

## BIM MODELY V GEOTECHNICE

**doc. Dr. Ing. Jan Pruška; prof. Ing. Ivan Vaníček, DrSc.; Ing. Daniel Turanský**

Fakulta stavební ČVUT v Praze, Katedra geotechniky

### **BIM models in geotechnical engineering**

After defining BIM, the paper briefly mentions data standards used in BIM and data formats in geotechnical tasks. This is followed by a description of geotechnical models used in the design of geotechnical structures, including the importance of sequential BIM modelling in geotechnical engineering. Finally, the article concludes with a detailed description of the 3D creation of a model for a geotechnical structure using the “GEO5 Stratigraphy” software.

**Klíčová slova: geotechnický model, BIM, digitalizace**

### **1. ÚVOD**

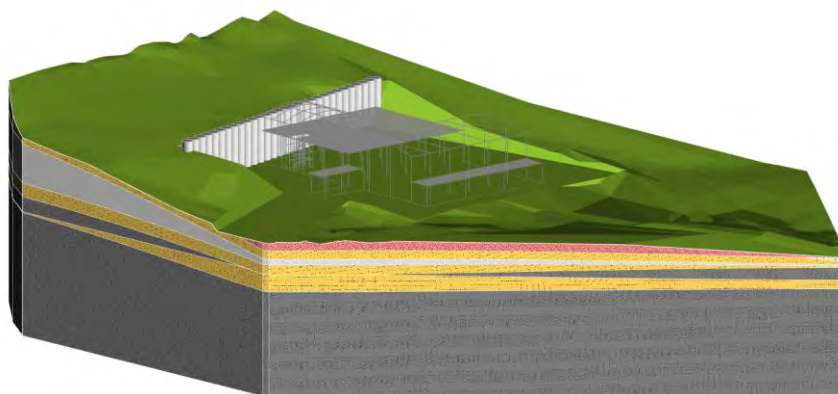
Proces digitalizace ve stavebnictví je spojen s termínem BIM (building information modelling). Celá premisa BIM spočívá ve snížení nákladů prostřednictvím snížení rizik nejen v rané fázi návrhu geotechnické konstrukce, ale prakticky ve všech fázích, které jsou z hlediska této konstrukce důležité – prakticky až po celou dobu životnosti stavby. Zjednodušeně řečeno jde o rozšířenou aplikaci obdobných procesů, které byly nejdříve iniciovány v průmyslu, kde jakýkoliv výrobek je složen z komponentů, které jsou rozčleněny až „na ten nejmenší šroubek“. A tento šroubek je nejen součástí výrobku, ale musí se vyrobit, přesně označit, skladovat, být přesně v definovaný čas na přesném místě apod. Přestože se používání BIM v posledních letech ve stavebnictví masivně rozšířilo a je akceptováno, že je zde proces BIM náročnější nejenom kvůli složitosti velkých staveb, ale i skutečnosti, že se pracuje též s modelem horninového prostředí, tedy prostředím, které není výrobkem lidských rukou, ale přírodních jevů. A právě zde lze spatřovat největší rizika, která má BIM eliminovat nejen optimálně voleným geotechnickým průzkumem, ale i vzájemnou diskusí všech zainteresovaných účastníků celého procesu nad získanými podklady. Jde tak nejen o zpracovatele geotechnického průzkumu, ale i o projektanty geotechnické konstrukce, dodavatele, ale zejména investora, stavebníka.

Proto každý BIM model stavby musí začínat modelem horninového prostředí, v optimální míře vystihující jeho vlastnosti, které jsou následně potřebné pro bezpečný a optimální návrh a následnou realizaci (1. - Pruška et al 2021), (2. - Vaníček et al 2021). Přitom rozsah horninového prostředí, které musí jeho model obsahovat, je poměrně složitou záležitostí, neb se jedná o celou oblast, která je ovlivněna celou stavbou a jsou spojeny s procesy mezních stavů, mezního stavu porušení a mezního stavu použitelnosti. Horninové prostředí je tak i z pohledu Stavebního zákona oblastí, kde se musí řešit mezní stavy pro prokázání bezpečnosti a stability. Horninové prostředí je tak součástí každé stavby, která je nejčastěji rozdělována na substructure – část konstrukce plně či většinou pod úrovní přilehlého horninového prostředí (terénu) nebo dané úrovně, resp. superstructure – část konstrukce nad substructure. Tento fakt bohužel mnoho BIM modelů nerespektuje, zaměřuje se pouze na superstructure, v lepším případě pouze na geotechnickou konstrukci, avšak bez navazujícího modelu horninového prostředí, s nímž je tato konstrukce v interakci.

