

## GEODETICKÁ ČINNOST PŘI PROJEKTOVÉ PŘÍPRAVĚ KRUŠNOHORSKÉHO TUNELU

### GEODETIC ACTIVITIES IN THE PROJECT PREPARATION OF THE ERZGEBIRGE TUNNEL

Ing. Ladislav Jarůšek<sup>1</sup>

#### Abstrakt

Krušnohorský tunel / Erzgebirgstunnel. Geodetická činnost při projektové přípravě přeshraničního železničního tunelu. Obsah: Mapové podklady / Síť vztažných bodů / Stávající Technická infrastruktura / BIM.

#### Abstract

Erzgebirge Tunnel / Erzgebirgstunnel. Geodetic activities in the project preparation of a cross-border railway tunnel. Content: Map documents / Network of reference points / Existing technical infrastructure / BIM.

## 1 Úvod

Krušnohorský tunel je pojmenování úseku aktuálně připravované přeshraniční stavby rychlého železničního spojení mezi Českou republikou a Německem (Obr. 1). Stavba spadá do Transevropské sítě TEN-T. Celková délka tunelu je 26 km, z toho na českém území je plánovaná délka tunelu necelých 12 km s portálem v blízkosti obce Chlumeč (Ústecký kraj). Na území Německa je plánovaná délka tunelu necelých 15 km s portálem v lokalitě Heidenau (Sasko). Projekt je připravován ve spolupráci obou národních správců železniční dopravní infrastruktury. V Německu je to DB Netz AG a v České republice Správa železnic s. o. Zhotovitelem projektové dokumentace bylo mezinárodní sdružení firem, ve složení ILF Consulting Engineers (Rakousko), Bung Ingenieure (Německo), iC consulenten Ziviltechniker (Rakousko), Valbek (ČR).



Obr. 1 Trasa tunelu / Zdroj: SŽ, s.o.

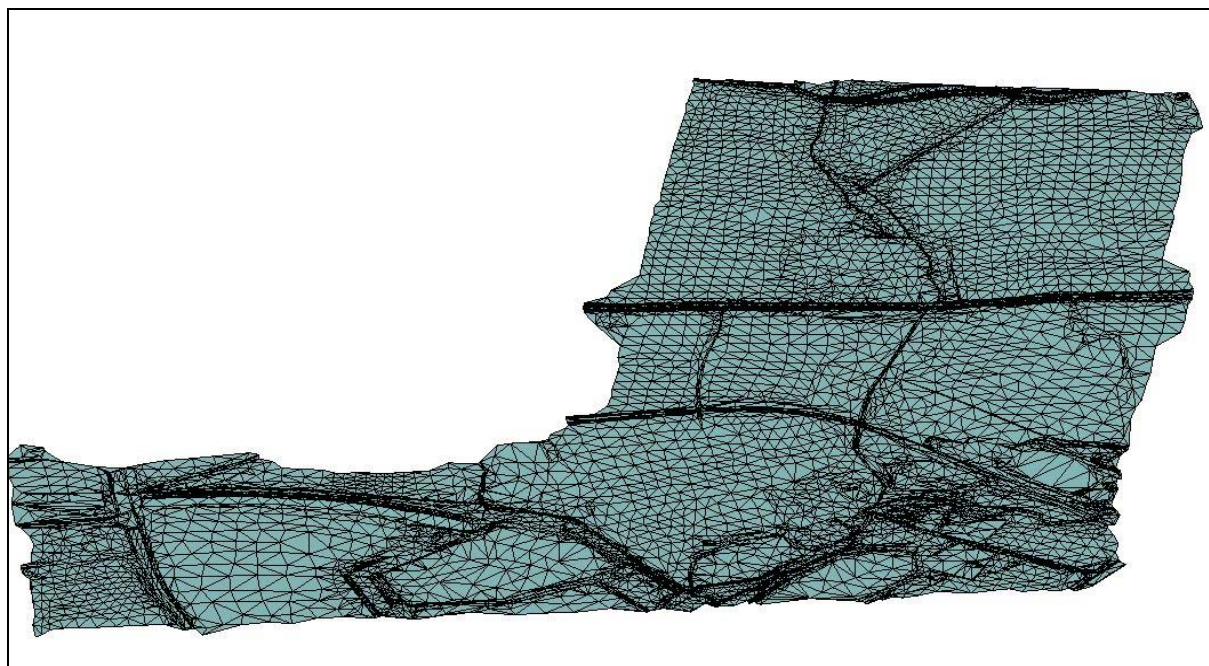
Zajištění geodetických podkladů pro projekt na německém území měla na starosti zeměměřičská kancelář DR.-ING. UDO FRANKE, GMBH a

