri mobilnom pripojení bol čas načítavania od 2,40 do 2,43 s. Pri vypnutej vyrovnávacej pamäti sa model načítaval pri každom spustení testu. V tabuľke 18 sú časy a na obr. 115 porovnanie vizualizácie 3D modelov stromov.

**Tab. 18.** Rýchlosť zobrazenia 3D modelov stromov v mierkach 1 : 5 000 a 1 : 3 000

Zobrazenie 3D modelov stromov				
Mierka	PC1 Zob. 1 [ms]	PC1 Zob. 2 [ms]	PC2 Zob. 1 [ms]	PC2 Zob. 2 [ms]
1 : 5 000	4 384	4 649	5 859	5 021
1 : 2 000	2 326	1 945	4 260	3 731

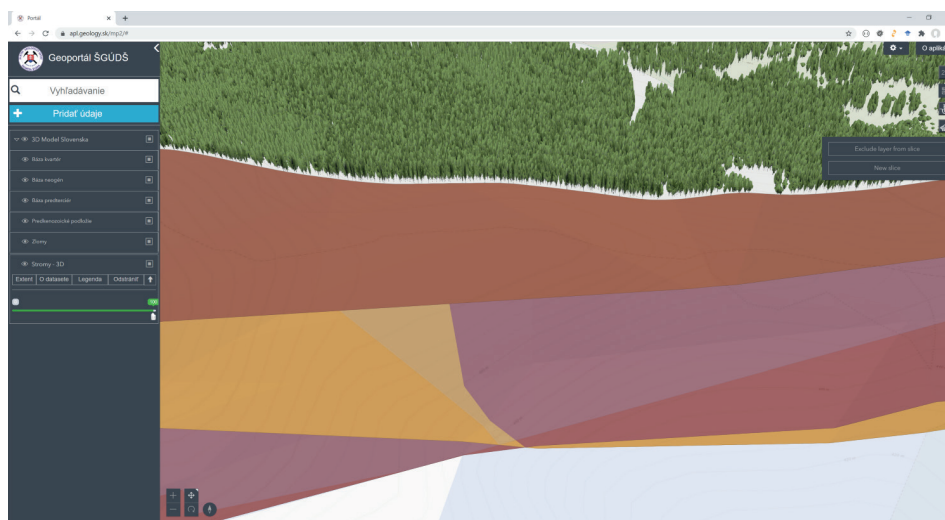
Zobrazenie virtuálneho rezu 3D geologickým modelom Slovenska spolu s 3D modelmi stromov je na obr. 116. Porovnanie historickej geologickej mapy a geologickej mapy 1 : 200 000 je na obr. 117. Interoperabilita vytvoreného systému je na obr. 118. Prepojenie systému s digitálnym archívom ŠGÚDŠ umožňuje používateľovi zobraziť správu o danom ložisku<sup>9</sup> prepojením do digitálneho archívu ŠGÚDŠ.

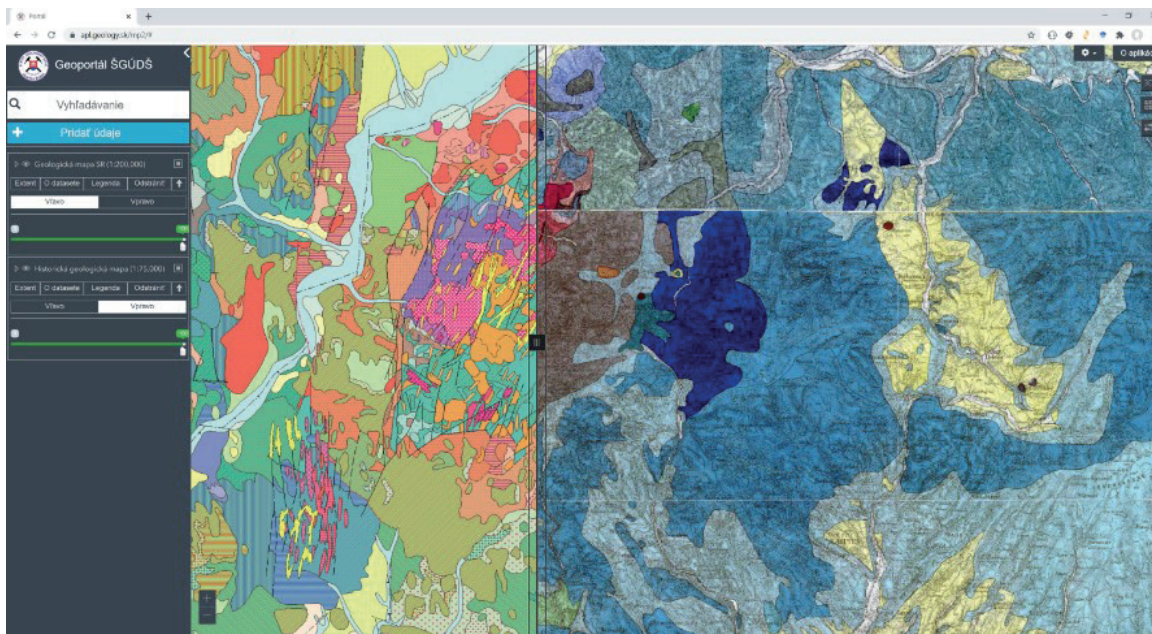


<sup>9</sup> V ŠGÚDŠ je v archíve geofondu uložených 99 000 správ. Z toho je 60 000 zdigitalizovaných. Správy sú uložené v aplikácii od súkromnej firmy postavenej nad IBM CMS (Content management system). Na prepojenie WebGIS a digitálneho archívu ŠGÚDŠ sa používa jednoznačný identifikátor správy. Rozsah veľkosti správy je rádovo od desiatok po tisíce strán

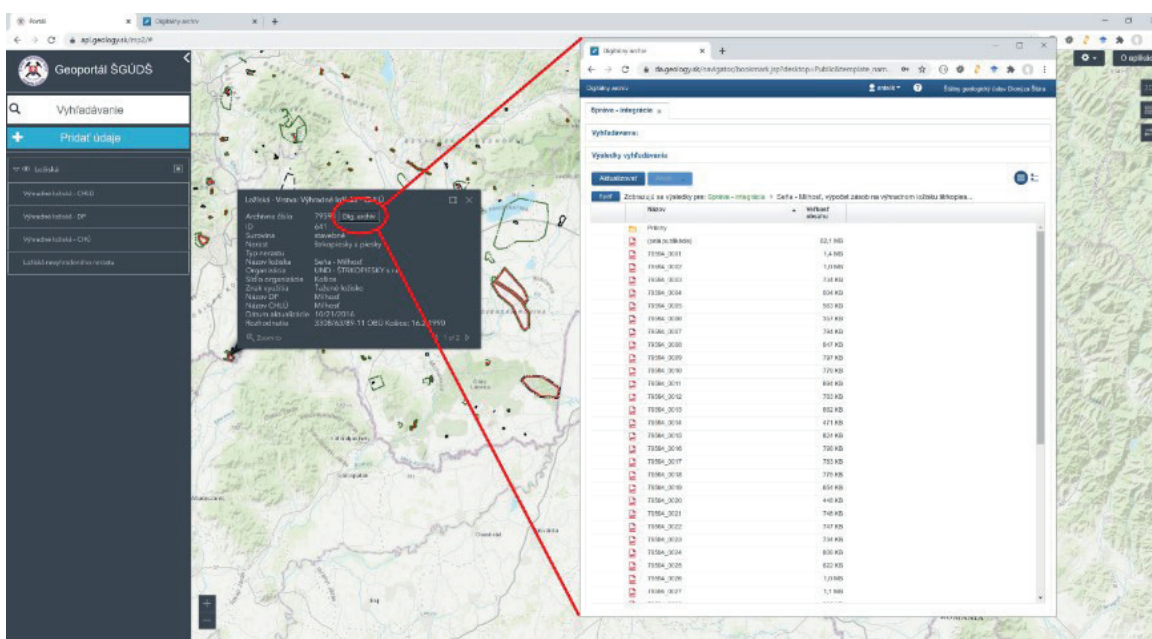
**Obr. 115.** Porovnanie zobrazenia 3D modelov stromov v mierkach 1 : 5 000 a 1 : 3 000

**Obr. 116.** Zobrazenie 3D modelov stromov na 3D geologickom podklade Slovenskej republiky





Obr. 117. Porovnanie geologickej mapy 1 : 200 000 s historickou geologickou mapou 1 : 75 000



Obr. 118. Zobrazenie vrstvy ložiskových výkazov. Po kliknutí na polygón sú zobrazené informácie o danom ložisku. Súčasťou informácií je aj tlačidlo. Po kliknutí na tlačidlo je zobrazený digitálny archív. Po prihlásení je zobrazená správa z digitálneho archívu, v ktorom je v aktuálnom období zdigitalizovaných 60 000 správ (z celkového počtu 99 000 správ).

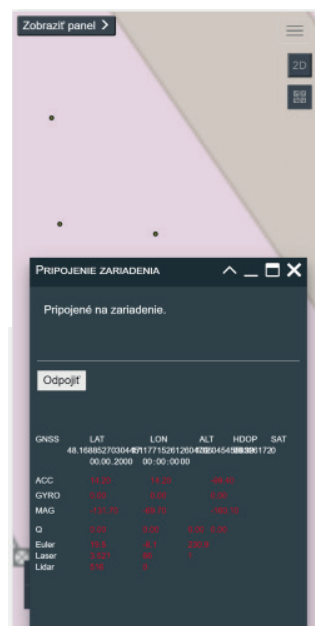
## 5.2. Výsledky vývoja nízkonákladového prototypu zariadenia na meranie 3D bodových údajov

Doterajšie skúsenosti pri vývoji prototypu nás oprávňujú konštatovať, že je možné vytvoriť nízkonákladové zariadenie, ktoré bude spĺňať požadované funkcionality (meranie hodnôt a ich zobrazovanie mobilnou aplikáciou). Je potrebné ešte dôkladne otestovať presnosť GNSS a odstrániť šum na laserových senzoch (LidarLite). Na obr. 121 je rozptyl hodnôt pri meraní senzorom z laserového

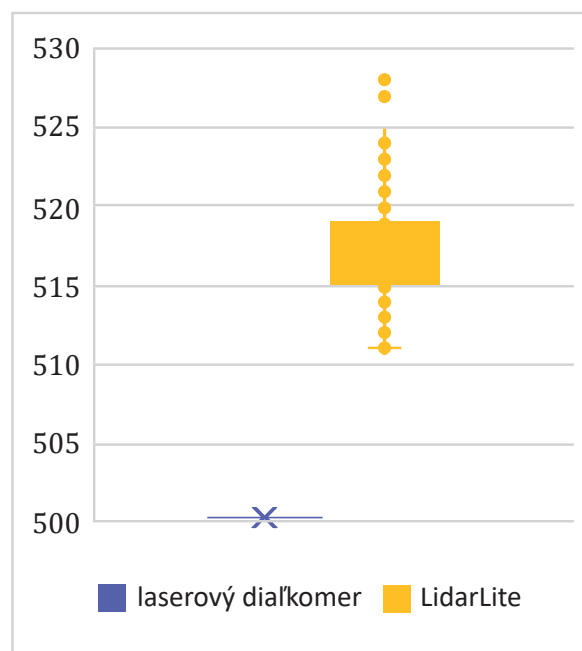
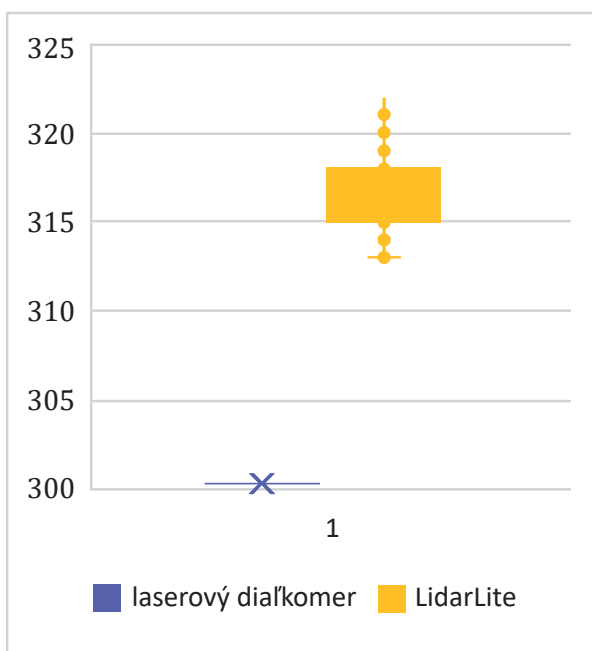
dialkometra a LidarLite pri vzdialenosti 3,0 a 5,0 m. Na zariadení bude potrebné nastaviť ofset, o koľko je posunutý začiatok merania. V prípade laserového dialkometra to je 2 mm, v prípade LidarLite bude potrebné urobiť väčší počet meraní, lebo podľa grafu sa so vzdialenosťou rozptyl zväčšuje. Výsledné zobrazenie hardvérovej časti prototypu je na obr. 119. Na obr. 120 je zobrazená obrazovka mobilného telefónu s prijatými hodnotami z hardvérovej časti.



Obr. 119. Prototyp č. 2. V hornej časti sa nachádza LidarLite.



Obr. 120. Po pripojení na zariadenie začne mobilná aplikácia ukazovať namerané body.



a)

b)

Obr. 121. Porovnanie hodnôt medzi laserovým snímačom laserového diaľkomera a LidarLite pri vzdialenosti: a) 3,0 m, b) 5,0 m

## 6. DISKUSIA

Ako už bolo spomenuté v úvode, súčasnosť je charakterizovaná prudkým rozvojom informačných technológií. Tento rozvoj významne ovplyvnil aj riešenia v tejto práci. Pri začiatku riešenia v roku 2015 niektoré technológie neboli dostupné alebo existujúce možnosti sa využívali len zriedka.

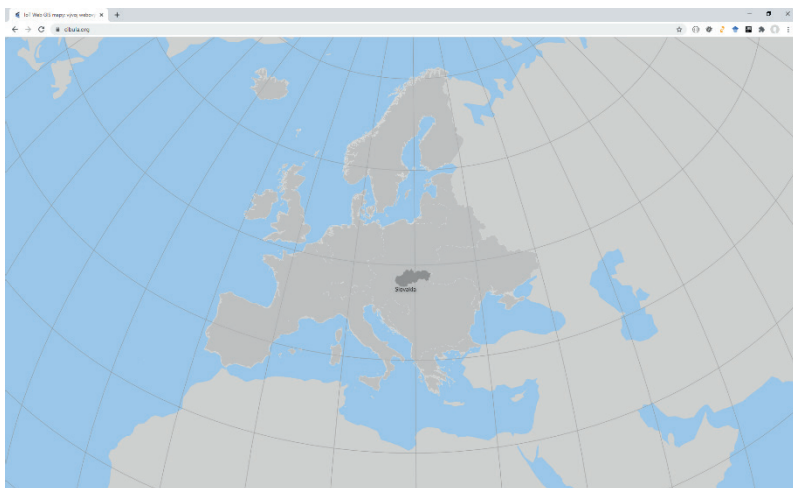
Popri hlavnom ciele *Vývoj interoperabilného informačného systému na interaktívnu 2D a 3D kartografickú vizualizáciu prírodných zdrojov v aplikačných sektoroch geológia a lesníctvo* sa okrem formátov, v ktorých je možné ukladať 3D objekty, rozšírili aj možnosti prezentácie

3D modelov pomocou internetových prehliadačov. Pri možnostiach 3D kartografickej prezentácie okrem rozvoja JavaScriptových knižnic nastal aj rozvoj prezentácie 3D scény bez prístupu programátora. Napríklad v programe QGIS je možné exportovať 3D scénu pre web. Ďalším príkladom je firma ESRI, ktorá svojím systémom Portal for ArcGIS umožňuje rýchle vytváranie 3D kartografickej vizualizácie. Tento produkt sa využíva aj v geologických službách na zobrazovanie 3D geologických modelov.

Pri využití JavaScriptových knižnic na vytvorenie aplikácie WebGIS sa čoraz častejšie využíva možnosť prepínania medzi 2D a 3D zobrazením. Používateľ si môže vybrať formu podľa svojich preferencií. Napriek výhodám

spomínaným aj v prácach Nolde et al. (2016) a Chen et al. (2016) sa táto funkcionálnosť zatiaľ v geologických službách nevyužíva. Prevláda spôsob jednoúčelového zamerania prezentácie jedného modelu v jednej aplikácii bez možnosti kombinácie s ďalšími existujúcimi údajmi. Aktuálne prezentácie geologických služieb sa nachádzajú v prílohe 1 spolu s URL adresami, na ktorých sú dostupné.