Jakýkoliv BIM model stavby tedy musí začínat 3D modelem horninového prostředí – obr. 1, když pro základové konstrukce lze využít termín model základové půdy, pro zemní konstrukce – model zeminového prostředí a pro podzemní stavby model horninového prostředí. Vytvoření tohoto modelu tak pomůže snížit nejistoty, které jsou dány nejistotou, neurčitostí geologického modelu a nejistotou ve stanovení geotechnických vlastností pro jednotlivé litologické vrstvy tohoto geologického modelu. Proto je geotechnický průzkum fázován, obdobně jako je fázována

projektová dokumentace. Především zpracovatel Zprávy o geotechnickém průzkumu společně s projektantem (který je navíc zodpovědný za výběr reprezentativních/charakteristických hodnot vlastností odpovídající dané litologické vrstvě a řešenému meznímu stavu) navrhuje, jak by měla být další fáze geotechnického průzkumu realizována, aby výše zmíněná rizika ve vztahu k projektované konstrukci byla minimalizována. A to vše za uvažování efektivity, kdy péče věnovaná všem fázím geotechnického průzkumu se musí přizpůsobit rizikům, s kterými je daná konstrukce spojená, což je dnes definováno pomocí zařazení do příslušné Geotechnické kategorie.

Pokud však všichni účastníci stavebního řízení mají mezi sebou dobře komunikovat a sdílet data, musí využívat shodný datový standard. V současné době je to datový standard, jenž je založen na mezinárodním otevřeném datovém formátu IFC, viz ČSN ISO 16739 (73 0100) z roku 2017. Formát IFC vychází ze standardu STEP (Standard Exchange of Product Model Data), když STEP je otevřený formát a je nezávislý na použitém softwaru.



*Obr. 1: 3D model horninového prostředí*

## 2. DEFINICE BIM

Původ BIM, jak již uvedeno, nacházíme v průmyslové výrobě. Před zahájením sériové výroby se navrhovaly a testovaly četné prototypy a na vylepšení prototypu spolupracovali konstruktéři z různých oborů. Než se první verze dostala do výroby, proběhla postupně řada vylepšení prototypu. Výrobce si ponechal veškerá data z vývoje (často i prototypové modely), aby je mohl využít pro případná vylepšení jeho součástí, která by byla potřebná po celou dobu životnosti výrobku. Tento proces však nelze přenést do stavebnictví. Stavbu (či infrastrukturu) nelze postavit, vylepšit, zbourat a znovu postavit. S dnešní výpočetní technikou však lze při použití správných postupů a metodik vytvořit virtuální „prototyp“ projektu s využitím komponentů z různých oborů stavebního inženýrství. Tuto virtuální verzi projektu (kterou BIM v principu představuje) pak lze použít k upřesnění procesu navrhování a výstavby a udržovat ji jako pomoc při údržbě stavby po celou dobu její životnosti. Problémy zjištěné a vyřešené v dřívější fázi stojí podstatně méně než jejich náprava později v průběhu výstavby.

Jedním ze standardních způsobů využití BIM z pohledu superstructure je zvýraznění míst, kde by mohlo dojít ke kolizi. Jde především o kolizi/interakci jednotlivých prvků technického zařízení budov navzájem, resp. ve vztahu ke konstrukčnímu systému – například různé průchodky apod. Tento problém vzájemné interakce je umocněn průběžnými změnami v projektu, kdy různí specialisté pracují nezávisle a někdy dokonce s neaktuálními daty z druhé specializace. Z pohledu aplikace BIM modelu v geotechnickém inženýrství, tento problém interakce není tak citlivý, vztahuje se například pro energetické základy, které mají za cíl nejen zajistit únosnost a přípustnou deformaci celé stavby, ale též umožnit extrakci geotermální energie z okolí těchto základů. Ale jak již uvedeno, interakce je zde přímo s horninovým prostředím, a proto se musí řešit nejen vliv stavby na horninové prostředí (v rámci procesu EIA – environment impact assessment), ale i opačná

interakce, jak bude horninové prostředí ovlivňovat navrhovanou stavbu. Pro dopravní stavitelství tak jde o optimální umístění trasy jak z půdorysného pohledu, tak i hlubinného umístění.