<sup>1</sup> Jarůšek Ladislav, Ing., Valbek, spol. s r.o., Vaňurova 505/17, 460 07 Liberec  
M: +420 778 403 044, E: ladislav.jarusek@valbek.cz

na českém území firma Valbek spol. s r.o. prostřednictvím vlastní skupiny geodézie libereckého střediska Valbek. Přípravné práce na projektu zpracovávaném ve stupni Dokumentace pro územní rozhodnutí (DÚR) byli zahájeny v 08/2021. Jejich kompletní dokončení je plánováno na 04/2024. Geodetická činnost obsahovala tyto části: 1) Zajištění mapových podkladů, 2) Zajištění podkladů stávající technické infrastruktury, 3) Vybudování přeshraniční sítě vzažných bodů, 4) Zjištění podkladů pro BIM model.

## 2 Zajištění mapových podkladů

Jedním s prvních úkolů bylo zajistit kvalitní mapový podklad území v koridoru plánované trasy tunelu. Podle požadavku projekčního týmu, byla lokalita rozdělena na dvě kvalitativní úrovně mapování. V místech obou plánovaných portálů, byl požadavek na přímé geodetické zaměření území. Firma Valbek zajišťovala přímé geodetické zaměření území na české straně plánovaného portálu v lokalitě obce Chlumec a silnice I/9 o rozloze 120 ha. Na německé straně tomu bylo obdobně, pouze s ohledem na skutečnost, že zde byly v počátku projektu zvažovány tři možnosti vedení trasy tunelu, zaměřovaná lokalita byla z těchto důvodů podstatně většího rozsahu.



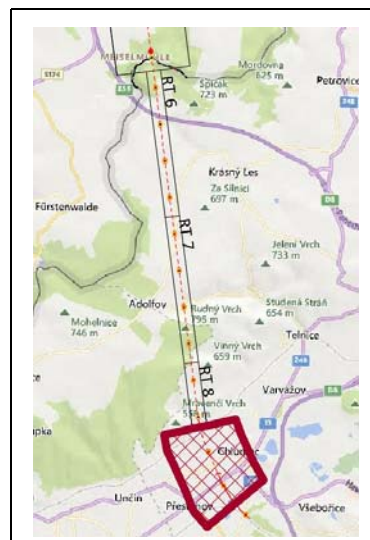
Obr. 2 Ukázka DMT na podkladě geodetického zaměření v lokalitě portálu u obce Chlumec

Geodetické zaměření v oblasti plánovaných portálů tunelu, bylo připojeno na české/německé státní geodetické základy. Podzemní část tunelu bude na českém území ve velké míře vedena až 500 m pod stávajícím terénem. Z těchto důvodů bylo na zbylém zájmovém území rozhodnuto o využití dat z veřejně dostupných zdrojů. Na české straně tunelu to bylo konkrétně z dat poskytovaných ČÚZK. Z nabízených dat byla využita datová sada

ZABAGED-Výškopis DMR 5G. Data DMR5G byla ČUZK poskytnuta v souřadnicových systémech S-JTSK / Bpv a ETRS89-TM33 / EVRS s ohledem na využití dat pro přeshraniční projekt. Obdobně tomu bylo na německé straně tunelu. Poskytnutá data DMR5G byla na českém území ověřena výběrovým přímým geodetickým měřením. Geodetická měření pro účely ověření byla provedena metodou GNSS RTK v síti CZEPOS. Dále s postupem projekčních prací a ustálení lokalit provozních objektů tunelového tělesa, se předpokládá doměření těchto lokalit, také přímým geodetickým mapováním. Výsledkem zajištění mapových podkladů byla účelová mapa v celé trase tunelu, včetně digitálního modelu terénu (Obr. 2). Geodetické práce spojené se zajištěním mapových podkladů v trase tunelu na českém území byly dokončeny v 07/2022.

