

## MOŽNOSTI 3D VIZUALIZACE GEORADAROVÝCH DAT V SW. VOXLER

František KUDA<sup>1,2)\*</sup>, František HUBATKA<sup>3)</sup>

<sup>1</sup> Faculty of Science Masaryk University, Department of Geography, Kotlářská 2, Brno, 611 37, Czech Republic.

<sup>2</sup> Faculty of Science Masaryk University, Department of Geography, Kotlářská 2, Brno, 611 37, Czech Republic.

<sup>3</sup> KolejConsult & Service, spol. s r.o., Krenova 35, Brno, 602 00, Czech Republic.

\* frantisek.kuda@mail.muni.cz

### ABSTRACT

Presented paper is focused on the 3D visualisation of GPR data in Voxler 2 software. Visualisation itself is created for (i) the original source data (scatter plot), (ii) for their 3D interpolation (volume rendering, etc.), (iii) for the classic raster images (radargram, time slices) including the visualisation of georeferenced images in horizontal layout or their angular transformation up to the vertical profile layout.

Real field data is used to document the advantages of the of 3D graphical presentation for identification of sub-surface anomalies. Source data was processed using Reflex-Win 6 software package and EKKO-Mapper 4.

**KEYWORDS:** Ground Penetrating Radar, GPR, Voxler, 3D Visualisation, image angular transformation

### ÚVOD

Georadar (GPR) patří v současnosti k standardním metodám geofyzikálního průzkumu. Variabilita při sestavování GPR aparatury (výběr frekvence antén, jejich prostorová konfigurace u bistatických modelů) a nastavení parametrů měření (vzdálenost vysílací a přijímací antény, krok měření, vzájemné uspořádání profilů) umožňují řešit množství úkolů z různých oborů. Charakter úkolu řídí obměny terénní metodiky, na které mohou navazovat velmi si podobné postupy zpracování dat. Bez ohledu na frekvenci antén a další nastavení je při vyhodnocování GPR dat klíčová správná vizualizace numericky kvalitně upravených záznamů.

Georadarový průzkum na rozsáhlých stavebních dílech často vyžaduje pokrýt lokální prostory hustou sítí měření (desítky až stovka profilů) a následně vytvořit syntézu těchto dílčích ploch do celkového pohledu. Už v případě změřených např. 40 profilů (tj. 4 lokální místa s pravouhloú sítí 5x5 profilů) je klasická interpretace 2D radargramů (hloubkových řezů) časově náročná a obtížně vizuálně přehledná, což může vést k opomenutí některé podpovrchové vazby. Řešení uvedené situace může představovat 3D vizualizace, která upozorní na propojení anomálních míst napříč daty a určí tak polohy pro detailní analýzy radargramů. Tuto skutečnost si uvědomují všichni přední výrobci georadaru a do softwarů řídicích jednotek GPR implementují funkce pro přímý sběr dat ke 3D zpracování a zároveň nabízejí počítačové programy pro vyhodnocování v 3D prostředí (např. extenze *3D QuickDraw* sw. *RADAN* dodávaná ke georadarům americké firmy *Geophysical Survey Systems, Inc.*). Ovšem kvůli převážné orientaci GPR softwarů na numerické funkce (filtrace signálu aj.) jsou 3D produkty úzce svázané s daty pořízenými přístrojem konkrétního výrobce a velmi omezeně umožňují vstup běžných geodat (plány, virtuální modely prostředí aj.). Kompenzací tohoto nedostatku je snaha o podporu exportních formátů jako je \*.HDF ze sw. *EKKO-Mapper* kanadské firmy *Sensor&Software, Inc.* nebo ASCII/COLUMNS ze sw. *Reflex-Win* produkovaným K. J. Sandmeierem, které jsou čitelné v GIS/CAD programech typu *ArcGIS Desktop* – *ArcScene* nebo *Voxler*.

Program *Voxler* patří do skupiny geograficky orientovaných softwarů od firmy *Golden Software, Inc.* a je určen pro 3D modelování a vizualizaci. Snaha o univerzálnost programu je prezentována možností nahrát do *Voxleru* (verze 2) celkově 66 vstupních datových formátů. Mimo běžně rozšířené rastrové i vektorové formáty (\*.GRD, \*.TIF, \*.DXF, \*.SHP aj.) představuje prostý text souřadnic a hodnot (\*.CSV; \*.XLS) pro import dat nejjednodušší a spolehlivý vstup. Uvedené vlastnosti dělají z programu *Voxler* vhodný nástroj pro 3D vizualizaci georadarových dat společně s dalšími geodaty.