### 3. DATOVÉ STANDARDY A GEOTECHNIKA

Software BIM používá formát IFC (Industry Foundation Classes), který byl vyvinut společností buildingSMART jako otevřený standard pro sdílení dat BIM s různými softwarovými aplikacemi. IFC je registrován podle normy ISO-16739. Formát IFC vychází ze standardu STEP (Standard Exchange of Product Model Data), který je součástí normy ISO-10303. STEP je otevřený formát a je nezávislý na použitém softwaru. STEP fyzicky a funkčně popisuje součásti objektu (např. průvlaku) tím, že definuje geometrické hodnoty objektu, jeho vlastnosti, vztahy k jiným objektům a životní cykly. Kromě STEPu je velmi populární formát XML (Extensible Markup Language). Obecně by však software BIM měl být schopen zpracovávat i odlišné formáty.

V současnosti probíhají v Evropě normalizační činnosti spojené s definováním formátu IFC pro další oblasti stavebnictví, jako jsou např. silniční a železniční stavby, mosty, tunely. Tento vývoj datového standardu (označovaný jako verze IFC5) je v zemích EU na rozdílné úrovni a někde probíhá i paralelní vývoj. V případě geotechniky je však nutné uvažovat i alternativní řešení (jiné datové standardy) a věnovat zvláštní pozornost dvěma kritickým bodům:

Za prvé, modelování přírodního prostředí se řídí jinými pravidly než informační modelování budov (umělých výrobků). Tvorba geotechnických modelů je vždy založena na našich znalostech a pozorování horninového prostředí a je vždy spojena s nejistotami. Je třeba se vyrovnat se skutečností, že je zde velké riziko v popisu předpokládané polohy, tvaru a vlastnostech vrstev zemin. Jinými slovy míra tohoto rizika ovlivňuje návrh infrastruktury a metod výstavby.

Za druhé, v geotechnickém inženýrství již existuje několik formátů dat, kdy dokonce některé organizace musí svá data poskytovat prostřednictvím specifických standardů podle právních předpisů.

Datový formát AGS pro geotechniku je anglická iniciativa, která poskytuje formát pro přenos dat z geotechnického průzkumu, ať již pro fázi geologického modelu, tak terénních či laboratorních zkoušek a monitoringu. V rámci projektu DIGGS (6. - Caronna, 2006) vznikl formát GML kompatibilní s XML pro přenos geotechnických dat. GeoSciML (Geoscience Markup Language) je datový formát pro informace o geologii, s důrazem na „interpretovanou geologii“, která je běžně zobrazována na geologických mapách. Open Geospatial Consortium (OGC) je mezinárodní neziskové konsorcium podporující interoperabilitu a volně dostupné protokoly a aplikační prostředí pro prostorová data. Je zde tedy otázka, není-li snaha o tvorbu formátu IFC pro geotechnické úlohy při dynamickém vývoji v oblasti IT „během na dlouhou trať či dokonce slepou uličkou“.

### 4. GEOTECHNICKÉ MODELY

Návrh geotechnických konstrukcí se řídí Eurokódem 7 Navrhování geotechnických konstrukcí (ČSN EN 1997) – (3.,4.,5.), a to včetně geotechnického průzkumu pro získání vstupních dat pro geotechnické návrhy, resp. pro stanovení geotechnického zatížení. Princip návrhu stavebních konstrukcí pokrytých Eurokódem má stejný základ pro všechny základní stavební materiály – beton, ocel, železobeton, dřevo, hliník, včetně zeminy a horniny. Opírá se o prověření mezních stavů, kdy musí být prokázáno, že pro žádnou návrhovou situaci nejsou tyto mezní stavy překročeny.

Vlastní návrh a realizace (výstavba) geotechnické konstrukce má však svá specifika v tom, že si musí nejdříve horninové prostředí ověřit a definovat vstupní hodnoty, zatímco pro ostatní materiálové Eurokódy tento počátek chybí - projektant si může objednat stavební prvek o přesně definovaných vlastnostech a na stavbu je mu dodán včetně certifikátu. Proto je pro geotechnické konstrukce tento proces delší a složitější a v souladu s Eurokódem 7 sestává ze 4 základních fází, pro něž je možné vytvořit 3D model:

- Geotechnický model horninového prostředí
- Geotechnický výpočetní model
- Výpočetní model
- Realizace konstrukce – model konstrukce – skutečné provedení

Geotechnický model horninového prostředí (zeminového prostředí, či základové půdy) je výsledkem Zprávy o geotechnickém průzkumu a principiálně je složen ze dvou základních částí:

a) Geologického modelu horninového prostředí, který rozděluje podloží na litologické vrstvy, na quasi-homogenní vrstvy s obdobnými geotechnickými vlastnostmi. Zde se používá i termín geotechnický typ, druhá generace Eurokódu 7 (5.) uvádí pojem „Geotechnical Unit“ – Geotechnická jednotka. Geotechnická jednotka je definována jako objem či vrstva horninového prostředí, která je v Geotechnickém návrhovém modelu definována jako jeden (quazihomogenní) materiál.

b) Výsledků všech realizovaných zkoušek, ať již laboratorních na odebraných vzorcích, tak v rámci terénních průzkumných zkoušek.