### 3 Zajištění podkladů od správců technické infrastruktury

Zajištění dostupných podkladů od správců technické infrastruktury bylo prováděno souběžně s geodetickým mapováním lokality. S ohledem na rozsah zájmového území, byl vlastní průzkum technické infrastruktury rozdělen obdobně jako mapování na dvě části. Do první části spadala lokalita v okolí plánovaného portálu u obce Chlumec, pracovním označením RT8.1. V této části byla znalost průběhu technické infrastruktury požadována projekčním týmem přednostně, z důvodů znalosti kolizí a projektové přípravy řešení, včetně návrhů přeložek dotčených objektů technické infrastruktury. Druhá část zahrnovala úseky RT8.2, RT7, RT6. V této části je trasa tunelového tělesa vedena převážně 500 m pod stávajícím povrchem a převážně v extravilánu (Obr. 3). Průběh TI byl zjišťován informativně a vydaná vyjádření budou použita zejména při plánování provozních objektů tunelového tělesa. Celkem v obou částech bylo osloveno na 25 dotčených správců TI a na základě zaslaných vyjádření a výskytu objektů TI byl vyhotoven jednotný výkres objektů TI pro potřeby projekčních prací, včetně poskytnutí originálů vyjádření projekčnímu týmu.



Obr. 3 Rozsah průzkumu TI.

### 4 Vybudování přeshraniční sítě vztažných bodů

Zcela zásadním úkolem a nejnáročnějším úkolem bylo vytvoření sítě vztažných bodů. Požadavkem zadavatele bylo vytvořit jednotný společný rámec geodetických základů pro celý projekt zahrnující jak českou, tak

německou část. Jeho realizací bude zajištěna kontinuita všech projekčních a geodetických prací spojených s tímto projektem na obou stranách hranice. V konečné fázi, tj. při realizaci vlastní stavby tunelu, bude zajištěno jednotné přenesení polohy a výšek jednotlivých projektovaných objektů do terénu, včetně plynulého napojení na stávající infrastrukturu.

#### 4.1 Přípravné práce a koncept řešení

Na začátku celého plánování sítě vztažných bodů, bylo nutné si definovat základní vlastnosti sítě. Definice byla rozdělena do tří základních vlastností sítě.

První vlastnost zahrnovala stanovení rozsahu projektu. Zde bylo nutné zohlednit různé varianty tras, zejména na německé straně v oblasti Heidenau. Dále zohlednit odlišnost legislativních procesů a předpisů v obou státech, včetně odlišných interních předpisů národních správců železniční infrastruktury. Nutné bylo zohlednit také odlišnost referenčních systémů definující geodetické polohové a výškové základy obou států (polohové základy CZ/DE: Křovák/Gauss-Krüger, výškové základy CZ/DE: Bpv (Kronštat) / Normall Null (Amsterdam)).

Druhá vlastnost měla zaručit použitelnost pro následné zahuštění sítě, její jednoznačnou reprodukovatelnost a spolehlivost ve všech fázích přípravy realizace tunelu.

Třetí vlastnost měla zaručit návaznost na stávající referenční systémy v podobě odvození a stanovení transformačních parametrů.

S ohledem na definované vlastnosti sítě vztažných bodů, koncept obsahoval metodiku měření, konfiguraci měření, požadavky na přístrojové vybavení, napojení na referenční systémy národních správců (poloha: S-JTSK / DB\_REF2016, výšky: Bpv / DHHN2016), napojení na nadřazené referenční systémy (CZEPOS, SAPOS, EUREF), správa měřených a převzatých dat, softwarové vybavení pro výpočet a vyrovnání dat GNSS, výškové řešení sítě spojené s modely geoidu v zájmové lokalitě a zajištění odborného vydání dvojjazyčné dokumentace sítě.

#### 4.2 Rekognoskace, stabilizace, zaměření GNSS

Po stanovení konceptu sítě vztažných bodů, byla od 01/2022 zahájena rekognoskace území za účelem výběru bodů sítě vztažných bodů, včetně kontroly stabilizace zvolených připojovacích bodů v celé prostoru trasy tunelu. Po dokončení rekognoskace, bylo zvoleno 18 bodů sítě, z toho na českém území je umístěno 6 bodů sítě. Vzdálenost bodů sítě je max. 3 km, v oblasti portálů jsou vždy umístěny 3 body ve vzdálenosti max. 1 km.