### METODY

Vizualizace georadarových dat v softwaru *Voxler* vyžaduje různou míru předzpracování GPR záznamů podle výsledné volby zobrazení.

Elementární formou zobrazení mohou být klasické rastrové výstupy (\*.JPG, \*.TIF, aj.) z GPR programů. Grafický modul „*ObliqueImage*“ s nastavení vlastnosti rozlišení (*Very Fine*) a zaškrtnutou volbou vyhlazení

(*Intepolate*) zobrazí kvalitně libovolné rastrové obrázky (např. JPG radargramu se zakreslenou interpretací). Pokud se jedná přímo o georeferencovaná data nebo jsou známy prostorové souřadnice vybraných bodů na obrázku, je možné připojením výpočetního modul „*Transform*“ měnit měřítko (*Scale*), polohu (*Translation*) a úhlovou orientaci (*Rotation*) podél zvolené osy a umístit tak obrázek radargramu do pozice vertikálního řezu se správnou prostorovou lokalizací. Pomocí stejného modulu je možné pod různými úhly umístit několik rastrových map s polohopisem, a tím vytvořit jednoduchou představu o výškových poměrech lokality.

Pokročilejší variantou 3D vizualizace představuje práce s hodnotami amplitud georadarového signálu v programu *Voxler*. V dané situaci představuje vstup prostý textový soubor, eventuálně list z tabulkového procesoru MS Excel (\*.XLS, \*.XLSX), s hodnotami souřadnic X,Y,Z a velikostí amplitudy GPR signálu. V případech, kdy jsou vstupní záznamy hustě bodově vzorkovány, může být pro prezentaci dostatečným grafický modul „*ScatterPlot*“. Jedná se o bodovou 3D vizualizaci s možností nastavit všem prvkům jednotnou barvu nebo přiřadit konkrétní barvy k hodnotám proměnné veličiny, čímž lze dosáhnout barevného vjemu podobnému zažitým paletám pro výstupy z georadaru. Obecně modul „*ScatterPlot*“ nachází uplatnění u souborů, které obsahují značné množství bodů, neboť nabízí jejich vizuální procentuální zředění. Při optimální volbě právě parametru (*Density*) spolu s velikostí bodů (*Size*) se vytvoří spojitý obraz dat a zároveň zůstává zachována vysoká rychlost při manipulaci v 3D prostoru. Mimo zmíněný „*ScatterPlot*“ nejsou pro zdrojová data v bodovém tvaru dostupné další hlavní grafické moduly, dokud není provedena jejich interpolace výpočetním modulem „*Gridder*“.

Výpočet spojitěho pole hodnot probíhá skutečnou 3D interpolací (odhad neznámých hodnot mezi naměřenými daty H je vázán na souřadnice X, Y i Z, na rozdíl od běžně rozšířených interpolací veličiny H v rovině X,Y). Proces interpolace jde ve *Voxleru* ovlivnit volbou výpočetního algoritmu (*Inverse Distance*, *Data Metric*, *Local Polynomial*), nastavením anisotropie v rámci 3 základních směrů nebo nejčastěji změnou rozlišení pixelů/voxelů výsledného 3D gridu. Vygenerovaná data spojitě vyplňující prostor je vhodné vizualizovat již zmíněnými grafickými moduly „*ObliqueImage*“, „*ScaterPlot*“ a dále pomocí „*Contour*“, „*Isosurface*“. Uvedené zpracování hodnot zobrazuje modul „*ObliqueImage*“ jako průřez objemem v konkrétním místě, který je orientovaný vůči základní nebo libovolně ukloněné rovině. Vícenásobné použití modulu na jednu datovou sadu umožňuje vložit řezy do klíčových pozic a tím sledovat průběh určité anomálie. Modul „*ScatterPlot*“ ukáže stejná data jako zcela vyplněný prostor a pro jejich analýzu je nutné editovat průhlednost hodnot v legendě nebo připojit grafický modul „*ClipPlane*“ a část dat vizuálně odříznout. Alternativou s analogickým ovládním k plošnému vyjádření „*OliqueImage*“ je zobrazení isočar modulem „*Contour*“. Princip isočar, linií spojující místa se stejnou hodnotou dané veličiny, je v prostředí *Voxleru* rozpracován do funkce isoploch, plošného obalení zvolené hodnoty, přes modul „*Isosurface*“. Tento grafický režim velmi názorně vymezuje v souboru georadarových záznamů identické projevy v GPR signálu.