Tento model, postupně vznikající s časem je většinou dělen na několik fází:

- Rešerše stávajících podkladů doplněná o prohlídku zájmového území;
- Předběžný GP (Geotechnický průzkum)
- Podrobný (návrhový) GP - nese název „Design“ GP – neboť slouží pro návrh geotechnické konstrukce – nutný pro vypracování dokumentace pro stavební povolení
- Doplnkový GP – přichází v úvahu, pokud v průběhu výstavby byly zaregistrovány významnější rozdíly a je třeba provést modifikaci návrhu, především z pohledu technologie výstavby
- Konfirmační GP – využívá možnosti porovnat očekávanou situaci s reálným stavem (např. v rámci odkopu na úroveň základové spáry, svahů zářezů, ražení tunelu apod.). Slouží pro využití v dokumentaci skutečného provedení a pro tento stav sestavený BIM model slouží pro celou životnost stavby.

Geotechnický návrhový model vyhodnocuje dosud všechny získané geotechnické vlastnosti/parametry, včetně informací o podzemní vodě (piezometrických tlacích, proudění, kolísání apod.). Pro jednotlivé litologické vrstvy s ohledem na řešené mezní stavy specifikuje též jejich též reprezentativní/charakteristické hodnoty. Ty jsou následně využity ve výpočetním modelu a projektant má povinnost jejich výběr zdůvodnit.

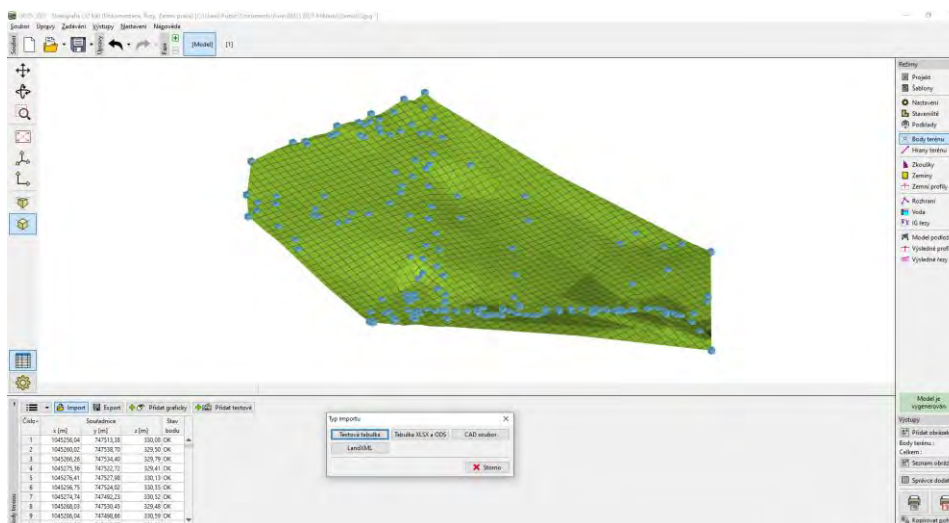
Výpočetní model v principu vychází z aplikace analytických výpočetních metod či metod numerických. Využití numerických metod (většinou založených na MKP) se používá zvláště v případech, kdy je vhodnější použít prostorové řešení ve 3D, než řešení rovinné ve 2D.

#### 4.1 Význam postupného vytváření BIM modelu v geotechnice

Postupné vytváření BIM modelu v geotechnice tak má svoji logiku, především z pohledu postupného upřesňování informací a horninovém prostředí a projektové dokumentace. Společná diskuse účastníků výstavby nad jednotlivými fázemi umožňuje nejen snížení rizika/nejistot, které s přírodním prostředím je spojené, ale i zvolit nejvhodnější postup pro další fázi. Současná i budoucí/druhá generace Eurokódu 7 dává velmi detailní popis všech požadavků, které by se měly v jednotlivých fázích stanovit, mají však obecnější platnost. Pro geotechnické konstrukce s nižším rizikem, s nižším zařazením dle Geotechnické kategorie, je tak užitečné vybrat z poměrně širokého výpisu ty, které jsou pro daný případ rozhodující. Tak je možné kromě snížení rizik i urychlit proces získávání podkladů a současně i zlevnit.