Pri výbere JavaScriptovej knižnice na vytvorenie 3D scény sa zvažoval aj herný stroj (*engine*) BabylonJS, ktorý by vizualizáciu mohol zvládnuť lepšie oproti knižniciam WebGIS. Problém nastane pri využívaní funkcionalít typických pre aplikácie WebGIS (napr. meranie, identifikácia objektov, využívanie formátov GIS a pod.). Programátor by musel dopísať veľkú časť funkcionality sám. Na obr. 122 je zobrazené využitie knižnice D3.js ako pozadie webovej aplikácie (obsah bol kvôli prehľadnosti zrušený). Je to knižnica s veľkým množstvom funkcionalít, ale na dosiahnutie cieľa práce by bolo potrebné dodatočne naprogramovať veľké množstvo funkcionalít GIS.



Obr. 122. Využitie D3.js (cibula.org)

Rozvoj informačných technológií sa dotkol aj druhého hlavného cieľa *Vývoj a pilotné overenie konceptu nízkonákladového (low cost) zariadenia na meranie 3D bodových údajov s bezdrôtovým prenosom nameraných údajov do mobilného telefónu*. V roku 2015 nebola dostupná literatúra, ktorá by opisovala vývoj takéhoto zariadenia. Na trhu neexistovalo ani ručné zariadenie spájajúce laserový diaľkometer, elektronický kompas a mapovú aplikáciu. V aktuálnom období (rok 2020) je už možné podobný produkt zakúpiť (napr. Trimble Geo7X). Toto zariadenie integruje GNSS s laserovým diaľkometerom. Nevýhodou je vysoká obstarávací cena. Len modul laserového diaľkometra stojí 1 200 \$.

Zmeny sa dotkli aj hardvérových a softvérových komponentov použitých pri vývoji prototypu. Pri prvom návrhu ešte nebol dostupný výkonnejší, cenovo dostupný a ľahko implementovateľný čip oproti Atmel využívaným v produktovom rade Arduino. Prvý návrh prototypu sa oproti druhému líšil aj napájaním (5 → 3,3 V) a to znamenalo v niektorých prípadoch využitie iných modulov.

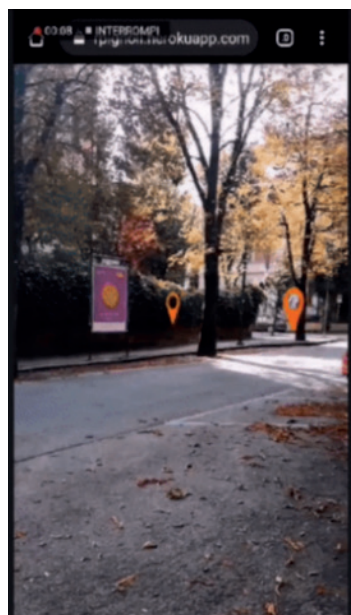
Pri využití softvérových komponentov nastala zmena v aktuálnosti a vtedy odporúčané komponenty sú dnes zastarané. Pri offline webovej aplikácii sa využívala *Application cache*, ktorá je už zastaraná a neodporúča sa. Pre túto funkcionálnosť sa odporúča využívanie *webworkerov*. Využitie databázy WebSQL je v aktuálnom období zastarané a je podporované iba v Chrome, Opera, Android Browser, Opera Mobile, Chrome for Android a Samsung Internet (Can I use, 2020). Ako interná databáza webovej aplikácie sa odporúča HTML5 štandard IndexedDB.

Zmeny nastali aj v možnostiach prístupu JavaScriptu k hardvérovým komponentom počítača. Rozvoj IKT priniesol tri formy prístupu:

Prvú formu prístupu prinieslo WebGL, kde JS prístupuje ku grafickej karte PC. Táto forma prístupu pomáha pri vytvorení 3D vizualizácie v internetovom prehliadači. WebGL nie je priamo určený na 3D operácie. Poskytuje však silný matematický aparát na výpočty potrebné pri 3D vizualizácii.

Druhá, zatiaľ experimentálna forma prístupu je Web Bluetooth API (MDN, 2020). Pri nej je možnosť komunikácie JS na mobilnom telefóne s inými zariadeniami pomocou BT a je podporovaná v IP Edge, Chrome, Opera, Android browser, Opera mobile, Chrome for Android a Samsung Internet (Can I use, 2020). Využitie by mohlo byť ako vnútorná (*indoor*) navigácia.

Tretia forma súvisí s rozrastajúcim sa trendom rozšírenej reality (AR – *Augmented Reality*). AR zobrazená na webovej stránke pomocou analýzy obrazu (*image tracking*) alebo AR založená na polohe by v budúcnosti mohla nájsť uplatnenie pri kartografickej vizualizácii. Napríklad pri prezeraní vzoriek nerastných surovín by používateľ



Obr. 123. Ukážka vizualizácie AR pomocou JS API AR.JS (Carpignoli, 2020)

spustil webovú aplikáciu a po zamierení MT na vzorku by aplikácia ukázala názov, rozšírenie, prípadne vizualizáciu vzniku počas vývoja Zeme. Takúto činnosť pomáha riešiť aj JS knižnica AR.JS (Carpignoli, 2020; Carpignoli, 2019; Egington, 2020; Court, 2020; Kuttappa, 2017).

Úplný prístup k hardvérovým komponentom virtuálnej reality pomocou JS by mohlo zabezpečiť WebXR Device API (WebXR, 2020), čo je nasledovník WebVR

API. WebXR Device API je súbor štandardov na využitie virtuálnej a rozšírenej reality nazývanej aj mixovaná realita (*Mixed reality*). Na obr. 124 je zobrazený príklad.

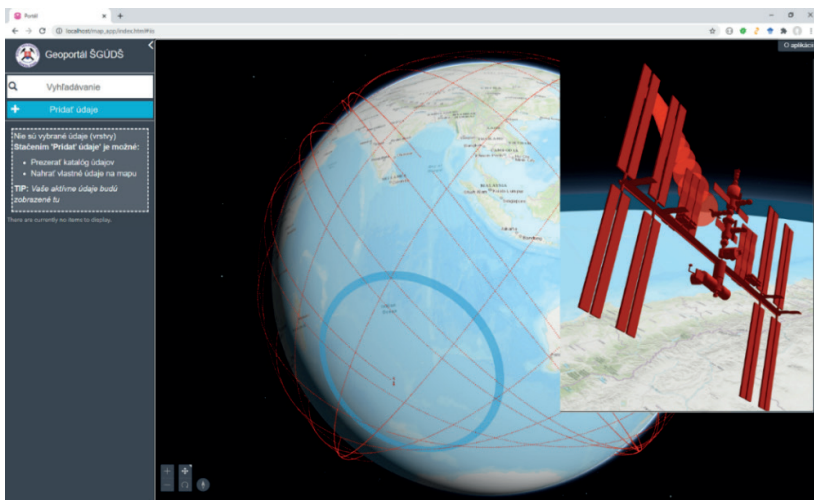
Využitie aplikácií WebGIS prináša vhodnou formou informácie pre odbornú aj laickú verejnosť. Ďalšou formou rozšírenia aplikácií WebGIS by mohlo byť vytvorenie animácií nad 3D kartografickou vizualizáciou pomocou údajov z rôznych zdrojov. Údaje by sa mohli získavať na-

```

{
  „iss_position“: { „latitude“:
                    31.005742775015847,
                    „longitude“:
                    21.779040008278844},
  „message“:      „success“,
  „timestamp“:    1600052304
}
    
```



Obr. 124. Ukážka príkladu využitia WebXR Device API na MT (The Immersive Web Working Group, 2020)



Obr. 125. Využitie External Renderer v ArcGIS API for JavaScript (ESRI, 2020)

príklad zo senzorov IoT (Cibula a Řezník, 2018) a následne by sa vizualizovali javy, ktoré tieto senzory snímajú.

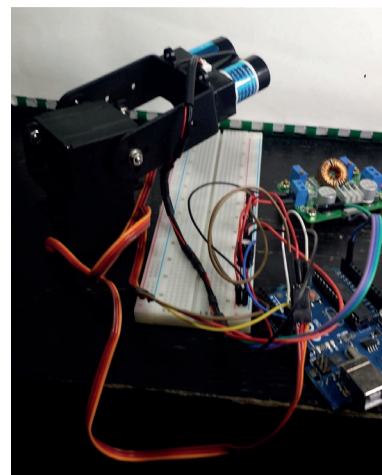
Ako príklad takéhoto prepojenia je možné v ArcGIS Api for JavaScript využiť External Renderer. External Renderer umožňuje pripojenie externého JS API (napr. Three.JS) na vytvorenie animácie. Na obr. 125 je zobrazené prepojenie ArcGIS API for JavaScript s Three.JS. Bol prevzatý a upravený zdrojový kód letu vesmírnej stanice IIS z firemných stránok ESRI. Aplikácia každých päť sekúnd požiada informácie o lokalizácii stanice z adresy <http://open-notify-api.herokuapp.com/iss-now.json> a prijatá odpoveď vyzerá takto:

Po prijatí súradníc je potrebný prepočet súradníc na súradnicový systém ECEF (EPSG:4978) (ESRI, 2020), v ktorom firma ESRI zobrazuje 3D obsah. Následne sa vytvorí animácia letu 3D objektu vesmírnej stanice IIS na vytvorenej aplikácii WebGIS spolu s umiestnením značky s predchádzajúcou lokalizáciou vesmírnej stanice IIS. Na uvedenom príklade je možné vidieť prijatie údajov z externej služby vo formáte JSON, ktoré sú následne vizualizované. V reálnej aplikácii by boli využité Web-Sockety (MDN, 2020), aby aplikácia dostávala údaje pri ich zmene a nemusela sa pýtať na zmenu podľa nastaveného času.

Firma ESRI na svojich stránkach ukazuje aj 4D animáciu posunu tlakovej níže (ESRI, 2020). Tú však pre svoju veľkosť odporúčajú spúšťať lokálne. Pomocou takéhoto riešenia by bolo možné v aplikácii WebGIS vizualizovať procesy, pomocou ktorých vznikli ukážky nerastných surovín v ŠGÚDŠ. Skúsenosti z dní otvorených dverí v ŠGÚDŠ ukazujú, že pre deti je veľmi pútavá aj vizualizácia sopečnej lávy.

Podľa práce Vatandaşlar a Zeybek (2020) je potrebné v geoinformatike venovať sa výskumným prácam, ktoré znížia obstarávacie náklady mobilných laserových zariadení. Vytvorený prototyp ukazuje, že je možné takéto zariadenie vytvoriť. Presnosť zariadenia závisí od

Obr. 126. Test TLS s využitím Arduina, dvoch servomotorov a drivera pre servomotory. Ako laserový senzor je využitý LidarLite.



kvality senzorov a od nej sa odvíjajú ekonomické náklady. Preto je potrebné zabezpečiť dostatočné financovanie takéhoto výskumu. Ďalší spôsob testovania je možné vidieť na obr. 126, kde sa nachádza hobby prototyp laserového skenera s využitím LidarLite, Arduina a JavaScriptovej aplikácie slúžiacej na vizualizáciu.

Pri návrhu prototypu bolo hlavným záujmom meranie 3D bodov. Pri testovaní sa zistilo, že po dodatočnom naprogramovaní funkcionality by zariadenie mohlo vytvárať jednoduché 3D objekty napríklad aj pomocou nasledujúceho kódu z ArcGIS API for JavaScript (ESRI, 2019):

```
var pyramidMesh = new Mesh({
  vertexAttributes: { // vertex positions for the Louvre pyramid, Paris
    position: [ 2.336006, 48.860818, 0, // vertex 0 - base of the pyramid, south
                2.336172, 48.861114, 0, // vertex 1 - base of the pyramid, east
                2.335724, 48.861229, 0, // vertex 2 - base of the pyramid, north
                2.335563, 48.860922, 0, // vertex 3 - base of the pyramid, west
                2.335896, 48.861024, 21 // vertex 4 - top of the pyramid
            ]
  },
  components: [
    {
      faces: [ 0, 4, 3, 0, 1, 4, 1, 2, 4, 2, 3, 4 ]
    }
  ],
});

var graphic = new Graphic({
  geometry: pyramidMesh,
  symbol: {
    type: „mesh-3d“,
    symbolLayers: [ { type: „fill“ } ]
  }
});
view.graphics.add(graphic);
```

## 7. ZÁVER

Táto práca má dva hlavné ciele a šesť čiastkových cieľov. Obidva hlavné ciele aj jednotlivé čiastkové ciele boli splnené.

Prvý hlavný cieľ *Vývoj interoperabilného informačného systému na interaktívnu 2D a 3D kartografickú vizualizáciu prírodných zdrojov v aplikačných sektoroch geológia a lesníctva* bol splnený vytvorením aplikácie WebGIS, ktorá zobrazuje 2D a 3D kartografickú vizualizáciu na základe výberu používateľa. Aplikácia WebGIS umožňuje využívanie webových služieb z iných aplikácií aj organizácií. Úspešné splnenie prvého hlavného cieľa bolo podporené splnením čiastkových cieľov.

Prvý čiastkový cieľ *Pilotné overenie interoperabilného webgisového informačného systému na interaktívnu*

*2D a 3D kartografickú vizualizáciu pomocou technológie WebGL pri zobrazovaní 3D geologických modelov na modelových územiach* zabezpečil vytvorenie niekoľko rôznych variantov 3D modelov. Na pilotnom území Hornonitrianskej kotliny sa vytvoril postup od exportu údajov zo softvéru Petrel do formátu I3S, ktorý bol publikovaný vo webovej službe. Tento postup bol využitý pre celé územie Slovenskej republiky vzniknutým 3D geologickým modelom v mierke 1 : 500 000. Pri areáli ŠGÚDŠ so vzorkami nerastných surovín vznikol model pomocou UAV fotogrametrie. 3D model bol vytvorený pomocou rôznych softvérov a boli vytvorené dve webové služby s rôznou kvalitou polohovej presnosti, zobrazenia a rôznou rýchlosťou načítania. Tretí čiastkový cieľ *Vytvorenie 3D lesníckej vizualizácie s dôrazom na webovú publikáciu veľkého objemu bodových údajov a 3D modelov stromov* zabezpečil vytvorenie údajov a webových služieb na zobrazovanie skoro jedného milióna 2D a 3D modelov stromov. Druhý a štvrtý čiastkový cieľ otestoval odpovede 3D geologických modelov a 3D modelov stromov pri rôznych mierkach.

Zámerom hlavného cieľa a príslušiacich čiastkových cieľov bolo, aby zobrazovanie pomocou aplikácie WebGIS bolo dostatočne rýchle, a to vzhľadom na veľký objem údajov, ktoré 3D modely predstavujú. Vytvorený interoperabilný informačný systém spolu s vytvorenými údajmi zaraďuje Štátny geologický ústav Dionýza Štúra medzi popredné geologické služby. Otestovanie prezentácie 3D modelov stromov prinieslo množstvo skúseností, ktoré budú uplatnené pri vytváraní prezentácii zobrazovania skoro 900 000 vrto s podrobným štruktúrnym zobrazením. Informačný systém bol implementovaný do prostredia ŠGÚDŠ.

V súčasnosti sa informačný systém rozširuje o moduly na zobrazovanie údajov z monitoringu environmentálnych záťaží. Ďalší rozvoj aplikácie súvisí s riešením nového projektu, ktorého podstatou bude podrobné zobrazovanie územia Bratislavy s podrobným geologickým 3D modelom súvisiacim s environmentálnymi záťažami na území hlavného mesta.

Druhý hlavný cieľ *Vývoj a pilotné overenie konceptu nízkonákladového (low cost) zariadenia na meranie 3D bodových údajov s bezdrôtovým prenosom nameraných údajov do mobilného telefónu* spolu s príslušiacimi čiastkovými cieľmi *Vytvorenie hardvéru prototypu integrujúceho laserový dialkomer, GNSS senzor a elektronický kompas s bezdrôtovým prenosom informácií a Vytvorenie softvérovej aplikácie pre mobilný telefón primajúcej informácie z prototypu* spočíval vo vytvorení prototypu hardvérového zariadenia umožňujúceho 3D meranie a softvéru pre mobilný telefón. Táto časť práce bola náročná na čas pri vytváraní prototypu aj na získavanie informácií o možnosti tvorby takéhoto prototypu. Pre problémy s návrhom a dĺžkou vývoja nebol využitý pri meraní areálu ŠGÚDŠ. Koncept vývoja prototypu bol overený a môžeme povedať, že uvedený prototyp je možné vytvoriť. Pôvodný plán využiť prototyp na meranie biometrických veličín môže byť rozšírený pomocou vhodnej funkcionality aj na priame vytvorenie 3D jednoduchých objektov.