Stabilizace bodů byla zvolena dle místních podmínek. Na české straně bylo využito stávající stabilizace trigonometrických bodů (3 body) a stávající stabilizace Základní měřické sítě dálnice D8 (3 body).

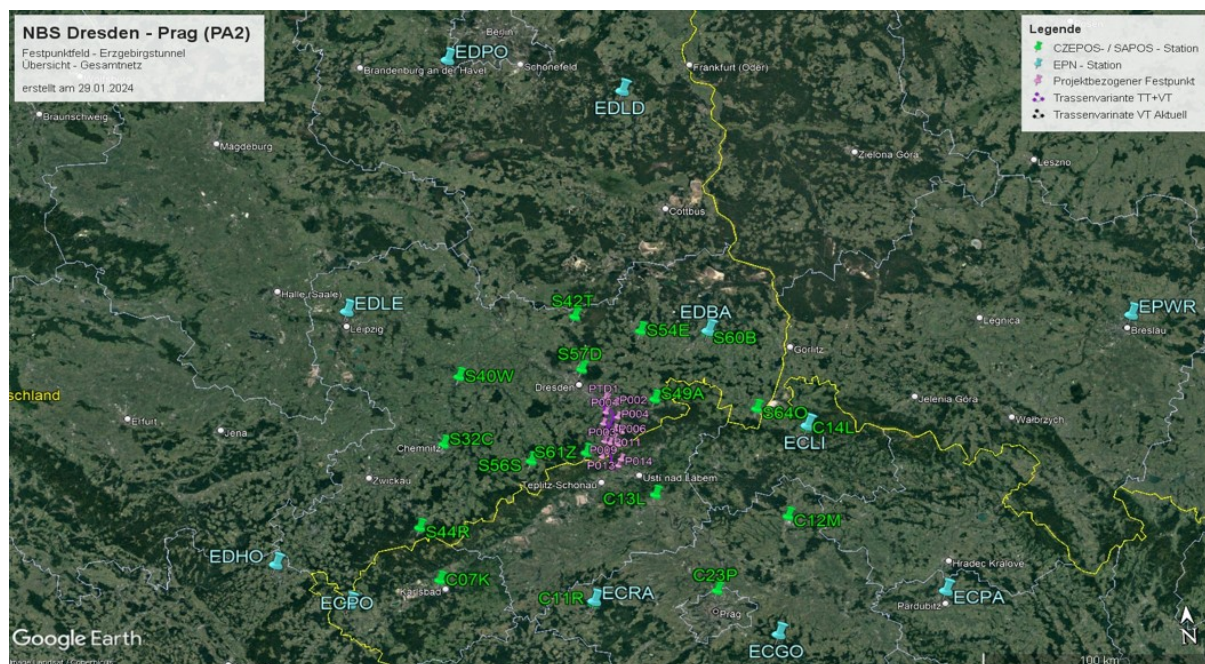
Na německém území byla část bodů sítě nově stabilizována. Nově stabilizované body jsou stabilizovány v ochranné šachtě pod úrovní terénu. Do celkové sítě vztažných bodů je zahrnuto 24 permanentních stanic CZEPOS a SAPOS, které jsou součástí EPN (EUREF), 15 referenčních bodů sítě DB (Deutsche Bahn), 6 referenčních bodů určených v S-JTSK a 4 body určené GNSS připojené ke výškové síti EVRF.

Měřická kampaň na bodech vztažné sítě byla provedena v období 09/2022-11/2022, celkový počet měřických dní byl 30 dnů. Pro statická měření GNSS bylo použito 6 přístrojů Leica AR20, u kterých byla předem provedena kalibrace pro 4 družicové systémy (GPS, GLONAS, Galileo, Beidou). V rámci měřické kampaně bylo měřeno celkem na 37 bodech sítě, s počtem opakování 3 měření. Současně bylo provedeno měření mezi sousedními body sítě synchronizovaně po dobu více než 4 h. Doba měření každý den byla cca 8 hod. Zvláštní důraz byl kladen také na měření výšky postavení přístroje GNSS, odečet byl proveden vždy na začátku a konci měření. Vlastní organizace a měření bylo velmi náročné na logistiku a personální obsazení. Na permanentních stanicích bylo současně využito měření, které zde provozovatel zajišťuje po celých 24 hod.