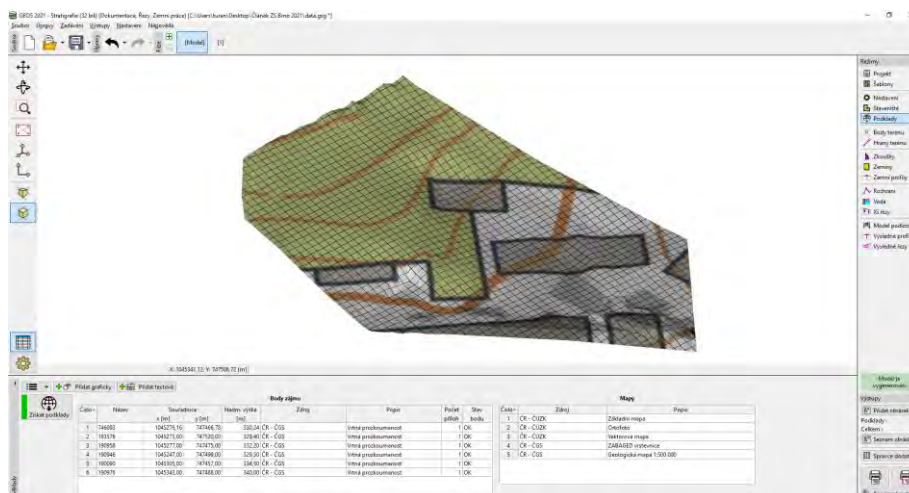
## 5. TVORBA 3D MODELŮ PRO GEOTECHNICKÉ KONSTRUKCE

Pro ukázkou práce s BIM modelem byl použit program „Stratigrafie“ od společnosti FINE spol. s r.o. Základem vytvoření 3D modelu je definování oblasti staveniště a vygenerování tzv. DMT (digitálního modelu terénu) – nejjednodušším způsobem je přímé načtení geodetických dat (např. DWG, DXF, LandXML, XLSX...). V případě menších staveb, kdy tato data někdy nejsou na začátku k dispozici, lze staveniště definovat i pomocí GPS souřadnic a rozměru zájmové oblasti, popř. využít zaměřené souřadnice jednotlivých průzkumných bodů – vrtů, hydrovrtů, terénních průzkumných metod apod.



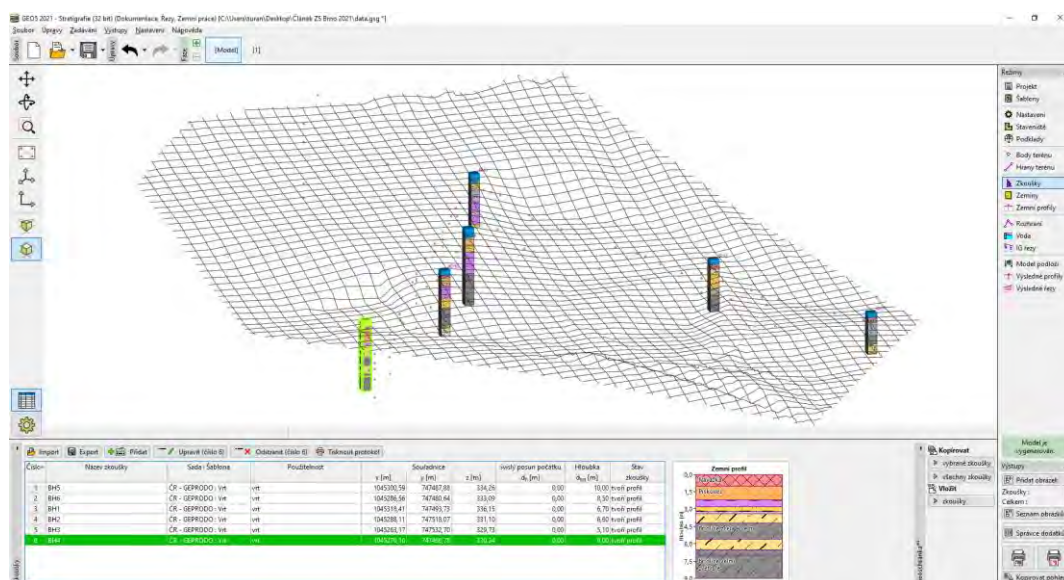
Obr. 2: Digitální model terénu ze zaměřených geodetických bodů

Ještě před zadáváním vlastních dat z jednotlivých fází geotechnického průzkumu (od předběžného počínaje) lze pro oblast staveniště získat z první fáze (rešerše a prohlídky zájmového území) mapové podklady či přímo archivní vrty, výsledky zkoušek terénních i laboratorních z veřejných zdrojů. Velmi jsou užitečné i údaje, které byly získány na již realizovaných konstrukcích obdobného charakteru a za obdobných geotechnických poměrů. Pro tyto případy program komunikuje s národními geologickými službami (např. ČR - ČGS, SR – ŠGÚDŠ), ze kterých lze data načíst a zobrazit. Ty mohou následně zjednodušit požadavky na provedení vlastního geotechnického průzkumu.