## **ZOZNAM SKRATIEK**

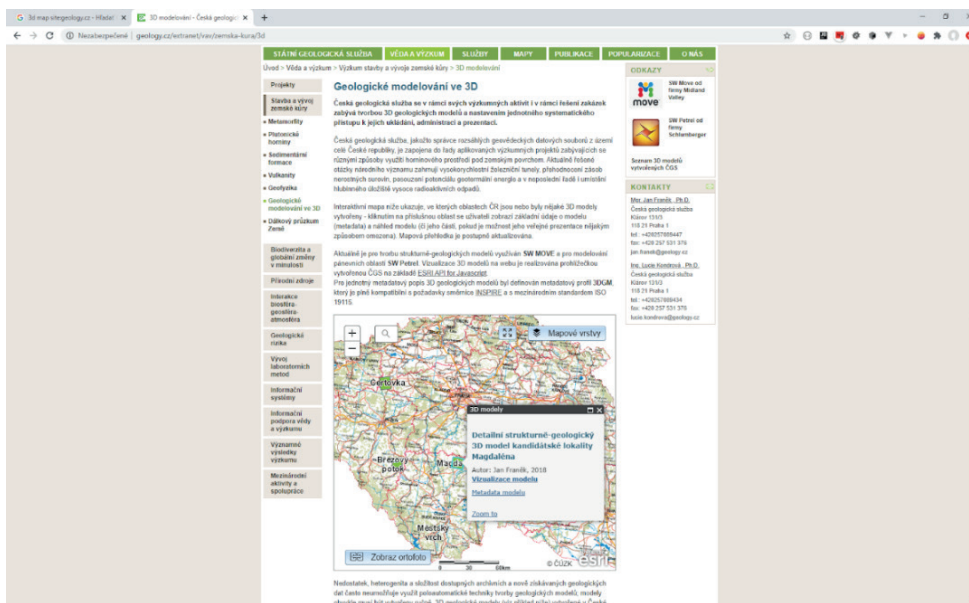
ALS	Airborne Laser Scanning	LVÚ	Lesnícky výskumný ústav
API	Application programming interface	LS	Terrestrial Laser Scanning
APM	Arduino Pro Mini	MLS	Mobile Laser Scanning
BT	bluetooth	MT	mobilný telefón
DBH	priemer stromu vo výške 1,3 m	NLC	Národné lesnícke centrum
DTM	digitálny model terénu	OGC	Open Geospatial Consortium
EL	Elevation Layer	PCB	Printed Circuit Board
FE	Frontend	SPI	Serial Peripheral Interface
GLSL	OpenGL Shading Language	ŠGÚDŠ	Štátny geologický ústav Dionýza Štúra
GNSS	Global Navigation Satellite System	TLS	Terrestrial Laser Scanning
GPU	Graphics Processing Unit – procesor grafickej karty	UART	Universal Asynchronous Receiver-Transmitter
I2C	Inter-Integrated Circuit	UAV	Unmanned Aerial Vehicle
IKT	informačno-komunikačná technika	VRML	Virtual Reality Modeling Language
IoT	Internet of Things	XML	eXtensible Markup Language
IP	internetový prehliadač		
JS	JavaScript		
JSON	JavaScript Object Notation		
KV	kartografická vizualizácia		

**Príloha 1** Stav vizualizácie 3D geologických modelov prostredníctvom internetového prehliadača v európskych geologických službách podľa verejne dostupných informácií k roku 2020

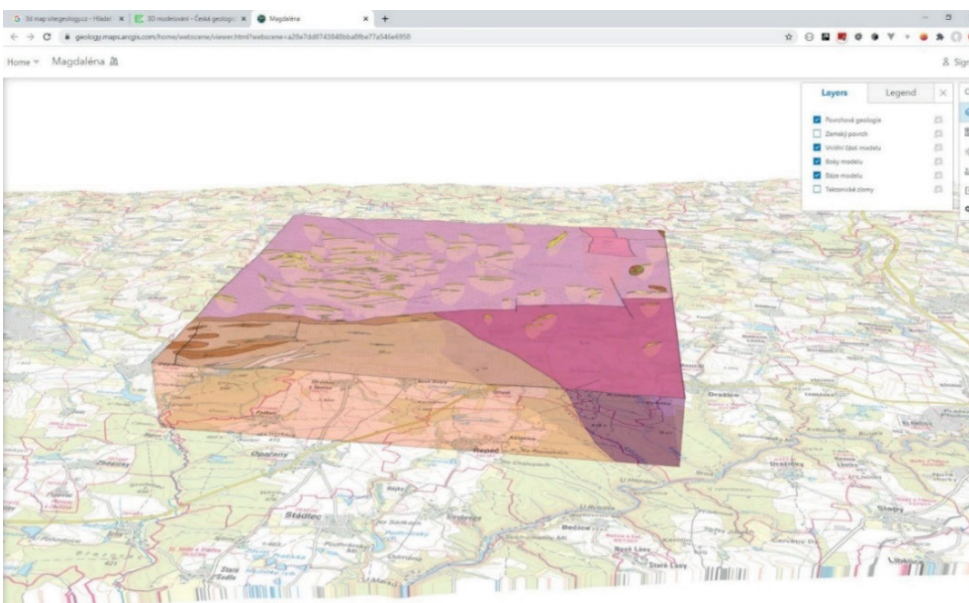
- Česká republika..... Švajčiarsko.....
- Maďarsko..... Švédsko.....
- Nórsko..... Taliansko.....
- Rakúsko..... Veľká Británia.....

**Česká republika**

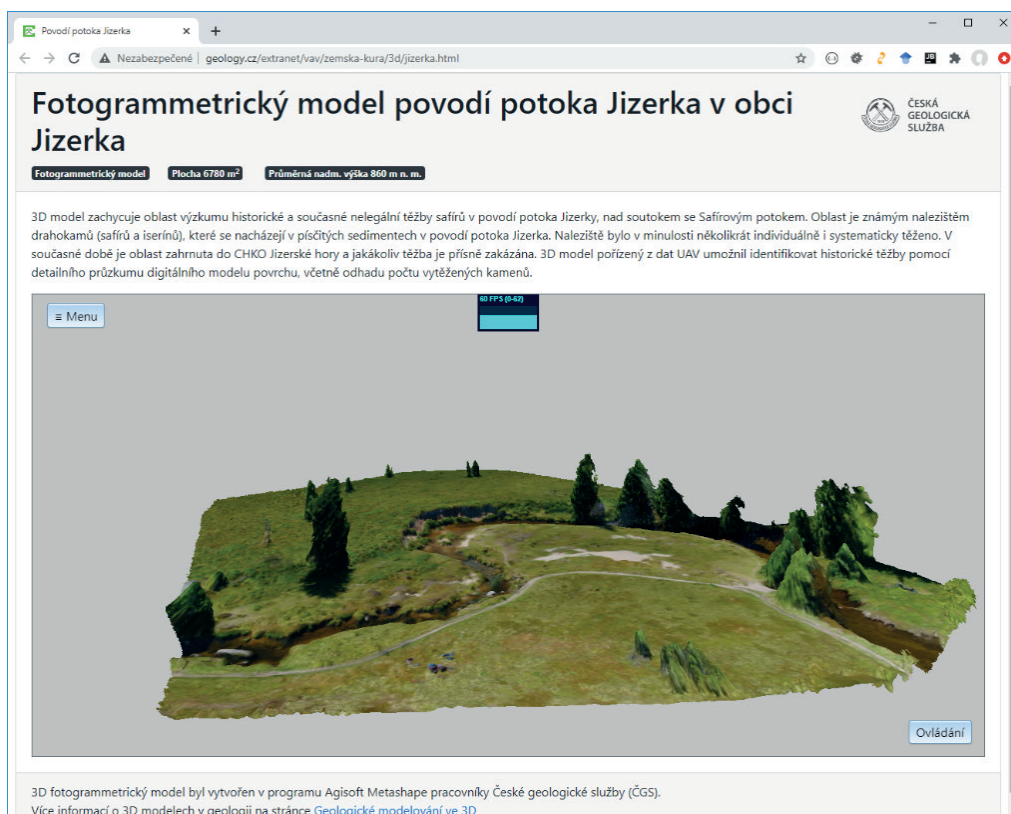
URL geologickej služby: <http://www.geology.cz/>  
 Využívané knižnice: Scene Viewer ArcGIS Online. Pre 3D modely je využitý ThreeJS.  
<http://www.geology.cz/extranet/vav/zemska-kura/3d>



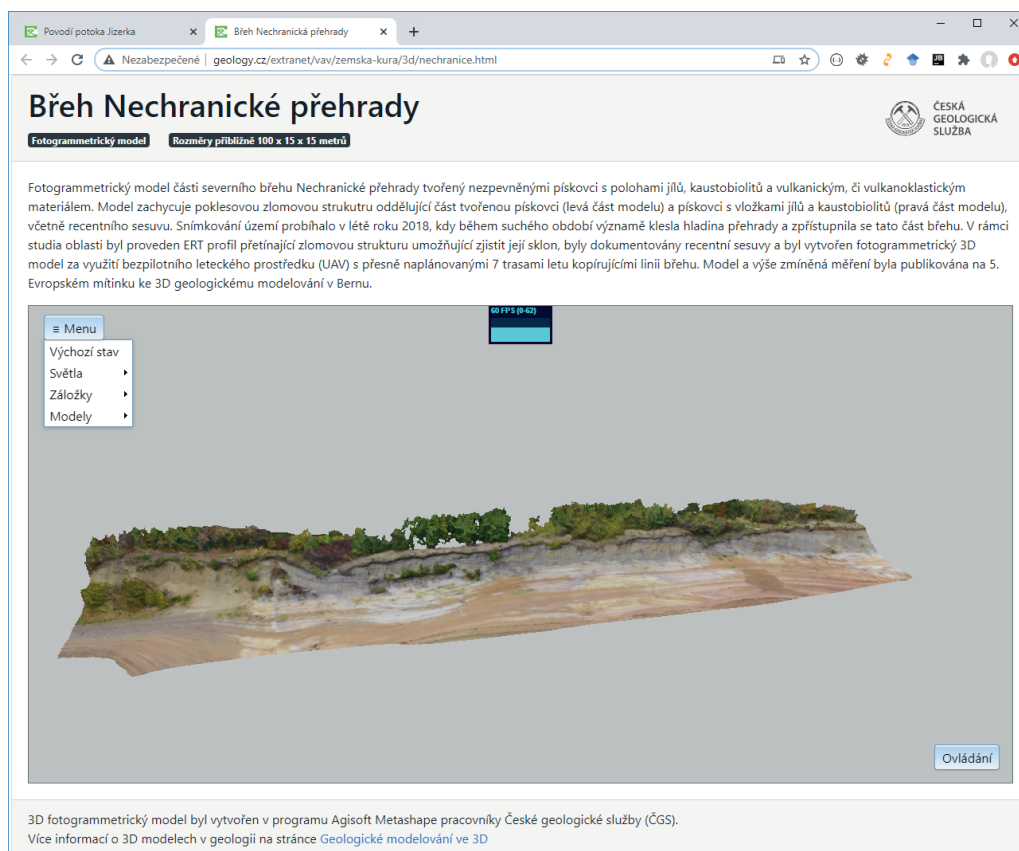
<https://geology.maps.arcgis.com/home/webscene/viewer.html?webscene=a28e7dd0743848bba8fbe77a546e6958>



<http://www.geology.cz/extranet/vav/zemska-kura/3d/jizerka.html>



<http://www.geology.cz/extranet/vav/zemska-kura/3d/nechranice.html>



<http://www.geology.cz/extranet/vav/zemska-kura/3d/rozinka.html>

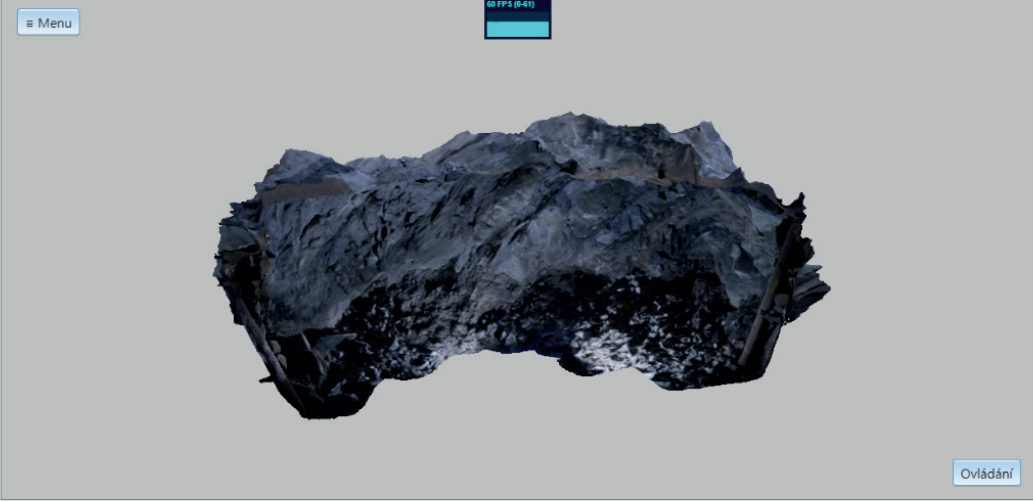
Uranový důl Rožná I.

Chodba uranového dolu Rožná I.

Fotogrammetrický model    Rozměry přibližně 3,5 x 7 x 2 metry

ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA

3D model zobrazuje část západní chodby Z3-XX nacházející se na 20. patře uranového dolu Rožná zhruba 1000 m pod povrchem. Tento ilustrativní model je součástí široké kolekce, téměř 200 obdobných modelů, které vznikly mezi lety 2018 a 2019 v rámci projektu "Získání dat z hlubokých horizontů dolu Rožná", který byl financován Správou úložišť radioaktivních odpadů (SÚRAO). Tyto modely sloužily k vyhodnocení stavu a četnosti křehkého porušení horninového masívu napříč dostupnými prostory dolu mezi 12. a 24. patrem dolu (600 - 1200 m pod povrchem).



3D fotogrammetrický model byl vytvořen v programu Agisoft Metashape pracovníky České geologické služby (ČGS).  
Více informací o 3D modelech v geologii na stránce [Geologické modelování ve 3D](#)

## Maďarsko

URL geologickej služby: <https://mbfsz.gov.hu/>

Využívané knihnice: Leflet, ThreeJS (Aplikácia je prevzatá z Rakúskej geologickej služby.)

[https://map.mbfsz.gov.hu/3d\\_foldtan/](https://map.mbfsz.gov.hu/3d_foldtan/)

3D Geológia

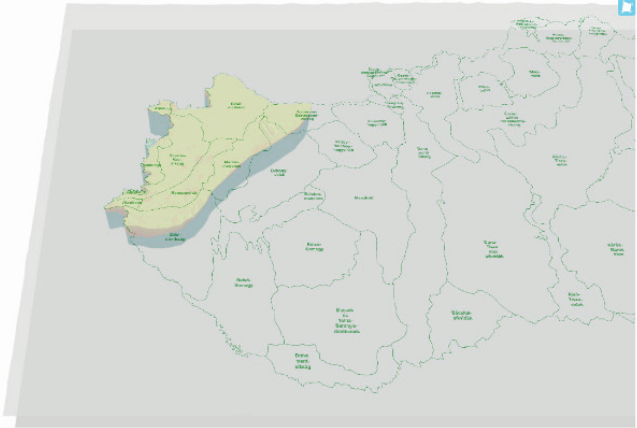
map.mbfsz.gov.hu/3d\_foldtan/

A Kisalföld 3D-s földtani modellje

MBFSZ térkép    Térképintézők    Segítség

Jelmagyarázat

- Nagykelet-északi képződmények
- Felső-pannon képződmények
- Délnyugati Újkőz
- Alsó-pannon képződmények
- 4. sz. Székesfehérvári térség
- Frégetonon miocén képződmények
- 12. méter mélyebb képződmények
- Prékáshozsás alját
- 12. méter mélyebb képződmények