Obr. 4 Vztažná síť / měření GNSS.

Rekapitulace rozsahu sítě pevných bodů, včetně rozšíření o permanentní stanice (Obr. 5). Maximální vzdálenost mezi body sítě vztažných bodů projektu je 32 km, po zahrnutí vybraných permanentních stanic obou států CZEPOS/SAPOS je maximální vzdálenost 168 km, přidáním permanentních stanic zapojených do EPN (EUREF) dostáváme robustní síť, která se rozprostírá na východě od Vratislavi (Polsko) po Hof (Německo) na západě, dále na severu od Postupimi (Německo) po Prahu (Česko) na jihu. Celková délka sítě je téměř 400 km. Zapojení okolních permanentních stanic ve výše uvedeném prostoru má za cíl posílit propojení sítě vztažných bodů a umožnit spolehlivé napojení na referenční systémy vyšší úrovně (Obr. 6).

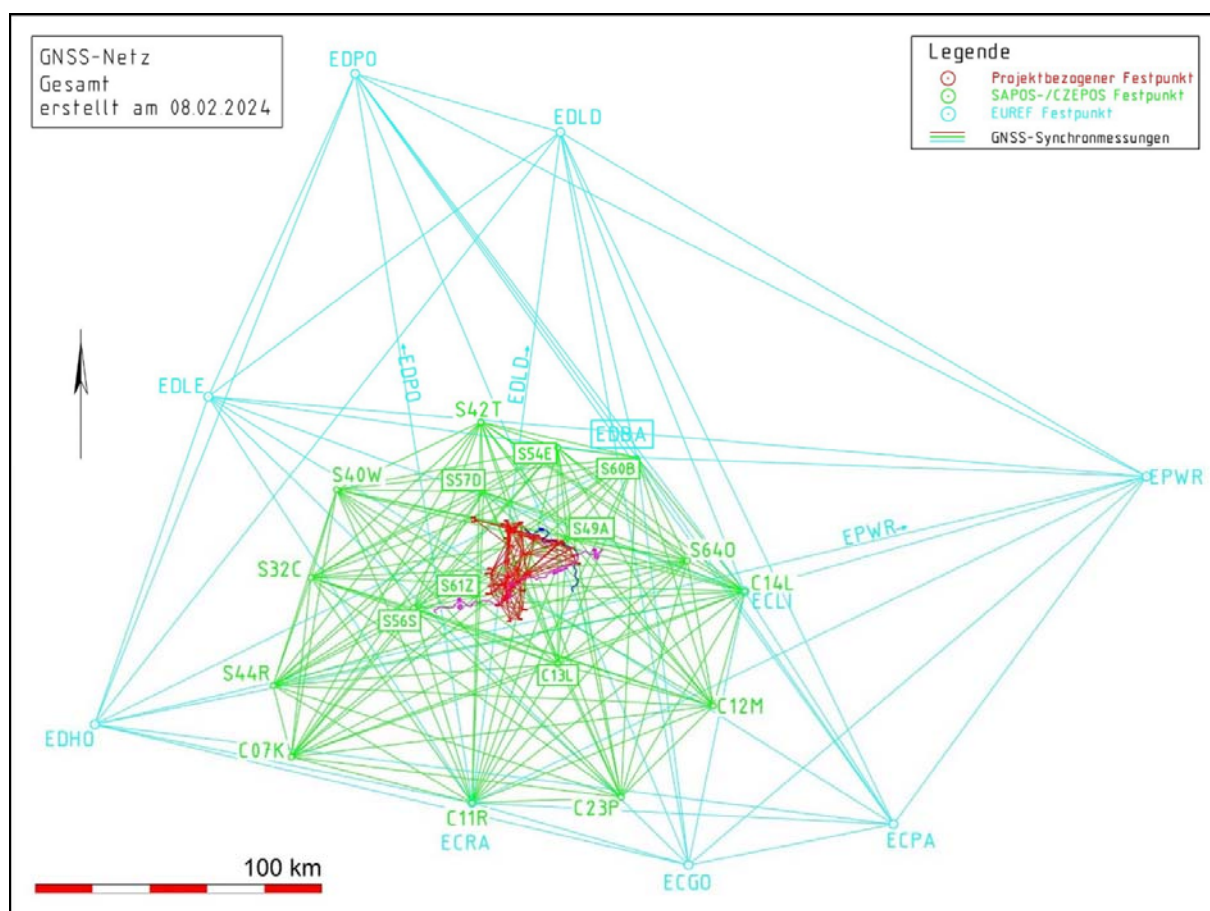


Obr. 5: Síť vztažných bodů, včetně permanentních stanic CZEPOS, SAPOS, EUREF

### 4.3 Zpracování GNSS měření

Následně po měřické kampani ve 12/2022 proběhla sumarizace měřených dat. Klíčovou otázkou byl výběr optimálního zpracovatelského software, který umožňuje zpracování sítě tohoto rozsahu a takto velkého množství naměřených dat, včetně zohlednění všech vstupních parametrů současného vědeckého poznání.

Vlastní zpracování měli v kontraktu kolegové ze zeměměřičské kanceláře DR.-ING. UDO FRANKE, GMBH. Rozhodnutí o výběru zpracovatelského software padlo na německý software WaSoft. Autorem software je Profesor Wanninger (Technická univerzita Drážďany), který byl také zodpovědný za celkové vyhodnocení sítě vztažných bodů. Na základě konzultace byla provedena kompletní příprava vstupních dat pro zpracování v software. Vstupní data zahrnují kompletní