

TUNELY PRO NĚMECKÉ ŽELEZNIČNÍ TRADICE A INOVACE

TUNNELS FOR GERMAN RAILWAYS – TRADITION AND INNOVATION

HEINZ EHRBAR

ABSTRAKT

V současné době je v Německu ve fázi výstavby několik velkých projektů, které mají zlepšit provoz na státních i transevropských tratích. Šest z celkového počtu devíti transevropských železničních koridorů prochází přes Německo. Stavba „Dopravní projekt německé jednoty č. 8“ (VDE 8) na skandinávsko-středomořském koridoru spojuje Berlín s Norimberkem. Po uvedení do provozu se doba jízdy mezi Mnichovem a Berlínem zkrátí ze současných sedmi na čtyři hodiny. V prosinci 2015 byla uvedena do provozu 107 kilometrů dlouhá vysokorychlostní trať mezi Erfurtem a Halle/Lipskem a v roce 2017 bude následovat 123 kilometrů dlouhý úsek mezi Ebensfeldem (Norimberk) a Erfurtem. Vybudovalo se 25 tunelů s celkovou délkou 56,4 kilometru. Ve fázi výstavby je dále stavba Stuttgart – Ulm (Evropský koridor Rýn–Dunaj), na kterém je 35,1 kilometru nových tunelů v městské oblasti Stuttgartu (stavba Stuttgart 21) a 30,3 kilometru tunelů na stavbě vysokorychlostní trati mezi Wedlingenem a Ulmem. Rýnsko-alpský koridor spojuje přístavy Rotterdam a Antverpy na severu s Janovem na jihu. Součástí tohoto koridoru je i prodloužení stávající trati mezi Karlsruhe a Bazilejí. V květnu 2016 byla zahájena ražba tunelu pod městem Rastatt o délce 4,2 kilometru pomocí plnoprofilového tunelovacího stroje. Tunel Rastatt bude prvním velkým tunelem v Německu, kde se bude používat systém informačního modelování stavby (Building Information Modelling – BIM).

ABSTRACT

Several major projects are actually in Germany under construction in order to improve the national and the transeuropean railway traffic. Six of a total of nine transeuropean railway corridors cross Germany. On the Scandinavian-Mediterranean Corridor, the project “German Unit No. 8” (VDE 8) links Berlin with Nuremberg. Once opened the travel time between Munich and Berlin will be reduced from actually seven hours to four hours. In December 2015 the 107 kilometres long new high-speed line between Erfurt and Halle/Leipzig was opened, whereas the 123 kilometres long section between Ebensfeld (Nuremberg) and Erfurt will follow in 2017. 25 tunnels with a total length of 56.4 kilometres were constructed. The project Stuttgart – Ulm (European Rhine-Danube Corridor), containing 35.1 kilometres of new tunnels in the urban area of Stuttgart (Project Stuttgart 21) and 30.3 kilometres of tunnel on the Wendlingen – Ulm high speed rail link is also under construction. The Rhine-Alpine Corridor connects the sea ports Rotterdam and Antwerp in the north with Genoa in the south. The extension of the existing Karlsruhe – Basel rail link forms part of this corridor. In May 2016, the TBM-drive for the 4.2 kilometres long tunnel under the city of Rastatt started. The Tunnel Rastatt will be the first major railway tunnel in Germany where Building Information Modelling (BIM) is applied.

1. POČET NĚMECKÝCH ŽELEZNIČNÍCH TUNELŮ

Německo leží ve středu Evropy. Má plochu 357 340 km². Z důvodu své polohy je Německo křižováno mnoha koridory evropské železniční sítě. Vysoké hory pokrývají pouze 3 % jeho povrchu. Z toho důvodu je hustota železničních tunelů (bez tunelů metra) relativně nízká ve srovnání se sousedními německy mluvícími státy, Rakouskem a Švýcarskem (viz tab. 1).