MBFSZ  
MAGYARORSZÁGI  
BŐRŐMÉRŐ SZÉKELY SZERVEZET

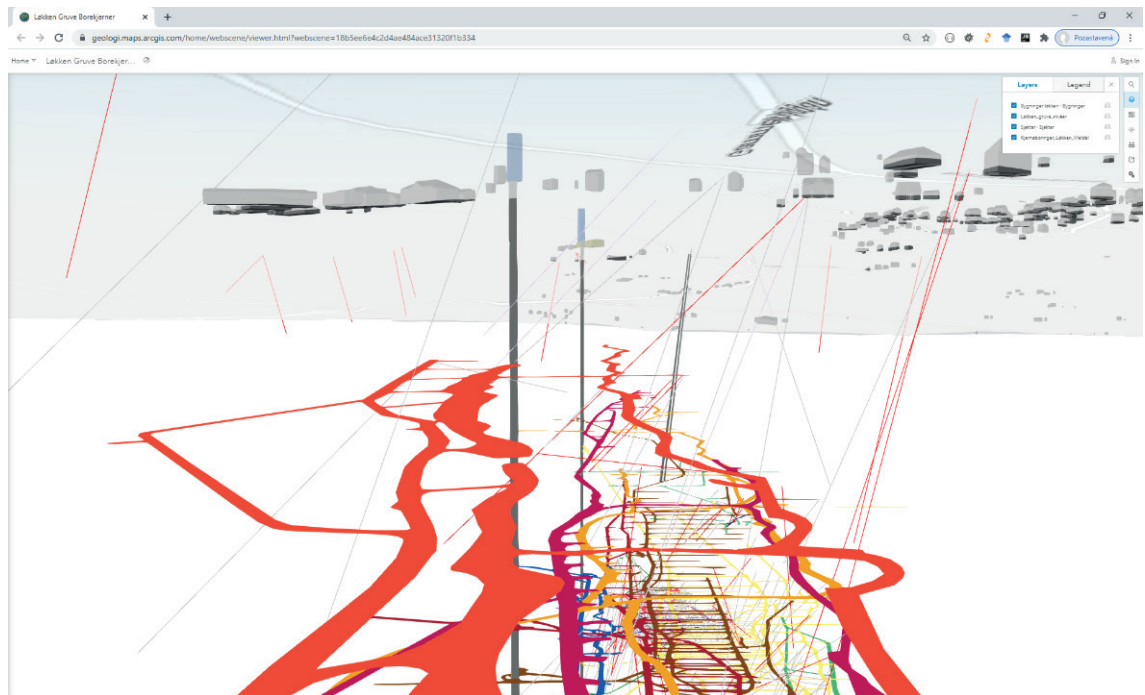
## Nórsko

URL geologickej služby: <https://www.geologie.ac.at/>

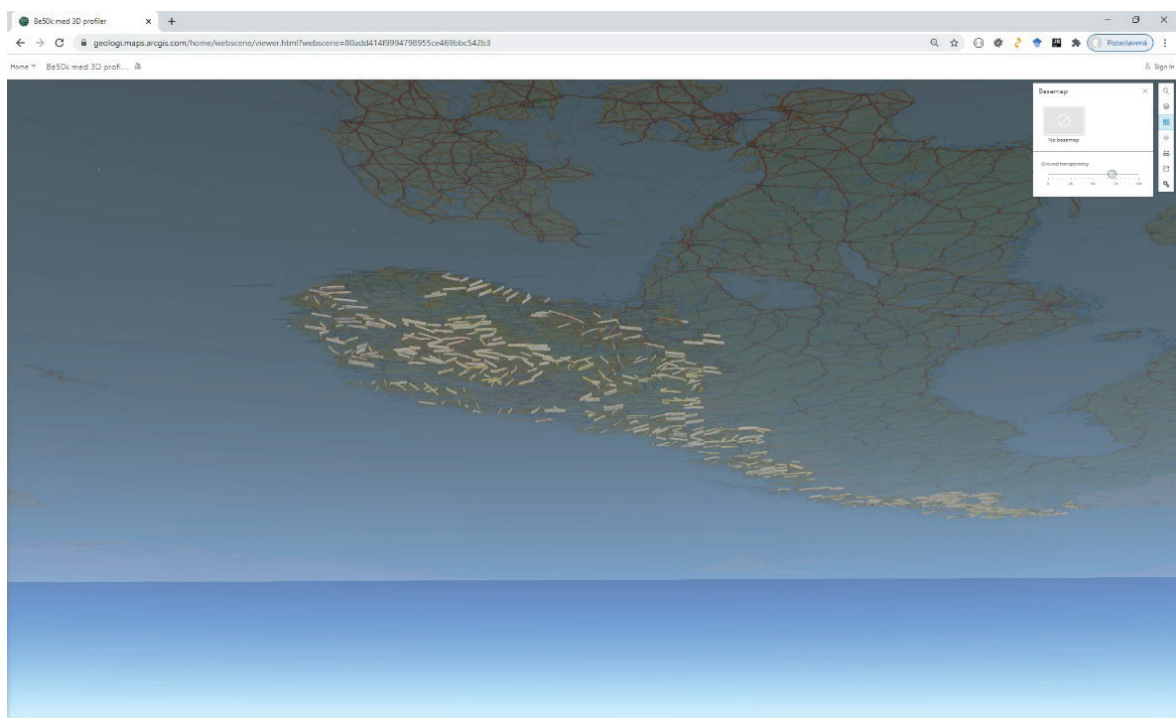
3D WebGIS: <https://gisgba.geologie.ac.at/3dviewer/>

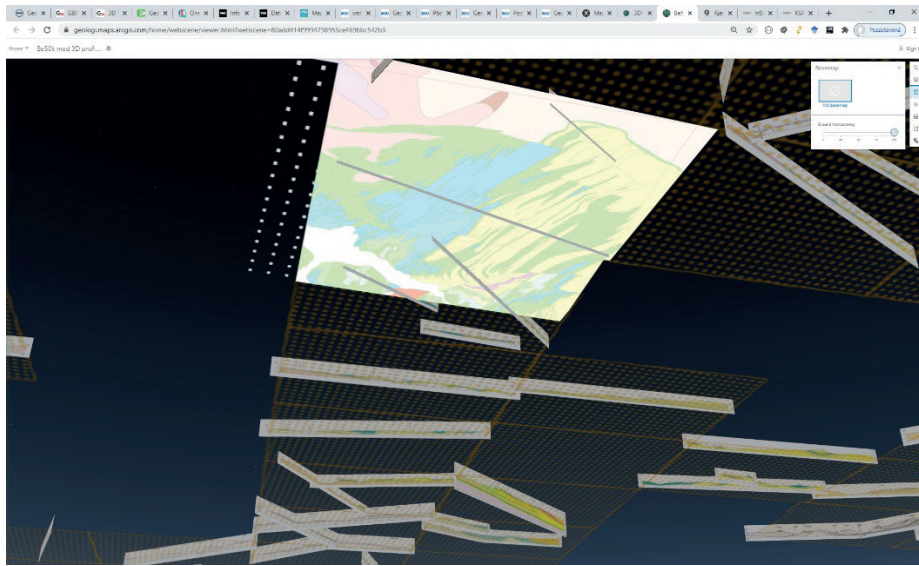
Využívané knižnice: Scene Viewer ArcGIS Online, Bentley Cityplanneronline, KSAT API

<https://geologi.maps.arcgis.com/home/webscene/viewer.html?webscene=18b5ee6e4c2d4ae484ace31320f1b334>

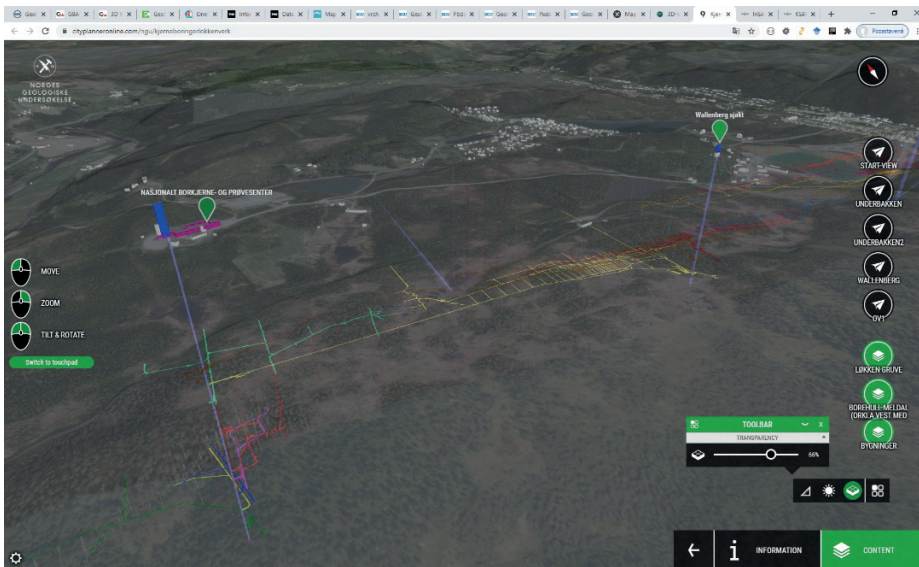


<https://geologi.maps.arcgis.com/home/webscene/viewer.html?webscene=80add414f9994798955ce469bbc542b3>

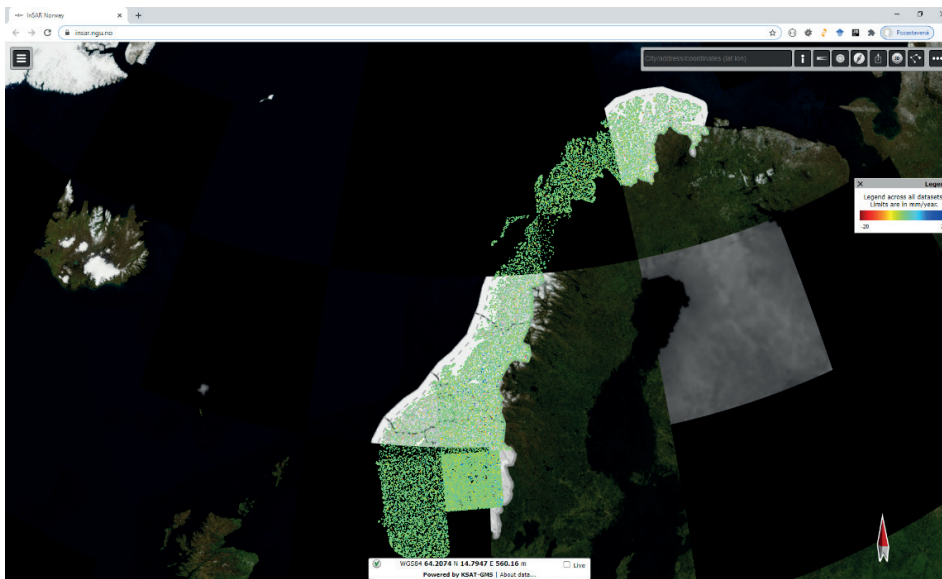




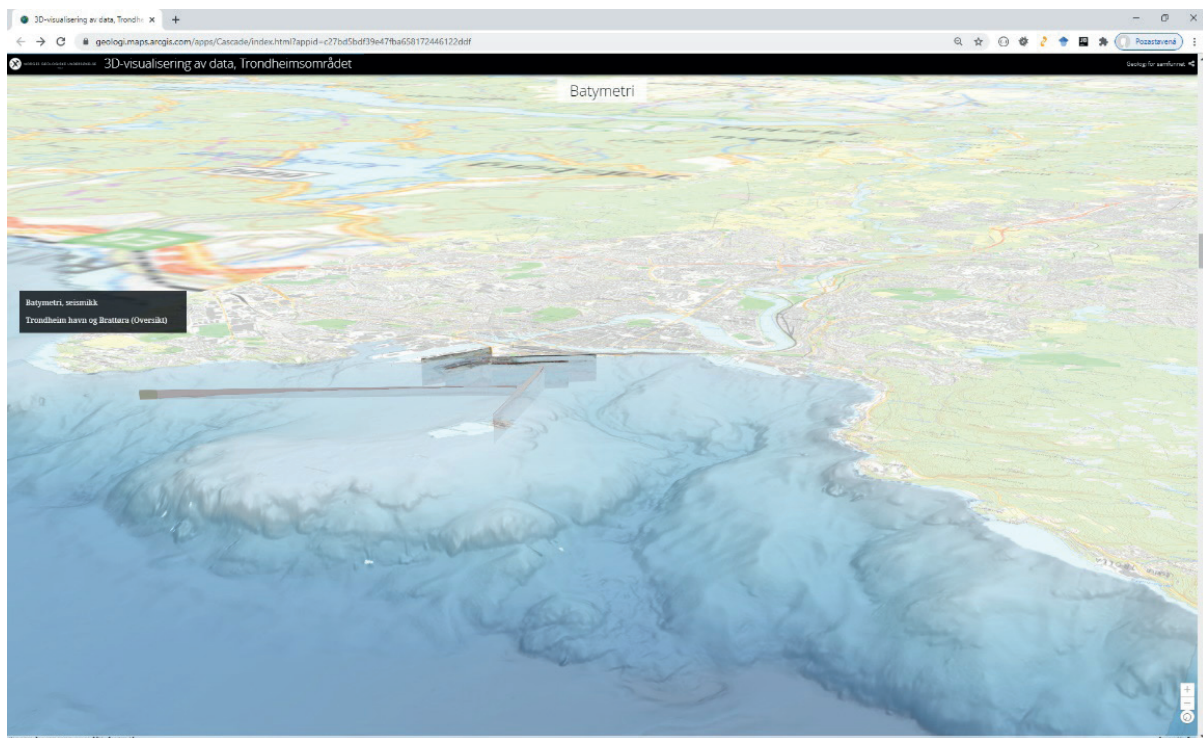
<https://cityplanneronline.com/ngu/kjerneboringerlokkenverk>



<https://insar.ngu.no/>



<https://geologi.maps.arcgis.com/apps/Cascade/index.html?appid=c27bd5bdf39e47fba658172446122ddf>