kontrolu náležitostí měření provedeného GNSS, data RINEX V3.04 ve formátu \*.crx permanentních stanic vstupujících do zpracování, individuální kalibrace použitých stanic (soubory Antex), modely ionosféry. Předzpracováním vstupních dat byla jednak provedena kontrola vstupních měřených dat, dále určena délka epochy na 15 sec. a výšková maska 10°, dále byl vyloučen družicový systém Beidou, upřesnění použití modelu ionosféry a odhad dalších troposférických parametrů.



Obr. 6 Schéma celkového síťové řešení

Při zpracování byla nejprve vyhodnocena vnitřní přesnost sítě. Vyhodnocení vnitřní přesnosti bylo provedeno na základě porovnání denních řešení s celkovým řešením. Porovnáním byly zjištěny nejistoty v poloze max. 2 mm a ve výšce max. 4 mm. Testování bylo provedeno na čtyřech skupinách bodů (přehled testovaných skupin 1) měřené body 37 bodů, 2) body CZEPOS 6 bodů, 3) body SAPOS 11 bodů, 4) body EPN(EUREF) 10 bodů).

Na základě těchto zjištění bylo rozhodnuto o konečném umístění sítě. Bylo zvoleno řešení, při kterém je zachována vnitřní přesnost, tedy výpočet jako volná síť s optimálním přizpůsobením oficiálním souřadnicím ETRS okolních stanic. Tímto způsobem byla vypočtena nová realizace ETRS89/EGBT22, s průměrnou maximální přesností bodu v poloze 2,9 mm a ve výšce 4,8 mm. Výsledkem porovnání s oficiálními souřadnicemi stanic CZEPOS a SAPOS je, že všechna měření, u kterých je požadována přesnost měřených dat  $> 10$  mm je možné měření realizovat prostřednictvím národních služeb CZEPOS a SAPOS, platí pro polohu i výšku. V případě vyšších požadavků na přesnost tj.  $< 10$  mm je nutné měření s připojením na síť vztažných bodů.