Nejnáročnější formou zobrazení pro plně objemová data ve *Voxleru* je režim prokreslení objemu - *Direct Volume Rendering*. Jedná se o simulaci průchodu a absorpce světla skrz objemové prvky datové sady. Intenzita barvy na obrazovce představuje přínos každého prvku k pronikání paprsku. V případě georadarového signálu zachycují pomyslný paprsek polohy s vysokou reflexivitou a vytváří viditelné objekty, naopak nízké hodnoty reflexivity jsou zprůhledněny. Tímto způsobem umožňuje modul „*VolRender*“ vizualizaci nehomogenit uvnitř zájmového prostoru.

## VÝSLEDKY

Možnosti 3D vizualizace georadarových dat v sw. *Voxler* se dají rozdělit podle zdroje dat (Fig. 1).

Načtení rastrových obrázků s interpretací radargramů a jejich horizontální i vertikální umístění do prostoru představuje poměrně rychlý způsob zobrazení pozic naměřených dat. Laický čtenář vidí vertikální směr změřených GPR profilů a získává představu o rozložení průzkumných linií vůči sobě, případně k vloženému plánu nebo virtuálnímu modelu. Nevýhodou je omezená možnost editace obsahu obrázků. Komplikací u negeoreferencovaných dat může představovat stanovení polohové a měřítkové transformace obrázku umístěného v počátku os s jednotkovými rozměry podle počtu pixelů do absolutního metrického systému.

Druhým zdrojem dat je přímý vstup procesovaných hodnot GPR záznamů, který se dělí podle úrovně komprimace formátů. Nekomprimované formáty obsahující textový výpis hodnot XYZH a ve *Voxleru* se provádí jejich interpolace. Na komprimované formáty (\*.HDF aj.) se aplikují přímo zobrazovací moduly, přičemž GPR údaje zinterpoloval externí program (např. *EKKO-Mapper*).

Komplexní 3D vizualizace georadarových dat v sw. *Voxler* se provádí především pomocí grafických modulů: *ScatterPlot* (mračno bodů), *ObliqueImage* (řez objemem), *Isosurface* (plošné obálky hodnot), *VolRender* (prokreslení objemu). Mezi často používané doplňkové moduly se řadí: *Transform* (polohové a poměrové změny), *ClipPlane* (vizuální oříznutí), *Axis* (zobrazení a popis os) a *Text* (prostorově ukotvené popisy). Některé moduly je vhodné na stejná data použít opakovaně s různě nastavenými parametry za účelem vymezení anomálních míst v různých rovinách (např. boční *ClipPlane* a horní *ClipPlane* oříznutí objemových dat zobrazených modulem „*ScatterPlot*“; XY řez v hloubce 5 m a XZ řez po metrůž Y 3 m přes objemová data zobrazená dvěma moduly „*ObliqueImage*“; dva isopovrchy odlišné barvy podle hodnot  $H_1$  svrchní vrstva a  $H_2$  podloží aj.). Opačnou stejně užitečnou myšlenkou je manipulace s nastavením parametrů u různých modulů kvůli

zvýraznění stejné anomálie (např. sledování rozložení isopovrchu při zvolené hodnotě na ploše řezu objemovými daty nebo na rastrovém radargramu).

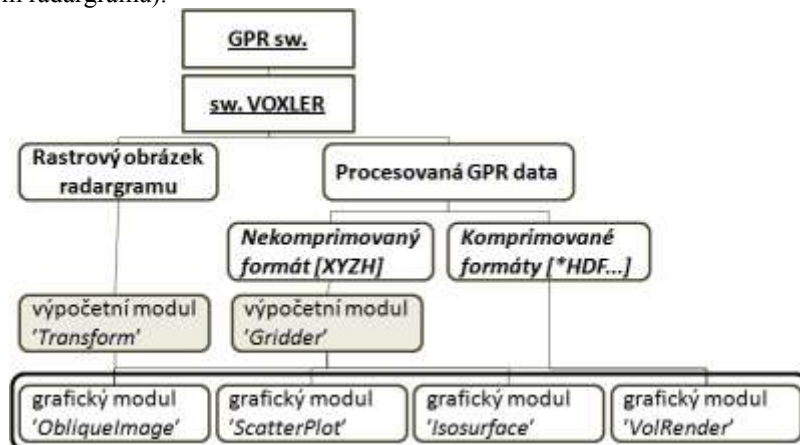


Fig. 1 Možnosti 3D vizualizace GPR dat v sw. Voxler s ohledem na jejich zdroj.