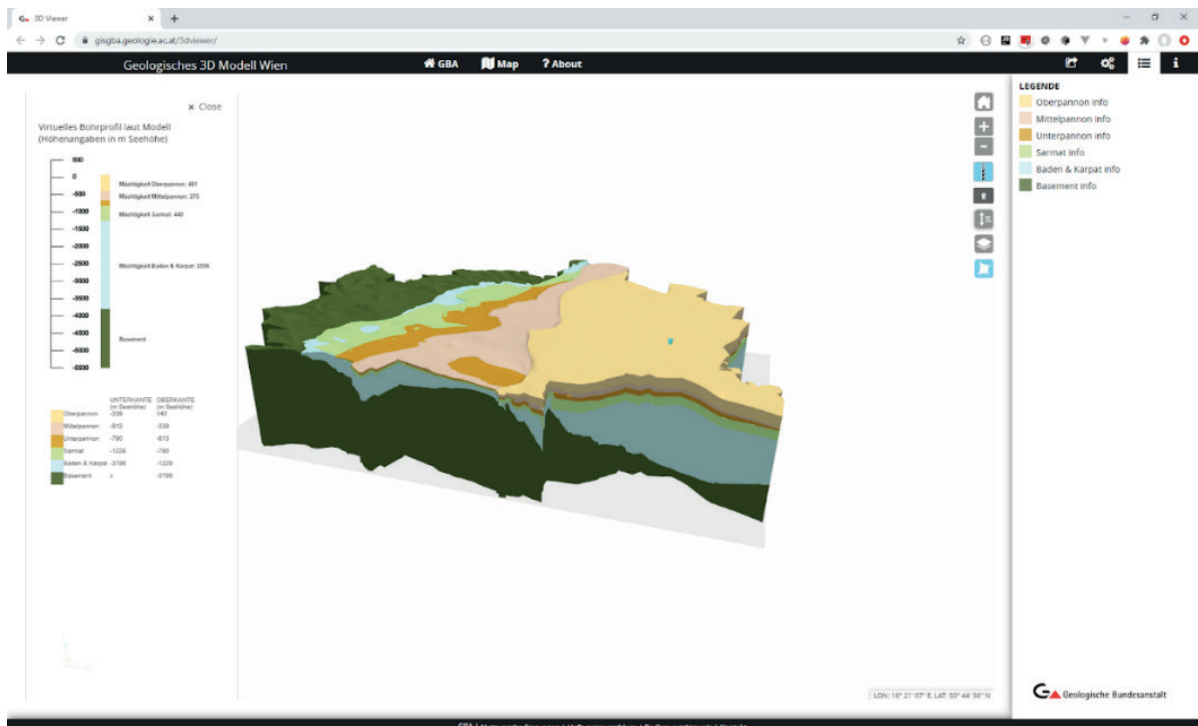


## Rakúsko

URL geologickej služby: <https://www.geologie.ac.at/>

Využívané knižnice: Leaflet, ThreeJS

<https://gisgba.geologie.ac.at/3dviewer/>

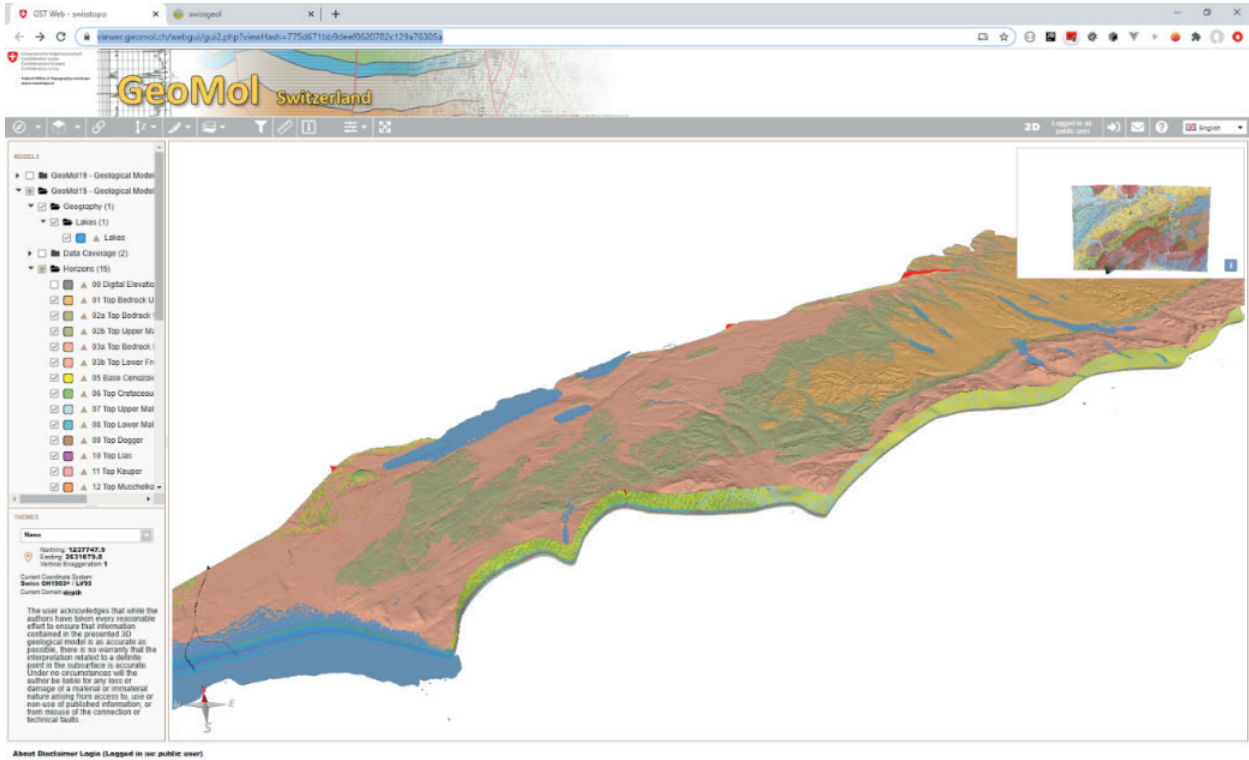


## Švajčiarsko

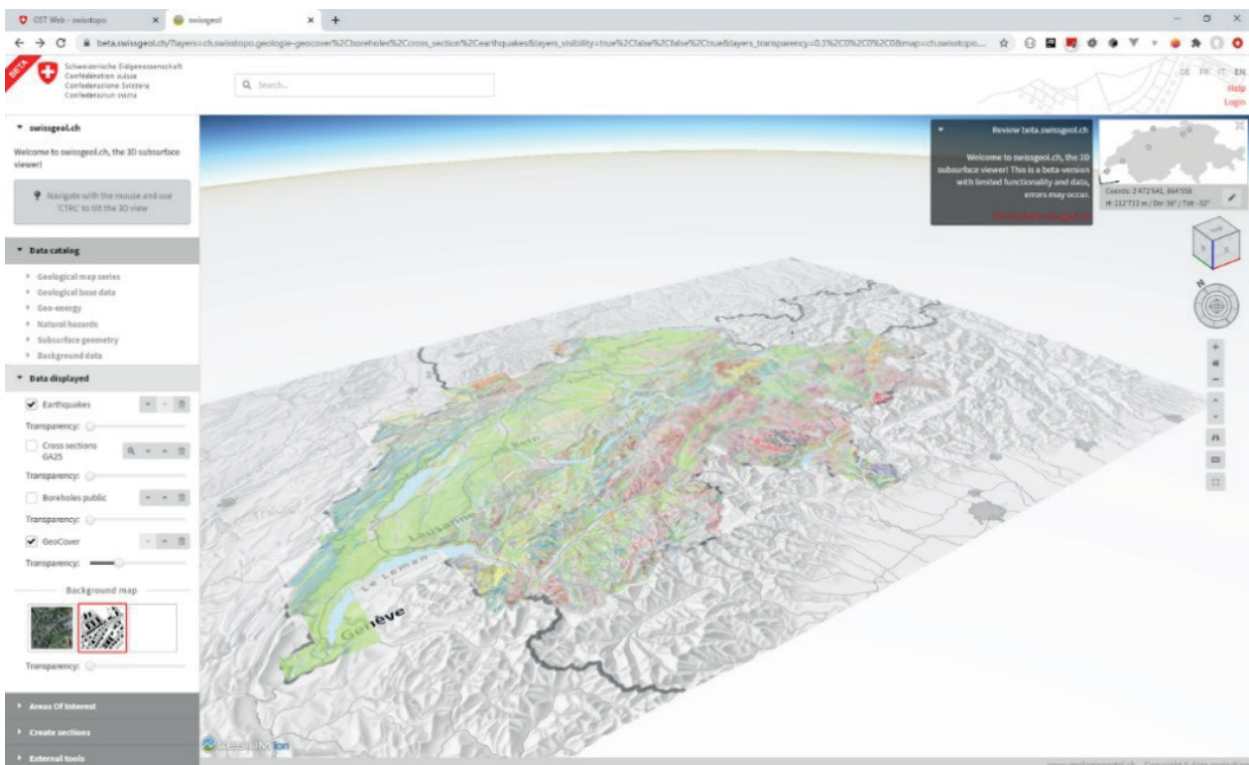
URL geologickej služby: <https://www.swisstopo.admin.ch/>

Využívané knižnice: X3DOOM; Beta verzia Cesium

<https://viewer.geomol.ch/webgui/gui2.php?viewHash=775d671bb9deef0620782c129a76305a>



Beta verzia <https://beta.swissgeol.ch/>

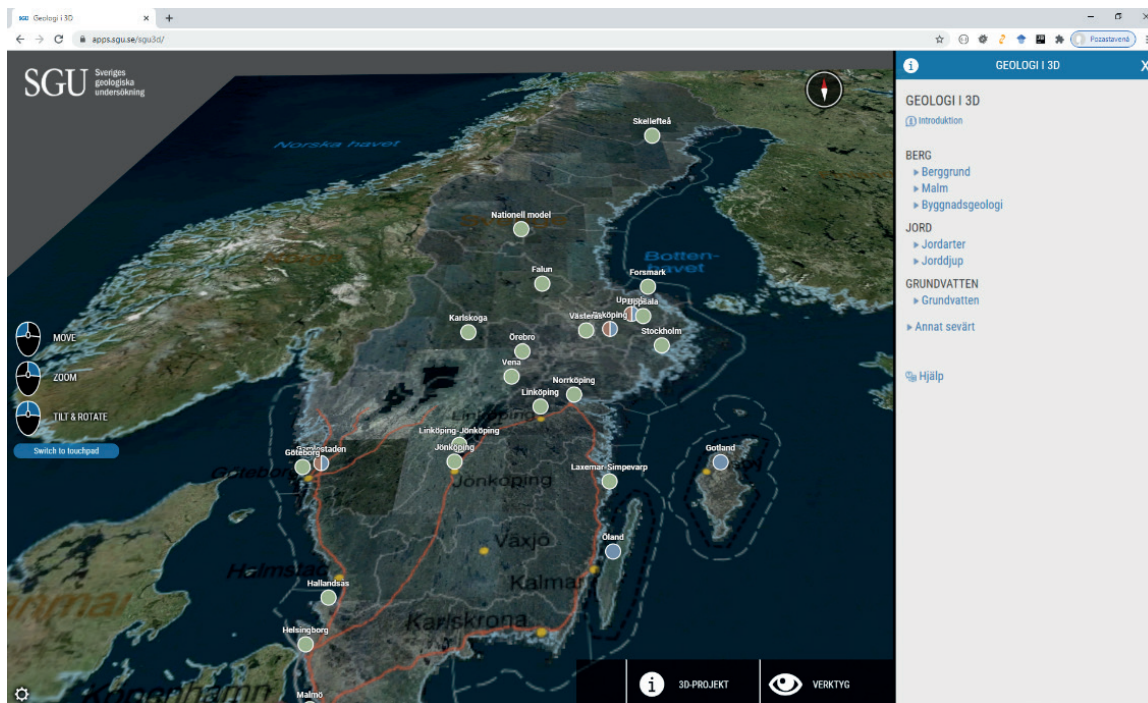


## Švédsko

URL geologickej služby: <https://www.sgu.se/>

Využívané knižnice: Bently Cityplanneronline

<https://apps.sgu.se/sgu3d/>

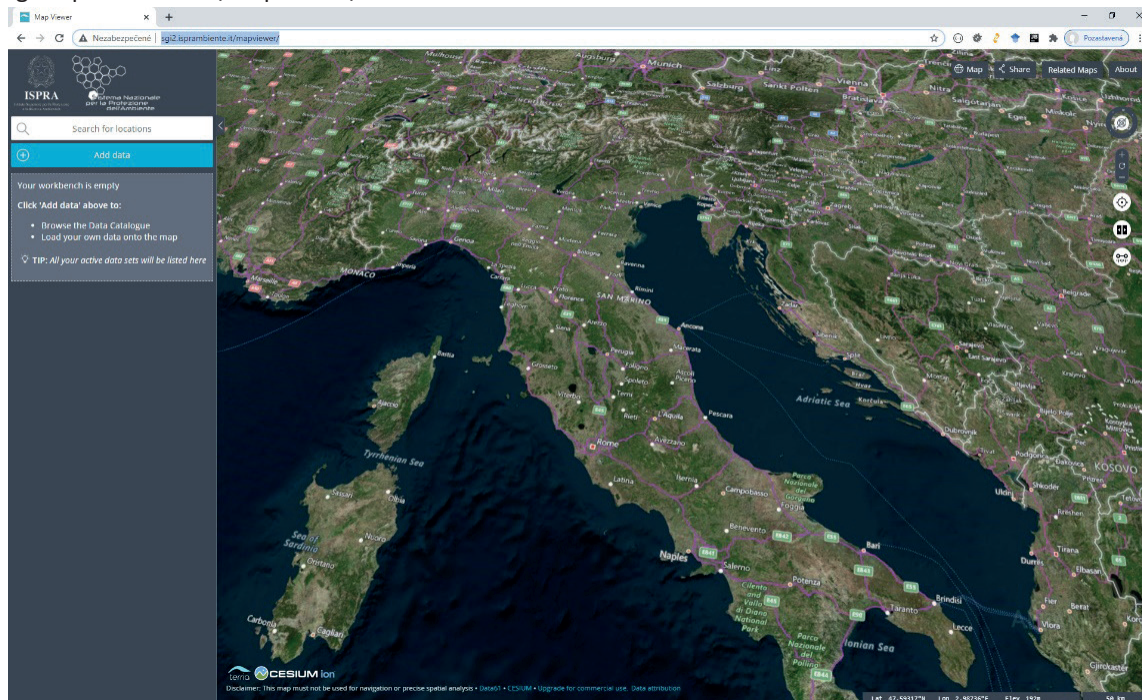


## Taliansko

URL geologickej služby: <http://www.isprambiente.gov.it/en>

Využívané knižnice: TerriaJS

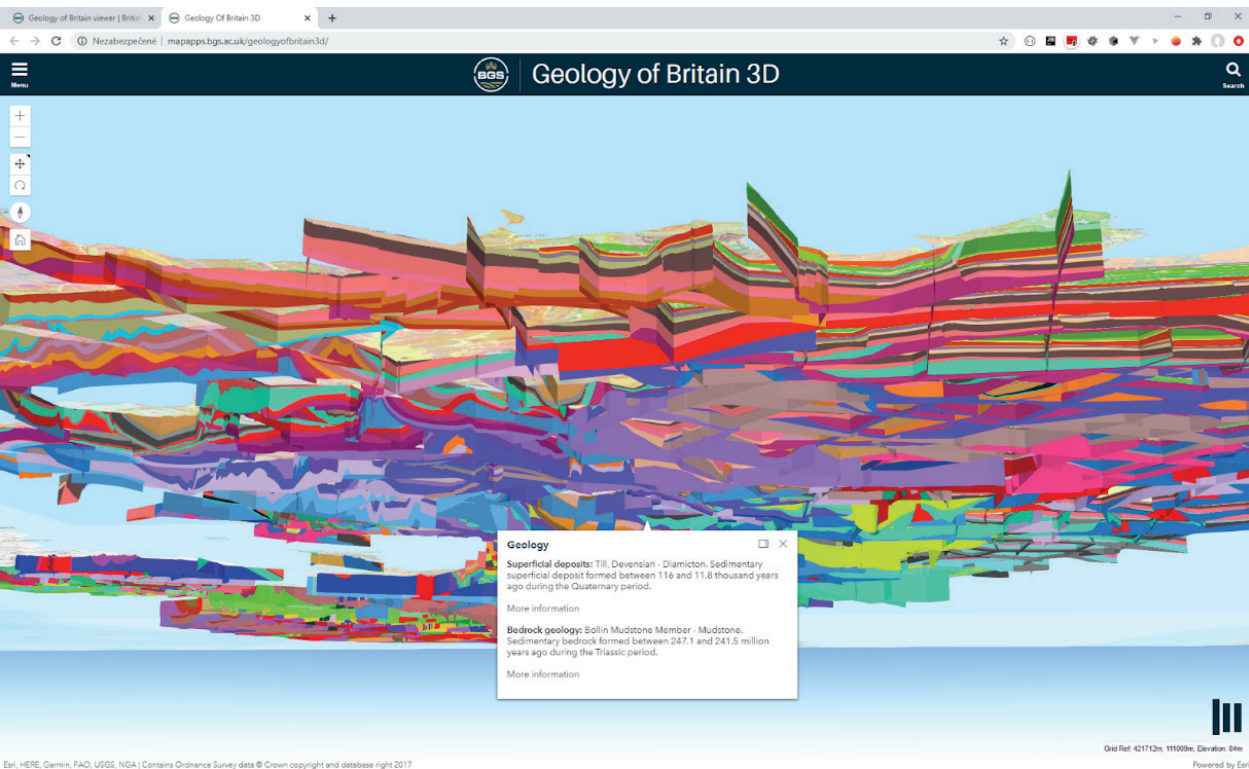
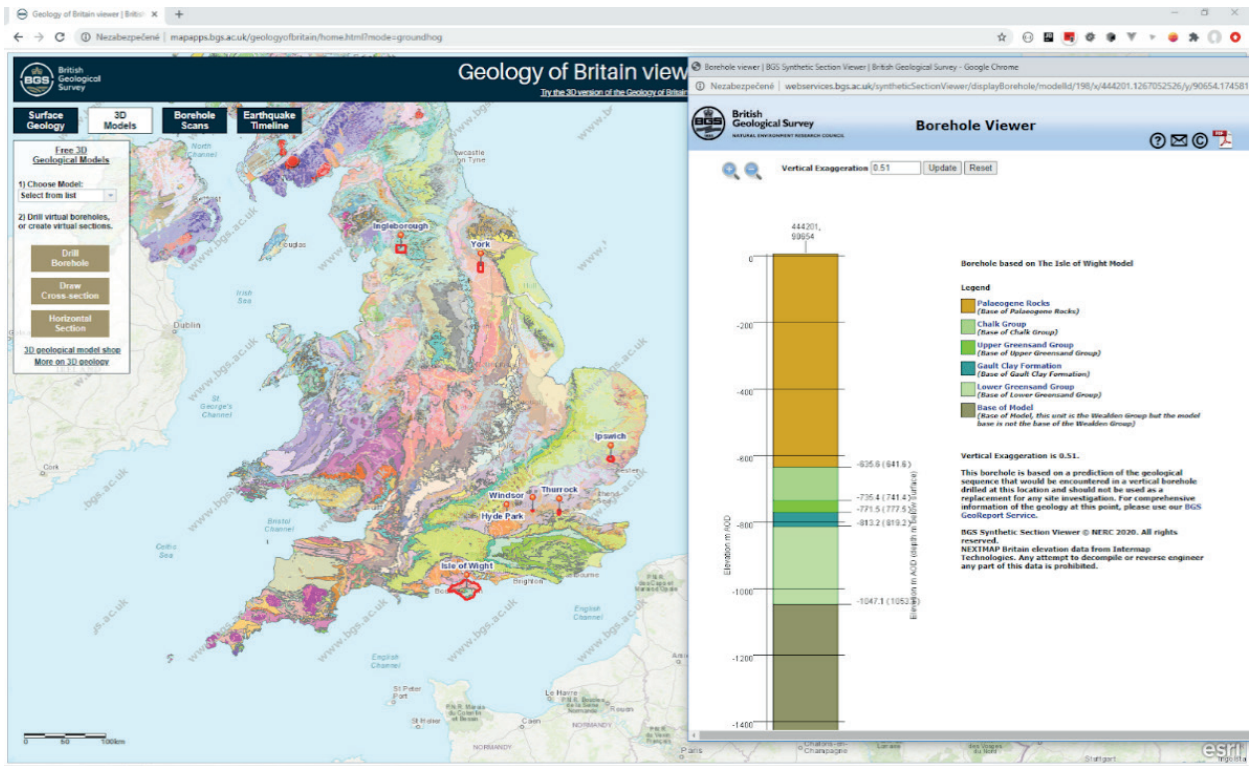
<http://sgi2.isprambiente.it/mapviewer/>