#### 4.4 Výškové řešení sítě vztažných bodů

Kromě polohového řešení sítě vztažných bodů, bylo nutné přistoupit k definici výškového řešení sítě. Rozdílnost závazných výškových systémů na území obou států v oblasti projektu (CZ: Bpv, DE: DHHN2016/DB\_REF2016) neumožňuje přenositelnost na celý projekt Krušnohorského tunelu (výškový rozdíl mezi oběma systémy je cca +150 mm). Cílem bylo tedy vytvoření jednotného a použitelného výškového systému v oblasti projektu Krušnohorského tunelu, včetně zajištění návaznosti na stávající státní výškové systémy. Standardizovaným výškovým systémem v oblasti projektu je Evropský vertikální referenční systém, realizace EVRF2019, který poskytuje standardní výšky s referenčním nulovým bodem v Amsterdamu, zohledňující pevné přílivové časy. Pro naše řešení jsme se rozhodli pro tzv. střední přílivový systém. V období 09/2022-02/2023 bylo provedeno několik výškových měření, za účelem připojení bodů vztažné sítě na vybrané body ČSNS (České státní nivelační sítě), u kterých bylo možné zajistit výšky EVRF2019. Obdobná měření byla provedena v německé části projektu. Výšky připojovacích bodů v EVRF2019 byly poskytnuty ČÚZK, resp. BKG (Spolkový úřad pro Kartografii a Geodézii v Lipsku). Připojovací měření byla provedena celkem na osmi místech, opakovaným nezávislým měřením metodou geometrické nivelace ze středu v kvalitě přesné nivelace. Vlastní měření byla realizována přístroji Leica LS15 se sadou invarových latí. Délka nivelačních pořadů byla až 2 km a v jednom případě bylo nutné překonat výškový rozdíl cca 90 m. Dále za účelem nezávislé kontroly byl záměr provést nivelační měření ve středu sítě, mezi dvěma sousedními body sítě (bodem vztažné sítě na českém území a německém území na hřebenu Krušných hor v oblasti mezi obcemi Fojtovice(CZ) a Rudolphsdorf(DE)). Kontrolní měření bylo s ohledem na podmínky a charakter území nakonec provedeno trigonometrickou nivelací přístrojem Leica MS60 s využitím trojpodstavcové soupravy, s celkovou délkou pořadu cca 3 km. Vyrovnané měřené výškové rozdíly byly opraveny o normální tíhovou korekci. Výsledkem bylo určení výšek celkem 11 bodů vztažné sítě, určené předchozím GNSS měřením, v evropském výškovém systému EVRF, s přesností 2 mm.

Zpracováním a vyrovnáním GNNS měření jsme získali elipsoidické, tj. matematicky definované výšky pro jednotlivé body vztažné sítě. Vztah mezi elipsoidickou výškou a normální výškou lze stanovit pomocí kvazigeoidních modelů. V oblasti projektu existují tři oficiální kvazigeoidní modely. Na českém území je to model QGZÚ2013 definovaný ČÚZK, na německém území je to model GCG2016, definovaný BKG (Spolkový úřad pro Kartografii a Geodézii v Lipsku). Oba modely se v příhraniční oblasti částečně překrývají,

překryt však není v rozsahu celého projektu tunelu. Dále byl použit evropský model kvazigeoidu EGG2015, poskytnutý Universitou v Hannoveru, který se vztahuje na celou oblast projektu.

Následně byly vypočteny rozdíly pro sousední body vztažné sítě a tam kde to bylo možné bylo provedeno porovnání mezi modely kvazigeoidů. Zjištěné odchylky byly max. 5 mm. Poté bylo rozhodnuto, že pro oblast projektu na území České republiky bude přepočten proveden dle QGZÚ2013, pro oblast projektu na území Německa bude přepočten proveden dle GCG2016 a přeshraniční oblast bude přepočtena dle EGG2015. Započtením systematických chyb použitých výškových základů a nahodilých chyb měření byla určena přesnost vypočtených bodů vztažné sítě  $m_H < 5$  mm.

#### 4.5 Parametry transformace

Pokud vypočteme parametry transformace mezi novým referenčním systémem určeným GNSS a stávajícími systémy získáme následující přesnosti (Tab. 1).

Tab. 1:

Transformace do systému	Počet bodl	Přesnost		Poznámka
		Průměrná / max. hodnota		
		Poloha (mm)	Výška (mm)	
ETRS89 (CZ+DE)	17	5 / 15	4 / 16	Platí pouze pro CZEPOS+SAPOS
ETRS89 (CZ)	6	3 / 7	2 / 5	Platí pouze pro CZ
ETRS89 (DE)	11	3 / 7	3 / 8	Platí pouze pro DE
DB REF2016	15	6 / 16	4 / 14 (8 / 31)*	Platí pouze pro železniční trasy
S-JTSK / Bpv	6	43 / 84	3 / 8	Platí pouze pro CZ

Výsledné parametry výškové transformace

Systematický rozdíl CZ/DE (prostřednictvím modelu kvazigeoidu)

Výsledek (Bpv – DHHN2016): -148,6 ( $\pm 7$  mm)

Systematický rozdíl CZ/DE (prostřednictvím EVRF2019)

Výsledek (Bpv – DHHN2016): -147,0 ( $\pm 2$  mm)