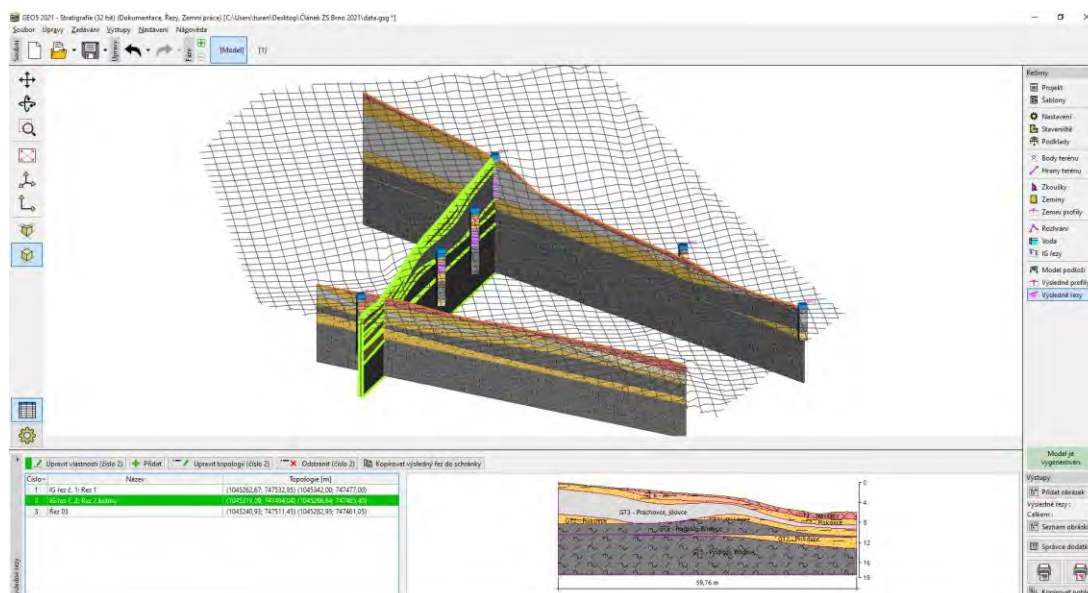
Obr. 3: Příklad načtení všech dosavadních dostupných podkladů z databáze ČGS a ČÚZK

Dále se do modelu zadají veškerá data, včetně geotechnických parametrů a informací o podzemní vodě, které byly v rámci geotechnického průzkumu získány – v tomto konkrétním případě se jedná o 6 vrtů. Množství dat je však neomezené – žádná data by se neměla ztratit a měla by být v rámci modelu kdykoliv k dispozici. Proto lze ke všem zkouškám nahrát i libovolné množství příloh (fotografie, dokumenty, RAW data měření...). Chybět by neměly ani bližší informace o provedených laboratorních zkouškách a jejich interpretaci.