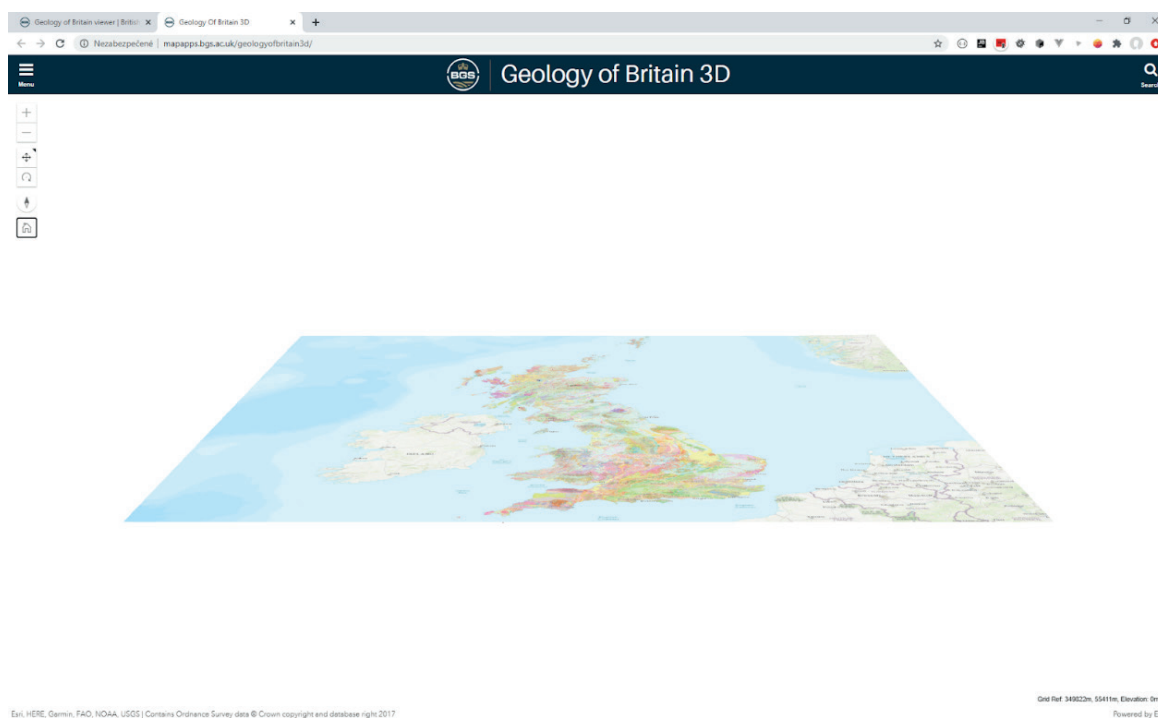
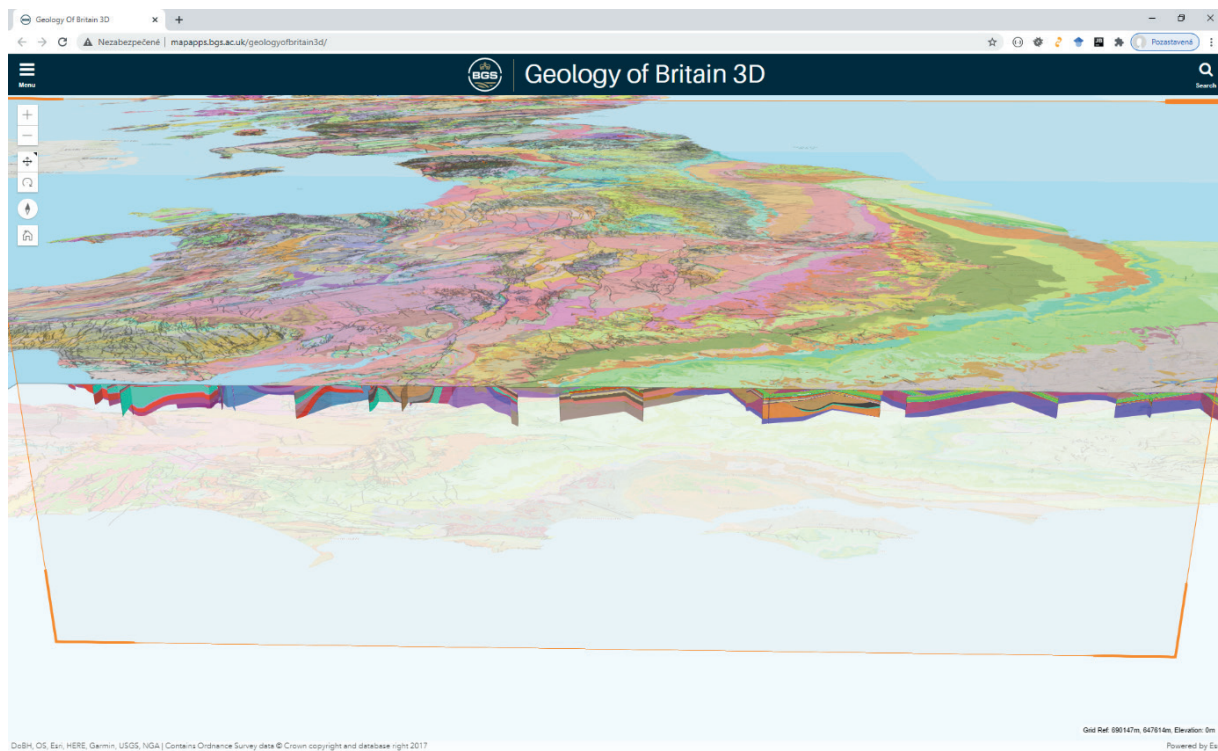


## Veľká Británia

URL geologickej služby: <https://www.bgs.ac.uk/>  
 Využívané knižnice: ArcGIS API for JavaScript

<http://mapapps.bgs.ac.uk/geologyofbritain3d/>





## LITERATÚRA

- 3D Tiles: 3D Tiles is an open specification for sharing, visualizing, fusing, and interacting with massive heterogeneous 3D geospatial content across desktop, web, and mobile applications. GitHub. 2019. <https://github.com/CesiumGS/3d-tiles> (cit. 2020-08-09).
- Adam, C., 2019: Hands-On Raspberry. Pi for Secret Agents, 1, Birmingham, Packt Publishing.
- Amorim, R., Brazil, E. V., Samavati, F. a Sousa, M. C., 2014: 3D geological modeling using sketches and annotations from geologic maps. Proceedings of the 4th Joint Symposium on Computational Aesthetics, Non-Photorealistic Animation and Rendering, and Sketch-Based Interfaces and Modeling – SBIM, 14. New York, ACM Press, 17 – 25.
- Anonym, 1998: ESRI Shapefile Technical Description. Redland, Esri.
- Anonym, 2012: The Multipatch Geometry Type: An ESRI® White Paper • December 2008. Redlands, ESRI.

- Dirksen, J., 2015: Three.js Cookbook. 1. vyd. Birmingham, Packt Publishing. ISBN 978-1-78398-119-9.
- Anonym, 2016: offline-editor-js. GitHub. <https://github.com/Esri/offline-editor-js> (cit. 2020-09-10).
- Anonym, 2019: Indexed 3D Scene Layers. ArcGIS for Developers. <https://developers.arcgis.com/documentation/indexed-3d-scene-layers/> (cit. 2019-10-03).
- Anonym, 2020: Scene Layers: Service and Package Standard: indexed 3D scene layer (I3S) and scene layer package (.slpk). GitHub. <https://github.com/Esri/i3s-spec> (cit. 2020-08-09).
- Anonym, 2020: OGC API. <https://ogcapi.ogc.org/> (cit. 2020-10-25).
- Anonym, 2020: Web Bluetooth API. Mozilla developer network. [https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/Web\\_Bluetooth\\_API](https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/Web_Bluetooth_API) (cit. 2020-09-10).
- Apache Cordova, 2015: <https://cordova.apache.org/> (cit. 2020-08-09).
- ArcGIS API for JavaScript, 2020: <https://developers.arcgis.com/javascript/> (cit. 2020-07-16).
- Arduino, 2020: <https://www.arduino.cc> (cit. 2020-06-18).
- Arduino core for the ESP32. GitHub, 2020: <https://github.com/espressif/arduino-esp32> (cit. 2020-06-18).
- Arlow, J. a Neustadt, I., 2007: UML 2 a unifikovaný proces vývoje aplikací: objektově orientovaná analýza a návrh prakticky. Vyd. 1. Brno, Computer Press.
- Ashton, K., 2009: That 'Internet of Things' Thing. <https://www.rfidjournal.com/that-internet-of-things-thing> (cit. 2020-06-19).
- Babylon.js., 2017: <https://www.babylonjs.com/> (cit. 2017-01-15).
- Babylon.js., 2018: <https://www.babylonjs.com/> (cit. 2018-06-26).
- Baojun, W., Bin, S. a Zhen, S., 2009: A simple approach to 3D geological modelling and visualization. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 68, 4, 559 – 565.
- Batrinu, C., 2017: ESP8266 Home Automation Projects. Birmingham, Packt Publishing.
- Bayle, J., 2013: C Programming for Arduino. Birmingham, Packt Publishing.
- BGS, European 3D Geological Modelling Community, 2019: [3dgeology.org](http://3dgeology.org) (cit. 2020-10-27).
- Bhadoria, S. a Ramos, R., 2017: Raspberry Pi 3 Home Automation Projects. Birmingham, Packt Publishing.
- Blenkinsop, T. G., 2012: Visualizing structural geology: From Excel to Google Earth. *Computers & Geosciences*, 45, 52 – 56.
- Bónová, K., 2017: Základy geológie pre geografov. Košice, Ústav geografie, Prírodovedecká fakulta, Univerzita Pavla Jozefa Šafárika v Košiciach.
- Can I use, 2020: <https://caniuse.com/> (cit. 2020-08-20).
- Carpignoli, N., 2020: AR.js – Augmented Reality on the Web. GitHub. <https://github.com/AR-js-org/AR.js> (cit. 2020-08-08).
- Carpignoli, N., 2019: AR.js – The Simplest Way to get Cross-Browser Augmented Reality on the Web. Medium. <https://medium.com/swlh/ar-js-the-simplest-way-to-get-cross-browser-augmented-reality-on-the-web-10cbc721debc> (cit. 2020-08-08).
- Castro, J. R., 2015: Building a Home Security System with Arduino. Birmingham, Packt Publishing.
- CesiumJS, 2018: <https://cesium.com/cesiumjs/> (cit. 2018-06-26).
- Cibula, R. a Sačkov, I., 2020a: An integrated framework for web-based visualisation of forest resources estimated from remote sensing data. *Central European Forestry Journal*, 66, 3, 170 – 176.
- Cibula, R. a Mižák, J., 2020b: 3D geológia na Štátnom geologickom ústave Dionýza Štúra. GIS Ostrava 2020, Prostorová data pro Smart City a Smart Region. Ostrava, Vysoká škola báňská, Technická univerzita Ostrava, 1 – 9.
- Cibula, R. a Řezník, T., 2018: Adopting internet of things concept to sensor networks based on geospatial modification of LoRaWAN and MQTT. GIS Ostrava 2018 – GIS for Safety & Security Management. Ostrava, Czech Republic, VŠB – Technical University of Ostrava, 81 – 92.
- Cibula, R., Antalík, M. a Mižák, J., 2018: Využitie WebGL pre 3D mapový portál Štátneho geologického ústavu Dionýza Štúra. GIS Ostrava 2018. GIS pro podporu bezpečnosti a krízového řízení 21. – 23. března 2018. Ostrava, Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 1 – 11.
- CityGML, 2012: CityGML is an open data model and XML-based format for the storage and exchange of virtual 3D city models. <http://www.citygml.org/> (cit. 2020-08-09).
- CloudCompare, 2018: <https://www.danielgm.net/cc/> (cit. 2018-07-29).
- COLLADA™, 2008: 3D Asset Exchange Schema. Khronos Group. <https://www.khronos.org/collada/> (cit. 2018-08-21).
- Court, K., 2020: Build an augmented reality walk with AR.js. Newcastle University Research Software Engineering. <https://medium.com/newcastle-university-research-software-engineering/build-an-augmented-reality-walk-with-ar-js-e9cc62fe53c6> (cit. 2020-08-08).
- Cox, T., 2014: Raspberry Pi Cookbook for Python Programmers. Birmingham, Packt Publishing.
- Dai, W. et al., 2019: Automated fusion of forest airborne and terrestrial point clouds through canopy density analysis. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 156, 94 – 107.
- Dai, W., Yang, B., Dong, Z. a Shaker, A., 2018: A new method for 3D individual tree extraction using multispectral airborne LiDAR point clouds. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 144, 400 – 411.
- De Donatis, M., Borraccini, F. a Susini, S., 2009: Sheet 280 – Fossombrone 3D: A study project for a new geological map of Italy in three dimensions. *Computers & Geosciences*, 35, 1, 19 – 32.
- De Paor, D. G. a Whitmeyer, S. J., 2011: Geological and geophysical modeling on virtual globes using KML, COLLADA, and Javascript. *Computers & Geosciences*, 37, 1, 100 – 110.
- Define Projection, ArcGIS Desktop, 2019: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/tools/data-management-toolbox/define-projection.htm> (cit. 2019-10-03).
- Del Perugia, B., Giannetti, F., Chirici, G. a Travaglini, D., 2019: Influence of Scan Density on the Estimation of Single-Tree Attributes by Hand-Held Mobile Laser Scanning. *Forests*, 10, 3.
- Dennis, A. K., 2013: Raspberry Pi Super Cluster. Birmingham, Packt Publishing.