*Poznámka: nutná správná interpretace znaménka rozdílu*

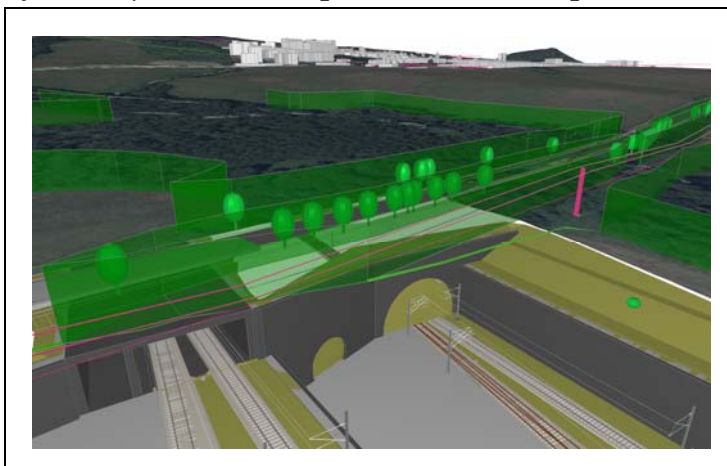
#### 4.6 Rekapitulace sítě vztažných bodů

V období 01/2022–02/2023 bylo provedeno určení polohy a výšky sítě pevných bodů v systému ETRS89/EGBT22 + EVRF2019 s celkovým počtem 23 bodů, s přesností v poloze 3 mm a ve výšce 5 mm. Realizací byl položen základ pro veškeré navazující projekční a geodetické práce spojené s dalšími fázemi projektu.

## 5 Zajištění podkladů pro BIM model

Pro celý projekt tunelového tělesa byl zpracován BIM model (Obr. 7). Zpracování bylo opět rozděleno na německou a českou část projektu. Hlavním BIM koordinátorem celého projektu byla společnost BUNG. V rámci naší náplně geodetických prací bylo zajištění a zpracování vstupních dat

pro celkový BIM model projektu. Mapové podklady z geodetického zaměření, data DMR5G a podklady od správců TI bylo nutné zpracovat dle předepsaného BEP projektu a IFC struktury. K vybraným grafickým 3D prvkům výkresu, byly přiřazeny zvolené jednotné atributové hodnoty.



Obr. 7 BIM model v oblasti portálu

Zpracování BIM modelu

v IFC formátu bylo provedeno v prostředí sw RIB-software a Simplebim. Dokončení je plánováno na 04/2024.

## 6 Závěr

Jedná se v současnosti o nejdelší tunel připravovaný jak na území Česka, tak na území Německa. Celý projekt, resp. jeho příprava je financována z veřejných zdrojů. Jedním z nejzásadnějších a také nejnáročnější částí geodetických prací byla definice a realizace sítě vztažných bodů. Na rozdíl od ostatních geodetických činností to byla práce ve velké míře nová a přinesla nám mnoho nových zjištění a zkušeností. Velmi oceňuji přístup a nadšení našich německých kolegů Stejně tak komunikace po celou dobu projektu s celým mezinárodním projekčním týmem byla vstřícná až nadstandartní. Všem za tuto zkušenost a spolupráci velmi děkuji.

### *Použité materiály*

[1] *Prezentace Festpunkt-Netz NBS Dresden-Prag / Gleisbau 2024, Berlin 03/2024*

*Tilman Franke, Matthias Wolf / Dr.-Ing. Udo Franke GmbH.*

[2] *Bericht zur Auswertung der GNSS-Messkampagne Festpunktfeld „Neubaustrecke Dresden-Prag“. Report (Version 1.1, 03.03.2023)*

*Prof. Lambert Wanninger / Radebeul.*

- [3] *A new European Gravimetric (Quasi)Geoid EGG2015. Poster Presentation at the XXVI General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG), Earth and Environmental Sciences for Future Generations, 22 June – 02 July 2015, Prague, Czech Republic, 2015.*  
*Denker, H. / Hannover.*
- [4] *Veřejně prezentovaná data z [www.cuzk.cz](http://www.cuzk.cz), [www.vrtky.cz](http://www.vrtky.cz), [www.bkg.bund.de](http://www.bkg.bund.de)*

*Recenzoval: Ing. Václav Šanda  
GEFOS a.s.*