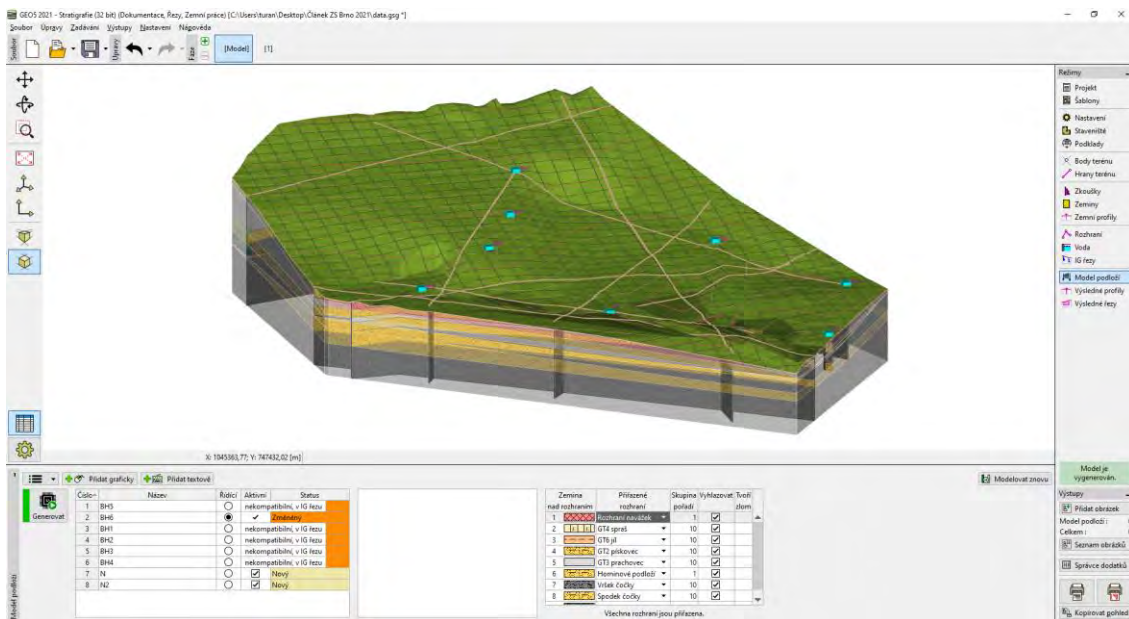


Obr. 4: Zadání dat získaných z předchozích průzkumných vrtů

Po vygenerování terénu a zadání všech dostupných dat dochází k samotnému vytváření 3D modelu. Jde především o rozhraní jednotlivých litologických vrstev, geotechnických jednotek. Interpretace rozhraní mezi jednotlivými průzkumnými body je velmi citlivý proces. Lze využít i jednotlivých funkcí na propojení, ale vždy je vhodná korekce zkušeného inženýrského geologa. Přitom vypovídací hodnota – přesnost – se snižuje se vzdáleností od průzkumného bodu. Proto především v místech nejistot – zejména tam, kde byly zaregistrovány diskontinuity (například i pomocí geofyzikálních měření), tak dochází k bližšímu upřesnění v další průzkumné fázi.

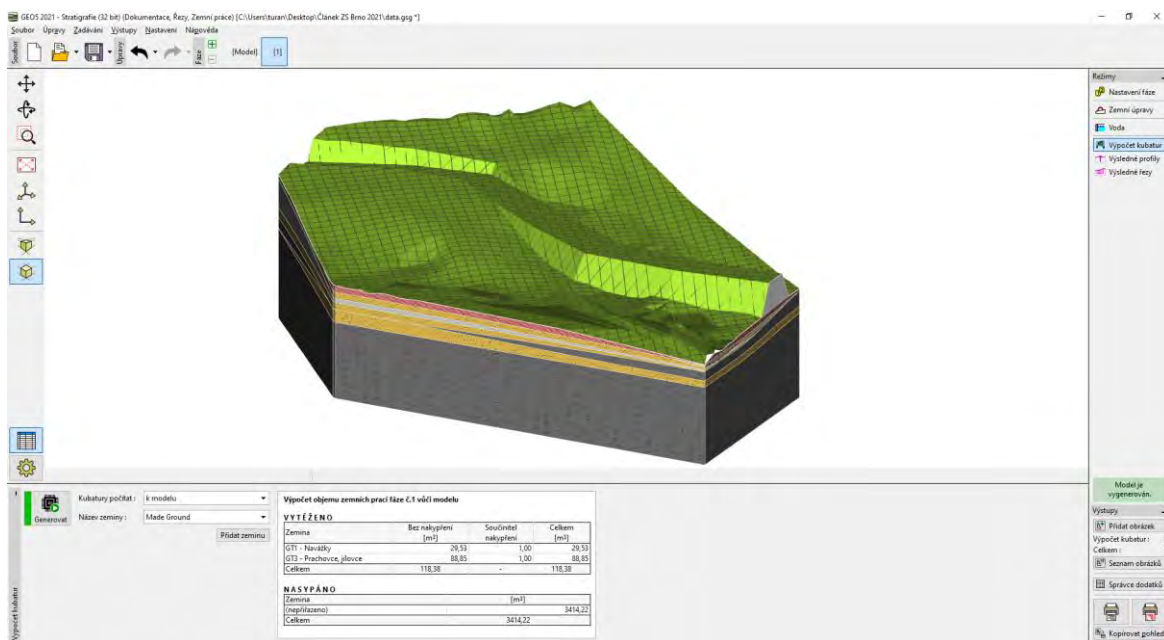


Obr. 5: IG řezy a zemní profily



Obr. 6: Výsledný 3D model

Po vytvoření základního 3D modelu horninového prostředí lze pokračovat s modelováním vlastní geotechnické konstrukce do společného modelu, což je základní cíl. Například pro zemní konstrukce dopravních staveb jde o niveletu komunikační trasy, prvotního návrhu sklonů svahů zářezu za využití dosud získaných podkladů. To následně umožňuje snadnější výpočet kubatur zemních prací, rovnováhy mezi objemem zářezů a násypu apod.