- Dennis, A. K., 2016: Raspberry Pi Computer Architecture Essentials. Birmingham, Packt Publishing.
- Dey, R., Doig, J. G. a Gatzidis, Ch., 2018: Procedural feature generation for volumetric terrains using voxel grammars. Entertainment Computing, 27, 128 – 136.
- Dirksen, J., 2013: Learning Three.js: The JavaScript 3D Library for WebGL. Birmingham, Packt Publishing.
- Duncanson, L. I., Cook, B. D., Hurtt, G. C. a Dubayah, R. O., 2014: An efficient, multi-layered crown delineation algorithm for mapping individual tree structure across multiple ecosystems. Remote Sensing of Environment, 154, 378 – 386.
- Egington, K., 2020: AR.JS: A guide to developing an augmented reality web app. 3 SIDED CUBE. <https://3sidedcube.com/ar-js-a-guide-to-developing-an-augmented-reality-web-app/> (cit. 2020-08-08).
- Espressif, 2020: <http://espressif.com/> (cit. 2020-06-18).
- ESRI, 2020: Dev Summit 2019 Presentations: Interactive 3D Maps with the ArcGIS API for JavaScript<sup>™</sup> GitHub. <https://github.com/Esri/devsummit-2019-3D-jsapi> (cit. 2020-02-13).
- European Commission, 2020: Infrastructure for spatial information in Europe. <https://inspire.ec.europa.eu/> (cit. 2020-10-24).
- Fabio, 2010: My first 6 DOF IMU Sensors Fusion Implementation: ADXL345, ITG3200, Arduino and Processing. Varesano.net. <http://www.varesano.net/blog/fabio/my-first-6-dof-imu-sensors-fusion-implementation-adxl345-itg3200-arduino-and-processing> (cit. 2020-08-08).
- Fabrika, M., 2019: Ako sa zobrazujú stromy a les v rastovom simulátore SIBYLA. <http://etools.tuzvo.sk/sibyla/slovensky/model3D.htm> (cit. 2019-06-22).
- Farkaš, J. a Saniga, M., 2015: Pestovanie dubových porastov (poznatky versus praktické skúsenosti). Príručka pre vlastníkov lesov, 1 – 61.
- Fernandes, S., 2018: Raspberry Pi 3 Cookbook for Python Programmers. Birmingham, Packt Publishing.
- Ferraz, A. et al., 2012: 3-D mapping of a multi-layered Mediterranean forest using ALS data. Remote Sensing of Environment, 121, 210 – 223.
- Fielding, R., 2000: Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures. Dizertačná práca. Manuskript. Irvine, University of California.
- Field-Map, 2018: <https://fieldmap.cz/?verze=cz> (cit. 2019-08-21).
- Fraštia, M., 2013: Fotogrametria v mapovaní, stavebníctve, urbanizme a priemysle. Zborník referátov ku kvalifikačnej skúške z inžinierskej geodézie. Slovenská republika, 16, 1 – 16.
- Fuller, A., 2013: Arduino laser distance meter: Uni-T UT390B. [blog.qartis.com. http://blog.qartis.com/arduino-laser-distance-meter/](http://blog.qartis.com/arduino-laser-distance-meter/) (cit. 2020-08-09).
- Gála, L., Pour, J. a Toman, P., 2006: Podniková informatika: počítačové aplikácie v podnikovej a mezipodnikovej praxi, technológie informačných systémů, řízení a rozvoj podnikové informatiky. 1. vyd. Praha, Grada, 240 s.
- Galeazzi, F., Callieri, M., Dellepiane, M., Charno, M., Richards, J. a Scopigno, R., 2016: Web-based visualization for 3D data in archaeology: The ADS 3D viewer. Journal of Archaeological Science: Reports, 9, 1 – 11.
- Garcia, P. C., 2014: How to make tiled grounds in BabylonJS: This topic explains how to make a grid of tiled textures, like a chess board or a map. Makina Corpus. <https://makina-corpus.com/blog/metier/2014/how-to-use-multimaterials-with-a-tiled-ground-in-babylonjs> (cit. 2018-04-08).
- Gay, W., 2015: Exploring the Raspberry Pi 2 with C++. 1. apress.
- GBA, 2019: Geologisches 3D Modell Wien. <https://gisgba.geologie.ac.at/3dviewer/> (cit. 2019-11-21).
- GeoSciML, 2017: OGC Geoscience Markup Language (GeoSciML). Open Geospatial Consortium. <https://www.ogc.org/standards/geosciml> (cit. 2020-08-09).
- Ghayour, F. a Cantor, D., 2018: Real-Time 3D Graphics with WebGL 2. 2. Birmingham, Packt Publishing.
- Gizlenmistir, Y., 2018: Production of airborne laser scanner skilled advanced unmanned air vehicle and the potential of preliminary data. 2018 26th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU). IEEE, 1 – 4.
- Gousset, M., 2010: Řízení životního cyklu aplikací ve Visual Studiu 2010. 1. vyd. Brno, Zoner Press, 672 s.
- Hao, M. et al., 2019: 3D geological modeling and visualization of above-ground and underground integration – taking the Unicorn Island in Tianfu new area as an example. Earth Science Informatics, 12, 4, 465 – 474.
- Hauglin, M., Dibdiakova, J., Gobakken, T. a Næsset, E., 2013: Estimating single-tree branch biomass of Norway spruce by airborne laser scanning. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 79, 147 – 156.
- Herman, L. a Řezník, T., 2015: 3D web visualization of environmental information – integration of heterogeneous data sources when providing navigation and interaction. ISPRS – International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XL-3/W3, 479 – 485.
- Herman, L., 2018: User Issues of Interactive 3D Geovisualizations. Disertační práce. Manuskript. Brno, Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta.
- Herman, L., Russnák, J., Stuchlík, R. a Hladík, J., 2018: Visualization of Traffic Offences in the City of Brno (Czech Republic): Achieving 3D Thematic Cartography through Open Source and Open Data. Useful Geography: Transfer from Research to Practice. Proceedings of 25th Central European Conference. Brno, Masaryk University, 270 – 280.
- Herzig, P., Englert, M., Wagner, S., Jung, Y. a Bockholt, U., 2013: X3D-EarthBrowser. Proceedings of the 18th International Conference on 3D Web Technology – Web3D '13. New York, ACM Press, 139 – 142.
- Hewlett-Packard 95LX, 2020: Steve's Old Computer Museum. <http://oldcomputers.net/hp95lx.html> (cit. 2020-06-18).
- Hořčica, A. a Suk, V., 2015: ESP8266: Wi-Fi modul za \$3.
- Huang, J., Huang, R., Ju, N., Xu, Q. a He, Ch., 2015: 3D WebGIS-based platform for debris flow early warning: A case study. Engineering Geology, 197, 57 – 66.
- Hughes, J. M., 2016: Arduino: A Technical Reference: A Handbook for Technicians, Engineers, and Makers. 1. Sebastopol, CA, O'Reilly Media.
- Hunter, J., Brooking, Ch., Reading, L. a Vink, S., 2014: A Web-based system enabling the integration, analysis, and 3D sub-surface visualization of groundwater monitoring data and geological models. International Journal of Digital Earth, 9, 2, 197 – 214.
- Hyypä, E. et al., 2020: Accurate derivation of stem curve and volume using backpack mobile laser scanning. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 161, 246 – 262.

- Chan, A.-L., Tan, S.-L. a Kwek, Ch.-L., 2011: Sensor data fusion for attitude stabilization in a low cost Quadrotor system. 2011 IEEE 15th International Symposium on Consumer Electronics (ISCE). IEEE, 34 – 39.
- Chen, W., He, B., Zhang, L. a Nover, D., 2016: Developing an integrated 2D and 3D WebGIS-based platform for effective landslide hazard management. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 20, 26 – 38.
- ICP Forests, 2020: ICP Forests. <http://icp-forests.net/> (cit. 2020-10-25).
- IndoorGML, 2018: OGC Standard for Indoor Spatial Information. <http://www.indoorgml.net/> (cit. 2020-08-09).
- Inglot, A. a Tysiac, P., 2017: Airborne Laser Scanning Point Cloud Update by Used of the Terrestrial Laser Scanning and the Low-Level Aerial Photogrammetry. 2017 Baltic Geodetic Congress (BGC Geomatics). IEEE, 34 – 38.
- Ivanov, R., Pajic, M. a Lee, I., 2014: Resilient multidimensional sensor fusion using measurement history. *Proceedings of the 3rd international conference on High confidence networked systems – HiCoNS '14*. New York, ACM Press, 1 – 10.
- Jarna, A. et al., 2016: Managing geological profiles in databases for 3D visualisation. *ISPRS – International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W2, 115 – 121.
- Kessler, H., Mathers, S. a Sobisch, H.-G., 2009: The capture and dissemination of integrated 3D geospatial knowledge at the British Geological Survey using GSI3D software and methodology. *Computers & Geosciences*, 35, 6, 1 311 – 1 321.
- Kim, K., Kang, S. a Lee, K., 2013: Mobile 3D fusion application based on HTML5 WEBGL. 2013 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium – IGARSS. IEEE, 1 700 – 1 702.
- KML, 2015: <https://www.ogc.org/standards/kml/> (cit. 2018-08-21).
- Kmoch, A. a Klug, H., 2014: Visualization of 3D Hydrogeological Data in the Web. *GI\_Forum 2014 – Geospatial Innovation for Society*. Vienna, Austrian Academy of Sciences Press, 16 – 24.
- Kolban, N., 2016: leanpub, Kolban's Book on the ESP8266.
- Kolban, N., 2017: Kolban's Book on ESP32, 1.
- Kotulová, J. et al., 2010: Hornonitrianska kotlina – trojrozmerné geologické modelovanie exponovaného územia. Záverečná správa. Manuskript. Bratislava, archív Štátny geologický ústav Dionýza Štúra.
- Kraval, I., 2010: Analytické modelování informačních systémů pomocí UML v praxi. 1. vyd. Lipina, Object Consulting.
- Kraval, I., 2002: Design Patterns v OOP. 1. vyd. Lipina, Object Consulting.
- Kuttappa, A., 2017: Using 3D models with AR.js and A-Frame: Use glTF 2.0, OBJ and other models in your AR Projects. Medium. <https://medium.com/@akashkuttappa/using-3d-models-with-ar-js-and-a-frame-84d462efe498> (cit. 2020-08-08).
- Langbridge, J. A., 2015: *Arduino™ Sketches: Tools and Techniques for Programming Wizardry*. 1. vyd. Indianapolis, John Wiley.
- Lark, R. M., Mathers, S. J., Thorpe, S., Arkley, S. L. B., Morgan, D. J. a Lawrence, D. J. D., 2013: A statistical assessment of the uncertainty in a 3-D geological framework model. *Proceedings of the Geologists' Association*, 124, 6, 946 – 958.
- Leaflet, 2018: An open-source JavaScript library for mobile-friendly interactive maps. <https://leafletjs.com/> (cit. 2018-06-26).
- Lever, N., 2019: *Hands-on Three.js 3D Web Visualisations*. 1. vyd. Birmingham, Packt Publishing.
- Li, X. a Zhu, H., 2013: Development of a web-based information system for shield tunnel construction projects. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 37, 146 – 156.
- Li, Y., Guo, Q. a Su, Y., 2018: Retrieving the Leaf area Index of Individual Trees and Stands using Single-Scan Data From a Terrestrial Laser Scanner. *IGARSS 2018 – 2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. IEEE, 7 536 – 7 539.
- Liang, X. et al., 2015: Forest Data Collection Using Terrestrial Image-Based Point Clouds From a Handheld Camera Compared to Terrestrial and Personal Laser Scanning. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 53, 9, 5 117 – 5 132.
- Liang, X. et al., 2016: Terrestrial laser scanning in forest inventories. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 115, 63 – 77.
- LightWare, 2020: <https://lightwarelidar.com/> (cit. 2020-04-10).
- Liu, J. et al., Automated matching of multiple terrestrial laser scans for stem mapping without the use of artificial references. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 56, 13 – 23.
- Liu, L., Lim, S., Shen, X. a Yebra, M., 2019: A hybrid method for segmenting individual trees from airborne lidar data. *Computers and Electronics in Agriculture*, 163.
- Luebke, D., Reddy, M. a Cohen, J. D., 2003: Level of detail for 3D graphics. 1. vyd. Boston, Morgan Kaufmann.
- Madgwick, S. O., 2010: An efficient orientation filter for inertial and inertial / magnetic sensor arrays.
- Mahony, R., Hamel, T. a Pfimlin, J.-M., 2005: Complementary filter design on the special orthogonal group SO(3). *Proceedings of the 44th IEEE Conference on Decision and Control*. IEEE, 1 477 – 1 484.
- Mao, L. a Sheng, L., 2010: Multi-sensor information fusion extended Kalman particle filter. 2010 2nd International Conference on Advanced Computer Control. IEEE, 417 – 419.
- Mapbox, 2018: <https://www.mapbox.com/> (cit. 2018-06-26).
- Marzulli, M. I., Raunonen, P., Greco, R., Persia, M. a Tartarino, P., 2020: Estimating tree stem diameters and volume from smartphone photogrammetric point clouds. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 93, 3, 411 – 429.
- Mateo Lázaro, J., Sánchez Navarro, J. Á., García Gil, A. a Edo Romero, V., 2014: 3D-geological structures with digital elevation models using GPU programming. *Computers & Geosciences*, 70, 138 – 146.
- Maurer, T. et al., 2020: LERC – Limited Error Raster Compression. GitHub. <https://github.com/Esri/lerc> (cit. 2020-08-09).
- MDN, 2020: The WebSocket API. MDN Web Docs. [https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/WebSockets\\_API](https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/WebSockets_API) (cit. 2020-10-01).
- Mongus, D. a Žalik, B., 2015: An efficient approach to 3D single tree-crown delineation in LiDAR data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 108, 219 – 233.
- Müller, R. D. et al., 2016: The GPlates Portal: Cloud-Based Interactive 3D Visualization of Global Geophysical and Geological Data in a Web Browser. *Plos One*, 11, 3.

- Muzik, J., Vondráčková, T., Sitányiová, D., Plachý, J. a Nývlt, V., 2015: Creation of 3D Geological Models Using Interpolation Methods for Numerical Modelling. *Procedia Earth and Planetary Science*, 15, 25 – 30.
- netCDF, 2011: OGC network Common Data Form (netCDF) standards suite. Open Geospatial Consortium. <https://www.ogc.org/standards/netcdf> (cit. 2020-08-09).
- Nolde, M., Schwanebeck, M., Dethlefsen, F., Duttmann, R. a Dahmke, A., 2016: Utilization of a 3D webGIS to support spatial planning regarding underground energy storage in the context of the German energy system transition at the example of the federal state of Schleswig-Holstein. *Environmental Earth Sciences*, 75, 18.
- nRF52 DK, 2020: <https://www.nordicsemi.com/Software-and-Tools/Development-Kits/nRF52-DK> (cit. 2020-06-19).
- Odroid, 2020: <http://www.hardkernel.com/> (cit. 2020-06-18).
- OGC, 2019: OGC adopts 3D Tiles as Community Standard. OGC (cit. 2019-09-21).
- Open Geospatial Consortium (OGC), 2020: <https://www.ogc.org/> (cit. 2020-08-19).
- Parisi, T., 2014: *Programming 3D Applications with HTML5 and WebGL*. Sebastopol, CA, O'Reilly Media.
- Pascu, I.-S., Dobre, A.-C., Badea, O. a Tănase, M. A., 2019: Estimating forest stand structure attributes from terrestrial laser scans. *Science of The Total Environment*, 691, 205 – 215.
- Piermattei, L. et al., 2019: Terrestrial Structure from Motion Photogrammetry for Deriving Forest Inventory Data. *Remote Sensing*, 11, 8.
- Polewski, P., Yao, W., Heurich, M., Krzystek, P. a Stilla, U., 2018: Learning a constrained conditional random field for enhanced segmentation of fallen trees in ALS point clouds. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 140, 33 – 44.
- PouchDB, 2020: <https://pouchdb.com/> (cit. 2020-06-11).
- pycom, 2020: <https://pycom.io/> (cit. 2020-06-19).
- Rada EÚ, 2019: Interoperabilita medzi informačnými systémami EÚ: Rada prijala nariadenia. Európska rada – Rada Európskej únie. <https://www.consilium.europa.eu/sk/press/press-releases/2019/05/14/interoperability-between-eu-information-systems-council-adopts-regulations/> (cit. 2019-10-02).
- Rao, M., 2018: *Internet of Things with Raspberry Pi 3*. Birmingham, Packt Publishing.
- Raspberry Pi, 2020: <https://www.raspberrypi.org> (cit. 2020-08-22).
- rfc 8259, 2017: The JavaScript Object Notation (JSON) Data Interchange Format. <https://tools.ietf.org/html/rfc8259> (cit. 2018-06-15).
- Riško, L., 2011: *Pravdepodobnostná robotika v lokalizácii, mapovaní a plánovaní*. Diplomová práca. Manuskript. Bratislava, Univerzita Komenského v Bratislave, Fakulta matematiky, fyziky a informatiky.
- Rourke, M., 2018: *Learn WebAssembly*. Birmingham, Packt Publishing.
- Rusnák, M. a Kidová, A., 2018: Využitie UAV technológie pre klasifikáciu a mapovanie krajiny vo fluvialnej geomorfológii. *Geografický časopis*, 70, 2, 141 – 160.
- Saarinen, N. et al., 2017: Feasibility of Terrestrial laser scanning for collecting stem volume information from single trees. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 123, 140 – 158.
- Sačkov, I., Hlásny, T., Bucha, T. a Juriš, M., 2017: Integration of tree allometry rules to treetops detection and tree crowns delineation using airborne lidar data. *iForest – Biogeosciences and Forestry*, 10, 2, 458 – 467.
- Sauble, D., 2015: *Offline First Web Development*. Birmingham, Packt Publishing.
- Scianna, A., 2013: Building 3D GIS data models using open source software. *Applied Geomatics*, 5, 2, 119 – 132.
- Seidel, D., Ehbrecht, M., Annighöfer, P. a Ammer, Ch., 2019: From tree to stand-level structural complexity – Which properties make a forest stand complex? *Agricultural and Forest Meteorology*, 278.
- Shuli, S., 2003: Multi-sensor optimal information fusion Kalman filter for discrete multichannel ARMA signals. *Proceedings of the 2003 IEEE International Symposium on Intelligent Control ISIC-03, IEEE*, 377 – 382.
- Schlumberger, 2020: <https://www.software.slb.com/> (cit. 2020-04-14).
- Shokker, J., Bakker, M. A. J., Dubelaar, C. W., Dambrink, R. M. a Harting, R., 2015: 3D subsurface modelling reveals the shallow geology of Amsterdam. *Netherlands Journal of Geosciences – Geologie en Mijnbouw*, 94, 4, 399 – 417.
- Schonberger, J. L. a Frahm, J.-M., 2016: Structure-from-Motion Revisited. *2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), IEEE*, 4 104 – 4 113.
- Schwartz, M. a Buttigieg, S., 2014: *Arduino Android Blueprints*. Birmingham, Packt Publishing.
- Singh, H. a Garg, R. D., 2016: Web 3D GIS Application for Flood Simulation and Querying Through Open Source Technology. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 44, 4, 485 – 494.
- Skyline, 2016: *Software Systems, Inc.* <https://www.skylinesoft.com/> (cit. 2017-05-11).
- Stachoň, Z., Kubicek, P., Krejčí, M. a Herman, L., 2018: The Role of Hue and Realism in Virtual Reality. *Proceedings, 7th International Conference on Cartography and GIS*. Sofia, Bulgarian Cartographic Association, 932 – 941.
- Strimbu, V. F. a Strimbu, B. M., 2015: A graph-based segmentation algorithm for tree crown extraction using airborne LiDAR data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 104, 30 – 43.
- Sullivan, F. B., Ducey, M. J., Orwig, D. A., Cook, B. a Palace, M. W., 2017: Comparison of lidar- and allometry-derived canopy height models in an eastern deciduous forest. *Forest Ecology and Management*, 406, 83 – 94.
- Sun, Y., Ding, N., Hao, G. a Shi, X., 2009: The Research and Application of 2D and 3D Interactive System. *2009 Second International Conference on Information and Computing Science, IEEE*, 252 – 254.
- Taheriazad, L., Moghadas, H. a Sanchez-Azofeifa, A., 2019: Calculation of leaf area index in a Canadian boreal forest using adaptive voxelization and terrestrial LiDAR. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 83.
- Teensy, 2020: *USB Development Board*. <https://www.pjrc.com/teensy/> (cit. 2020-06-19).
- TerriaJS. GitHub, 2018: <https://github.com/TerriaJS/terriajs> (cit. 2018-03-05).