Nicméně Německo má významný počet tunelů na stávající klasické železniční síti a od roku 1991, kdy byly uvedeny do provozu vysokorychlostní železniční trati spojující Hannover s Würzburgem a Mannheim se Stuttgartem, také na vysokorychlostní železniční síti. Od té doby bylo dokončeno několik dalších důležitých staveb (stavba Norimberk – Ingolstadt, 2006; stavba VDE 8.2 Erfurt – Lipsko/Halle, 2015). V současné době jsou ve fázi projektování nebo i ve fázi výstavby čtyři velké stavby vysokorychlostních

Tab. 1 Provozované tunely a tunely ve výstavbě v německy mluvících zemích

Table 1 Tunnels in operation and tunnels under construction in the German speaking countries

země country	plocha surface	počet železničních tunelů number of railway tunnels	celková délka (km) total length (km)	poměrná délka tunelu (m/km ²) specific tunnel length (m/km ²)
Německo / Germany	357 340	810 [1]	693	1,9
Rakousko / Austria	83 879	356 [2]	529	6,3
Švýcarsko / Switzerland	41 285	559 [3]	720	17,4

1. STOCK OF GERMAN RAILWAY TUNNELS

Germany is located in the centre of Europe and has a surface of 357'340km². Many European Railway Network Corridors cross Germany due to its central location within Europe. Only 3% of the surface consists of high mountains. Therefore, the density of railway tunnels (without Metro Tunnels) is relatively low compared to the neighbouring other German speaking countries Austria and Switzerland (see Table 1).

Nevertheless, Germany has an important stock of existing tunnels on the existing classic railway network and since 1991, when the high speed rail links Hannover – Würzburg and Mannheim – Stuttgart were opened, also on the high speed rail network. Since then several other important projects became completed (Nuremberg – Ingolstadt, 2006; Project VDE 8.2 Erfurt – Leipzig/Halle, 2015). Actually four major high speed rail projects with a total length of more than 400 kilometres and a total tunnel length of 125 kilometres are in the phase of the design or even under construction (see Table 2).

2. DEVELOPMENT OF THE GERMAN RAILWAY NETWORK

Germany knows the instrument of the Federal Transport Infrastructure Plan for the planning of the development of the road, rail and

Tab. 2 Současné velké železniční stavby v Německu (výběr)
Table 2 Actual Major Railway Projects in Germany (selection)

název stavby project name	z from	do to	evropský koridor european corridor	celková délka (km) total length (km)	počet tunelů number of tunnels	délka tratí v tunelech (km) track length in tunnels (km)
stavba VDE 8.1 project VDE 8.1	Ebensfeld	Erfurt	Skandinávie – Středomoří Scandinavian – Mediterranean	107	22	41
Stuttgart S21 Stuttgart S21	v městské oblasti Stuttgartu within the urban area of Stuttgart		Rýn – Dunaj Rhine – Danube	54,6 54.6	11	30,4 30.4
Wendlingen – Ulm Wendlingen – Ulm	Wendlingen Wendlingen	Ulm Ulm	Rýn – Dunaj Rhine – Danube	59,6 59.6	9	30,3 30.3
Karlsruhe – Bazilej Karlsruhe – Basel	Karlsruhe Karlsruhe	Bazilej Basel	Rýn – Alpy Rhine – Alpine	182	4	22,8 22.8

tratí s celkovou délkou více než 400 kilometrů a délkou tunelů 125 kilometrů (viz. tab. 2).

2. BUDOVNÍ NĚMECKÉ ŽELEZNIČNÍ SÍTĚ

V Německu se používá nástroj nazvaný *Plán výstavby federální dopravní sítě*, který slouží pro plánování výstavby komunikací, železnic a vodních cest. Plán je stanoven pro nepravidelné časové intervaly od 5 do 13 let. Současný *Plán výstavby federální dopravní sítě* vznikl v roce 2003 a bude inovován v roce 2016 s přihlédnutím k zájmům každého spolkového státu, ale také k zájmům hlavních provozovatelů infrastruktury, jako jsou například Německé železnice. Proces politického rozhodování je v současnosti ve své závěrečné fázi. Plán bude doprovázen odpovídajícími akty rozšiřování, které musí být schvalovány spolkovým parlamentem.