Následující grafické ukázky zachycují zobrazení jedné datové sady s využitím různých výše popsáných modulů programu *Voxler*. Vstupní data byla zpracována v programových produktech *Sandmeier* a *EKKO-Mapper*. Procesing GPR data zahrnoval nastavbové numerické zpracování (dekonvoluci, migraci aj.) i převod časových radarových řezů na hloubkové pomocí konverze dat na základě 2D rychlostního modelu, který byl vypočten z měření CMP na lokalitě.

První výstup (Fig. 2) demonstruje využití modulu „*ObliqueImage*“ u ztotožnění projevu vertikální anomálie na radargramu s horizontálním projevem narušeného prostředí v řezu *time-slice*. V rámci stejného pohledu je k radargramu pouze z ilustračních důvodů doplněno oříznuté bodové mračno objemových dat zobrazené modulem „*ScatterPlot*“.

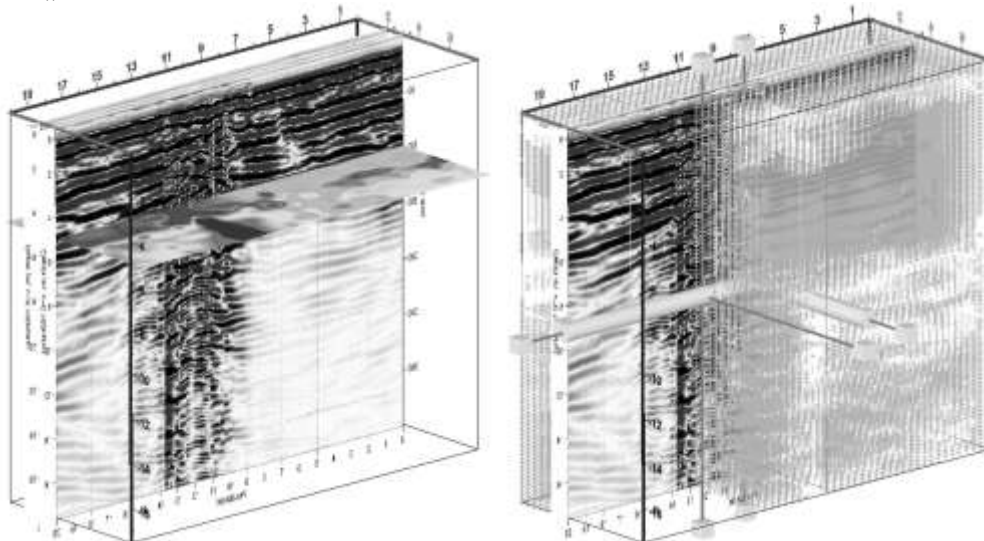
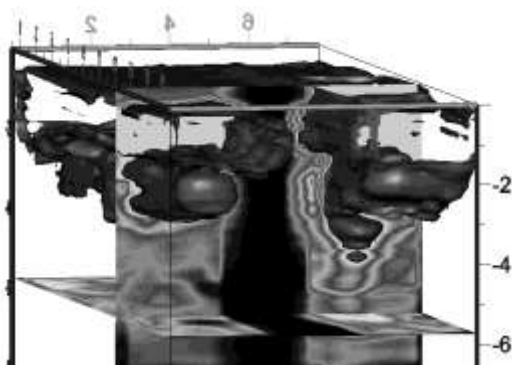


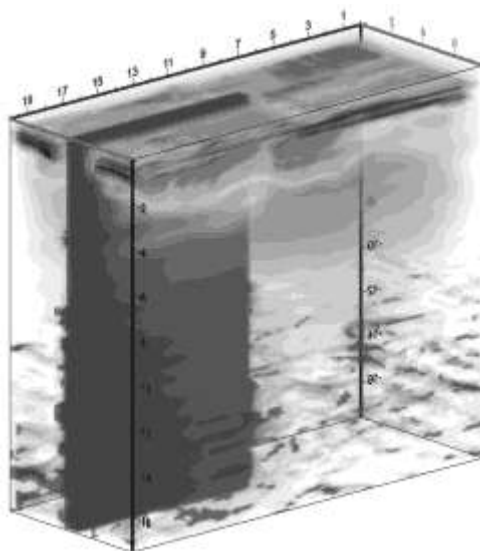
Fig. 2 Kolmá vizualizace rastrového obrázku *time-slice* a radargramu pomocí modulu „*ObliqueImage*“ (vlevo). Ilustrační pohled na oříznutá objemová data zobrazená modulem „*ScatterPlot*“ (vpravo).

Druhá vizualizace (Fig. 3) zachycuje kombinaci modulů „*ObliqueImage*“ a „*Isosurface*“. Objemový vertikální řez lemuje prostorové spojení amplitud se stejnou hodnotou, čímž potvrzuje tendenci anomálního projevu směrem do hloubky.