- The Khronos Group, 2019: <https://www.khronos.org/> (cit. 2019-06-20).
- three.js, 2018: <https://threejs.org/> (cit. 2018-06-26).
- Triantafyllou, A., Watlet, A. a Bastin, Ch., 2017: Geolokit: An interactive tool for visualising and exploring geoscientific data in Google Earth. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 62, 39 – 46.
- Tuček, J., 1998: Geografické informační systémy – Principy a praxe. Brno, Computer Press.
- Tzivaras, V., 2017: Raspberry Pi Zero W Wireless Projects. Birmingham, Packt Publishing.
- Valent, P. a Fabrika, M., 2015: 3D virtuálna jaskyňa. <http://etools.tuzvo.sk/cave/index.html> (cit. 2019-07-22).
- Vastaranta, M., Kankare, V., Holopainen, M., Yu, X., Hyypä, J. a Hyypä, H., 2012: Combination of individual tree detection and area-based approach in imputation of forest variables using airborne laser data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 67, 73 – 79.
- Vatandaşlar, C. a Zeybek, M., 2020: Application of handheld laser scanning technology for forest inventory purposes in the NE Turkey. *Turkish Journal of agriculture and forestry*, 44, 3, 229 – 242.
- Viafore, P., 2020: Hands-On WebAssembly for C++ Programmers. Birmingham, Packt Publishing.
- VoCore, 2020: <https://vocore.io/> (cit. 2020-06-19).
- Voda, Z., 2015: Průvodce světem arduina. HW Kitchen.
- Waher, P., Seneviratne, P., Russell, B. a Duren, D., 2016: IoT: Building Arduino-Based Projects. Birmingham, Packt Publishing.
- Wang, H., Chen, X., Polys, N. a Sforza, P., 2017: A Web3D forest geo-visualization and user interface evaluation. *Proceedings of the 22nd International Conference on 3D Web Technology – Web3D '17*. New York, ACM Press, 1 – 9.
- Wang, J., Xu, L., Li, X. a Quan, Z., 2012: Quantitative Evaluation of Impacts of Random Errors on ALS Accuracy Using Multiple Linear Regression Method. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 61, 8, 2 242 – 2 252.
- Wang, S., Li, W. a Wang, F., 2017: Web-Scale Multidimensional Visualization of Big Spatial Data to Support Earth Sciences – A Case Study with Visualizing Climate Simulation Data. *Informatics*, 4, 3, 1 – 17.
- Wang, X., Rottensteiner, F. a Heipke, Ch., 2019: Structure from motion for ordered and unordered image sets based on random k-d forests and global pose estimation. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 147, 19 – 41.
- Wang, Z., Qu, H., Wu, Z. a Wang, X., 2018: Geo3DML: A standard-based exchange format for 3D geological models. *Computers & Geosciences*, 110, 54 – 64.
- WebGL, 2020: OpenGL ES for the Web. Khronos Group. <https://www.khronos.org/webgl/> (cit. 2020-08-20).
- WebXR, 2020: Device API. <https://www.w3.org/TR/webxr/> (cit. 2020-09-13).
- Welch, G. a Bishop, G., 2006: An Introduction to the Kalman Filter. *Proc. Siggraph Course*, 8.
- Wilkes, P. et al., 2017: Data acquisition considerations for Terrestrial Laser Scanning of forest plots. *Remote Sensing of Environment*, 196, 140 – 153.
- Wu, J. W., Quan, J. Ch., Zhao, X. Y., Liu, Y. a Wang, H. W., 2012: Web Roaming of 3D Taiwan Island Based on Skyline Prototype System. *Applied Mechanics and Materials*, 190 – 191, 237 – 240.
- Wünsche, B., 1998: A Survey and Evaluation of Mesh Reduction Techniques. 1 – 6.
- Yang, B., Zang, Y., Dong, Z. a Huang, R., 2015: An automated method to register airborne and terrestrial laser scanning point clouds. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 109, 62 – 76.
- Yang, L., Hyde, D., Grujic, O., Scheidt, C. a Caers, J., 2019: Assessing and visualizing uncertainty of 3D geological surfaces using level sets with stochastic motion. *Computers & Geosciences*, 122, 54 – 67.
- Yurtseven, H., Akgul, M., Coban, S. a Gulci, S., 2019: Determination and accuracy analysis of individual tree crown parameters using UAV based imagery and OBIA techniques. *Measurement*, 145, 651 – 664.
- Zhang, L., Tamminedi, T., Ganguli, A., Yosiphon G. a Yadegar, J., 2010: Hierarchical multiple sensor fusion using structurally learned Bayesian network. *Wireless Health 2010 on – WH '10*. New York, ACM Press, 174 – 183.
- Zhang, R., Li, G., Li, M. a Wang, L., 2018: Fusion of images and point clouds for the semantic segmentation of large-scale 3D scenes based on deep learning. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 143, 85 – 96.
- Zhang, W., Chen, Y., Wang, H., Chen, M., Wang, X. a Yan, G., 2016: Efficient registration of terrestrial LiDAR scans using a coarse-to-fine strategy for forestry applications. *Agricultural and Forest Meteorology*, 225, 8 – 23.
- Zhou, F. a Guan, Z., 2016: Uncertainty in estimation of coalbed methane resources by geological modelling. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 33, 988 – 1 001.
- Zhou, Y., Dao, T. H. D., Thill, J.-C. a Delmelle, E., 2015: Enhanced 3D visualization techniques in support of indoor location planning. *Computers, Environment and Urban Systems*, 50, 15 – 29.
- Zhu, X., Liu, J., Skidmore, A. K., Premier, J. a Heurich, M., 2020: A voxel matching method for effective leaf area index estimation in temperate deciduous forests from leaf-on and leaf-off airborne LiDAR data. *Remote Sensing of Environment*, 240.
- Zlocha, M., Vizi, L., Cibula, R., Nagy, A., Fričovská, J. a Surový, M., 2020: 3D geologická mapa Slovenskej republiky v mierke 1 : 500 000. Záverečná správa. Manuskript. Bratislava, archív Štátny geologický ústav Dionýza Štúra.

Rukopis doručený: 25. 2. 2026  
 Revidovaná verzia doručená: 5. 3. 2026  
 Rukopis akceptovaný redakčnou radou: 26. 5. 2026

## POKYNY PRE AUTOROV

Manuskript článku je potrebné zaslať elektronicky na e-mailovú adresu vedeckého redaktora (ondrej.pelech@geology.sk).

Odporúčaný rozsah manuskriptu je max. 50 strán vrátane literatúry, obrázkov a popisov k obrázkom. Publikovanie prác väčšieho rozsahu je možné iba po schválení redakčnou radou časopisu. Články sa uverejňujú v slovenskom jazyku. Abstrakt a skrátené znenie článku (resumé, resp. *summary*) sú v anglickom jazyku (britská alebo americká angličtina).

### Text

Úpravu textu spolu so zoznamom literatúry prispôbiť týmto pokynom. Manuskript nespĺňajúci tieto pokyny bude vrátený autorovi.

Text písať fontom Times (napr. Times New Roman) s veľkosťou 12 bodov (medziriadková medzera 1,5) na stranu formátu A4. Strany je potrebné číslovať.

Manuskript pred prvou recenziou zaslať vedeckému redaktorovi vo formáte .pdf spolu s obrázkami v texte a priebežným číslovaním riadkov. Po recenzii zaslať opravený text vo formáte .doc bez obrázkov. Jasne označené súbory obrázkov v príslušnom formáte zaslať zvlášť. V texte vyznačiť finálne umiestnenie obrázkov.

Text manuskriptu musí byť logicky členený. Odporúčané členenie manuskriptu: 1. názov článku v slovenskom a anglickom jazyku; 2. meno a priezvisko autora (autorov); 3. adresa (obvyčajne adresa pracoviska) a e-mailová adresa; 4. abstrakt v slovenskom a anglickom jazyku; 5. kľúčové slová v slovenskom a anglickom jazyku; 6. úvod; 7. hlavný text (jadro) článku; 8. záver; 9. poďakovanie; 10. použitá literatúra; 11. *summary* – anglické resumé (nepovinné); 12. prílohy (nepovinné); 13. popisy tabuliek a obrázkov v slovenskom a anglickom jazyku; 14. tabuľky; 15. obrázky.

Názov článku musí byť podľa možnosti stručný, zrozumiteľný a výstižný.

Abstrakt (v slovenskom aj anglickom jazyku) obsahuje hlavné výsledky práce, neobsahuje citácie. Rozsah abstraktu nemá byť väčší ako 400 slov a nemá byť členený na odseky. Za abstrakt pripočítaj 4 – 6 kľúčových slov, ktoré je vhodné uviesť od všeobecných ku konkrétnejším.

V úvode jasne uviesť cieľ článku a charakteristiku skúmaného problému. Úvod môže obsahovať prehľad predchádzajúcich výskumov, opis geológie skúmaného územia a pod. Tie môžu alternatívne tvoriť samostatné kapitoly.

Hlavný text obsahuje metodiku práce a materiál. Výsledky majú obsahovať faktografické údaje. Zreteľne odlíšiť východiskové údaje od interpretácií. V texte neopakovať údaje z tabuliek a obrázkov, ale sa na ne len odvolať. Ako pomôcku na typologické zatriedenie môže autor členiť kapitoly a podkapitoly podľa hierarchie, a to číslicami 1, 2, 3 a na ďalšie úrovne (napr. 2.1, 2.2), maximálne však do 3. úrovne.

### Správy

Časopis akceptuje aj krátke správy o výskumoch obsahujúce dôležité nové informácie, pri ktorých je žiaduce neodkladné zverejnenie. Správy majú zjednodušenú štruktúru (abstrakt, kľúčové slová, hlavný text nemusí byť členený na kapitoly, literatúra) a sú rovnako recenzované. Musia obsahovať lokalizáciu skúmaného územia či lokality (lokalizáciu GPS a/alebo mapu).

### Ilustrácie a tabuľky

Časopis umožňuje publikovať farebné ilustrácie. Publikovanie farebných ilustrácií môže byť spoplatnené. Obrazové predlohy dodávať spolu s textom článku vo vektorovom formáte .ai, .cdr alebo .pdf, prípadne ako rastrovú grafiku vo formáte .jpg alebo .tif, vo verzii na tlač s rozlíšením najmenej 600 dpi.

Veľkosť textu v ilustráciách by mala byť medzi 7 a 12 bodmi a minimálna hrúbka línií 0,5 pt. Veľkosť ilustrácií a tabuliek je obmedzená formátom časopisu (Š x V = 170 x 250 mm – do dvoch stĺpcov, Š = 82 mm – do jedného stĺpca). Ak sa ilustrácie budú zmenšovať alebo zväčšovať, na origináloch prispôbiť veľkosť písma a hrúbku čiar a šrafovaní. Prílohy väčšie ako for-

mát A4 (skladačky) treba podľa možnosti vylúčiť alebo rozdeliť na viac strán.

Každá ilustrácia (graf, mapa, tabuľka, fotografia) a príloha musí byť v texte citovaná. Mapy musia obsahovať grafickú mierku, označenie severu a legendu. Fotografie výbrusov a snímky z elektronového mikroskopu musia mať grafickú mierku.

Tabuľky dodať v samostatnom súbore (formát .xls) a zoradiť v takom poradí, ako sú citované v texte. Tabuľky väčšie ako formát 170 x 250 mm budú prijaté iba v ojedinelých prípadoch po schválení redakciou.

### Citovanie a literatúra

Citácie v texte uvádzať vo forme napr. (Ondrus, 2022) alebo podľa Ondrusa (2022), pri 2 autoroch (Kullmanová a Gašpariková, 1982), v prípade 3 a viac spoluautorov vo forme (Bezák et al., 1998). V zozname literatúry uvádzať všetkých spoluautorov citovanej práce. Citovanie materiálov (napr. „*in prep.*“ a „*in press*“), ktoré ešte nie sú akceptované na publikovanie, nie je možné. Viaceré publikácie toho istého autora z toho istého roku sa odlišujú napr. Plašienka (1995a), Plašienka (1995b). Prepis názvov z iných grafických sústav, napr. z cyriliky, sa riadi *Pravidlami slovenského pravopisu*. Pri špeciálnych prípadoch problematický bibliografický odkaz zvýrazniť, o spôsobe jeho uvedenia rozhodne redakcia.

Príklady typov použitej literatúry:

#### Mapa

Nemčok, J. (ed.), Bezák, V., Biely, A., Gorek, A., Gross, P., Halouzka, R., Janák, M., Kahan, Š., Kotaňski, Z., Lefeld, J., Mello, J., Reichwalder, P., Rackowski, W., Roniewicz, P., Ryka, W., Wiczorek, J. a Zelman, J., 1994: Geologická mapa Tatier 1 : 50 000. Bratislava, Geol. Úst. D. Štúra.

#### Monografia, vysvetlivky ku geologickej mape

Fusán, O., Biely, A., Ibrmajer, J., Plančár, J. a Rozložník, L., 1987: Podložie terciéru Vnútrotných Západných Karpát. Bratislava, Geol. Úst. D. Štúra, 123 s.

#### Kapitola v monografii, príspevok v zborníku

Bezák, V., Jacko, S., Ledru, P. a Siman, P., 1998: Hercynian development of the Western Carpathians. In: Rakús, M. (ed.): Geodynamic development of the Western Carpathians. Bratislava, Geol. Surv. Slovak Republic, 27 – 34.

#### Článok v periodických publikáciách

Ondrus, P., 2022: Zhodnotenie dlhodobého monitorovania svahových deformácií a efektívnosti sanačných opatrení na zosuvnom území Nižná Myšľa. Geologické práce, Správy, 138, 55 – 94. <https://doi.org/10.56623/gps.138.3>.

Hraško, L., Németh, Z. a Konečný, P., 2024: Variscan lithotectonic units in the Suchý massif of the Strážovské vrchy Mts, Western Carpathians – products of sedimentary, tectonometamorphic and granite forming processes. Mineralia Slovaca, 56, 1, 3 – 50. <https://doi.org/10.56623/ms.2024.56.1.1>.

#### Manuskript, technická správa, dizertácia, diplomová práca a pod.

Šimon, L., Konečný, V., Dublan, L., Lexa, J., Polák, M., Halouzka, R., Köhlerová, M., Vozár, J. a Vozárová, A., 1996: Vysvetlivky ku geologickým mapám 1 : 25 000 listov: 35-424 Veľké Pole – časť, 35-442 Nová Baňa – časť. Manuskript. Bratislava, archív Št. Geol. Úst. D. Štúra (arch. č. 83 313), 34 s.

Jablonský, J., 1986: Sedimentologické štúdium porubského súvrstvia (alb – cenoman) tatrika a zliechovskej sekvencie. Kandidátska dizertačná práca. Manuskript. Bratislava, archív Katedry geol. a paleont., PriF UK, 210 s.

#### Právne podmienky a vedecká etika

Autori zodpovedajú za pravdivosť a pôvodnosť údajov predkladaného manuskriptu. Odoslaním manuskriptu do redakcie sa autor(i) zaväzujú, že manuskript je ich vlastným dielom, dodržiava základné etické princípy, neobsahuje klamlivé alebo falošné údaje a celý nebol ani nebude publikovaný inde ani v cudzom jazyku.



## OBSAH

*Cibula, R.*

**Vývoj informačného systému na vizualizáciu 3D modelov  
a vývoj prototypu na meranie 3D objektov**

Development of an information system for visualization of 3D models  
and development of a prototype for measuring 3D objects

Indexované / abstraktované / sprístupňované databázou EBSCO