Obr. 7: Výpočet kubatur pro plánovaný silniční násep a zářez

Součástí programu je také mobilní aplikace – ta umožňuje mít všechny relevantní informace u sebe na staveništi a také nahrávat potřebná terénní data (fotografie, videa...), která se automaticky přidávají k BIM modelu. 3D model by měl být dále využit pro následující geotechnické výpočty a další práce na projektu – pro tyto případy lze všechna data exportovat v různých formátech (IFC, LandXML, CAD). Finální BIM model geotechnické konstrukce je tak model skutečného provedení a model horninového prostředí získaný z konfirmační fáze geotechnického průzkumu. Po dobu

životnosti stavby tak může být využit nejen pokud dojde k budoucí interakci – blízké či křížující nové konstrukce, ale též pro údržbu či za vzniku havárie, přírodní katastrofy, pro rychlý rozhodovací proces.

## 6. ZÁVĚR

Aplikace BIM modelu v případě geotechnického inženýrství ukazuje na jeho význam. Je uplatnitelný pro všechny stavby, neb všechny jsou v přímé interakci s horninovým prostředím. Řešení stability a bezpečnosti jako základního požadavku, vyjádřeného i ve Stavebním zákoně, není možné řešit samostatně jen pro superstructure, ale v interakci se substructure. To speciálně platí pro geotechnické konstrukce, jako jsou zemní a podzemní konstrukce. Správné řešení vyžaduje propojený BIM model. Příspěvek se věnuje nejen tomuto obecnému principu, ale i konkrétnímu postupnému vývoji prostorového modelu, který umožňuje propojení fází geotechnického průzkumu a fází projektové dokumentace (včetně návrhu monitoringu), a to vše pro snížení rizik, pro urychlení a zlevnění výstavby v obecném slova smyslu. Další rozpracování těchto základních cílů je tak před námi a bude vyžadovat užší spolupráci nejen všech partnerů procesu výstavby, ale i partnerů z oblasti IT, kteří se zaměří na získávání, uschování a využití těchto BIM modelů.

## 7. PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek vznikl za podpory programu TREND Technologické agentury České republiky (TAČR), číslo projektu FW01010384.

## 8. LITERATURA

1. Pruška J., Vaníček, I., Jirásko, D., Vaníček, M. (2021) Úloha geotechniky v procesu BIM, Časopis Stavebnictví: časopis stavebních inženýrů, techniků a podnikatelů, Informační centrum ČKAIT, s.r.o. Praha, ročník XV, číslo 6-7, 2021,
2. Vaníček, I., Rogbeck, Y., Breedeveld, J., Jirásko, D., Vaníček, M. (2021) Present Demands on Earth Structures in Transport Engineering in Europe. 4th ICTG Chicago, May, 2021.
3. ČSN EN 1997-1 (731000) Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí - Část 1: Obecná pravidla
4. ČSN EN 1997-2 (731000) Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí – Část 2: Průzkum a zkoušení základové půdy.
5. prEN 1997-1: 202x, 2021-04, Eurocode 7: Geotechnical design – Part 1: General rules.
6. Caronna, S. (2006) Implementing XML for geotechnical databases - Geo-Engineering Data: Representation and Standardisation, 10th IAEG Congress September 9th 2006 Nottingham, UK.

doc. Dr. Ing. Jan Pruška

Pracoviště: Fakulta stavební ČVUT v Praze, Katedra geotechniky, Thákurova 7, Praha 6, 166 29

E-mail adresa: Jan.Pruska@cvut.cz

prof. Ing. Ivan Vaníček, DrSc.

Pracoviště: Fakulta stavební ČVUT v Praze, Katedra geotechniky, Thákurova 7, Praha 6, 166 29

E-mail adresa: Ivan.Vanicek@cvut.cz

Ing. Daniel Turanský

Pracoviště: Fakulta stavební ČVUT v Praze, Katedra geotechniky, Thákurova 7, Praha 6, 166 29

E-mail adresa: daniel.turansky@fsv.cvut.cz