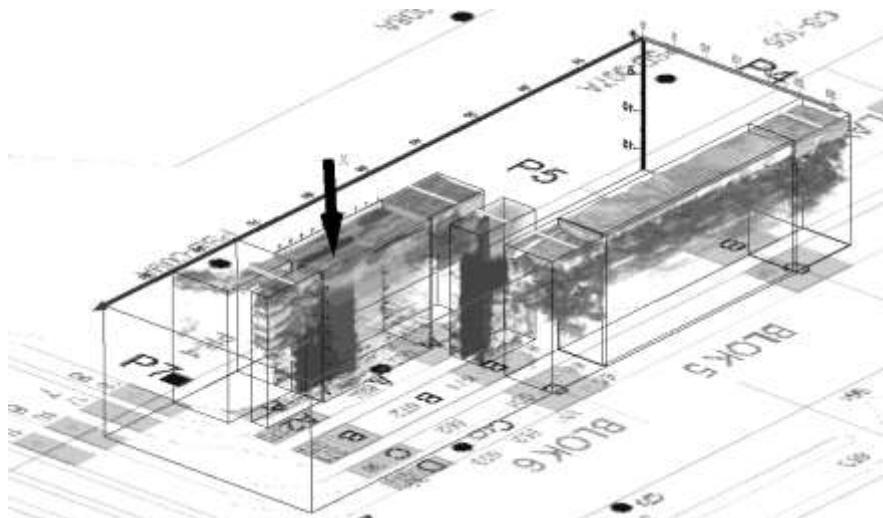


**Fig. 3** Zobrazení objemových dat s použitím kombinace modulů „*ObliqueImage*“ a „*Isosurface*“.

U posledního detailního zobrazení (Fig. 4) i globálního pohledu na pozici analyzovaných dat v kontextu dalších měření (Fig. 5) je na objemová data aplikován modul „*VolRender*“. Díky tomuto zobrazení je možné naráz sledovat hloubku, intenzitu a charakter GPR signálu skrz data bez nutnosti provádět řezy.



**Fig. 4** Prokreslení objemových dat modulem „*VolRender*“.



**Fig. 5** Pohled na syntézu prokreslených objemových dat z celé lokality modulem nad podkladním plánem.

**ZÁVĚR**

Smyslem trojrozměrné vizualizace je napomáhat vytvoření představy o komplexním topologickém uspořádání dostupných dat v prostoru. Konkrétně u georadarových dat jde o upozornění na vazby anomálních míst, na které se může následně zaměřit detailní numerické vyhodnocení jednotlivých GPR záznamů.

Program *Voxler* disponuje uvedenou schopností. Dokáže vytvořit dynamický model ze značného množství vstupních dat, jako jsou GPR záznamy, a efektivně s nimi pracovat. Hlavní zobrazovací moduly mohou sloužit potřebám interpretátora i pro názornější prezentaci zjištěných skutečností zadavateli měření a zainteresovaným subjektům.

Závěrem konstatujeme, že za předpokladu kvalitního numerického zpracování vstupních georadarových dat a vhodně zvoleného grafického režimu zobrazení, může 3D vizualizace v sw. *Voxler* přispět ke srozumitelnějšímu objasnění podpovrchových procesů, které se v zájmovém prostoru odehrávají.

**REFERENCES**

- EKKO-Mapper [software]. Ver. 4. Mississauga (Ontario, Kanada): Sensors & Software Inc., 2009. URL <<http://www.sensoft.ca/Products/Software/Details-Features.aspx#EKKOMapper>>.
- Hubatka, F. Gabčíkovo, Prává plavební komora, Georadarová kontrola stavu podloží v roce 2011 (technická zpráva). KolejConsult & servis s.r.o. Brno, 52 s. [Ground penetrating Radar survey of Gabčíkovo Waterworks 2011 (technical report). Report: KolejConsult & service spol. s r.o. Brno, 52 p.]
- Jol, M.J. (ed.). Ground Penetrating Radar: Theory and Applications. Elsevier Science, 2009, 553 p.
- Sandmeier, K.-J. Reflex-Win [software]. Ver. 6.0. Karlsruhe (Německo): Sandmeier software, 2012: URL <<http://www.sandmeier-geo.de/Download/download.htm>>.
- Voxler [software]. Ver. 2.4. Golden (Colorado, USA): Golden Software Inc., 2010. URL <<http://www.goldensoftware.com/products/voxler/voxler.shtml>>.