Analýza současných trendů rozvoje železnic ukazuje nárůst dálkové osobní dopravy o 26 %, příměstských vlaků v městských oblastech o 16 % a nákladní dopravy, vycházející hlavně z námořních přístavů, o 42 %. Tato předpověď vede k následujícím požadavkům na budování železniční infrastruktury v následujících 15 letech (obr. 1):

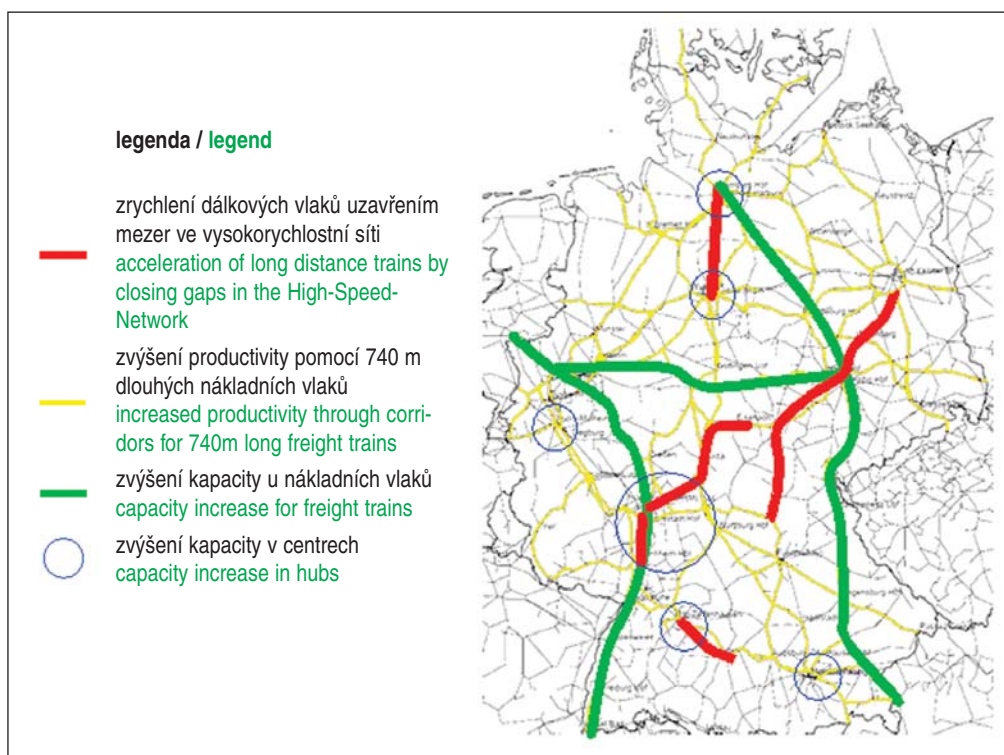
1. urychlení dálkové osobní dopravy uzavřením mezer ve stávající vysokorychlostní železniční síti (Hamburk – Hannover, Berlín – Norimberk, Frankfurt nad Mohanem – Erfurt, Wendlingen – Ulm);
2. zvýšení kapacity nákladní dopravy budováním koridorů pro 740 metrů dlouhé vlakové soupravy (Západní koridor na koridoru Rýn – Alpy, Východní koridor na koridoru Skandinávie – Středomoří a Severní koridor Východ – Západ);
3. zvýšení kapacity v uzlech v městských oblastech (Kolín, Frankfurt, Stuttgart, Mnichov, Hannover, Hamburk).

U několika z těchto opatření plánovaných pro budování železniční sítě jsou již stavby v současné době ve fázi plánování nebo výstavby (viz odst. 3.1).

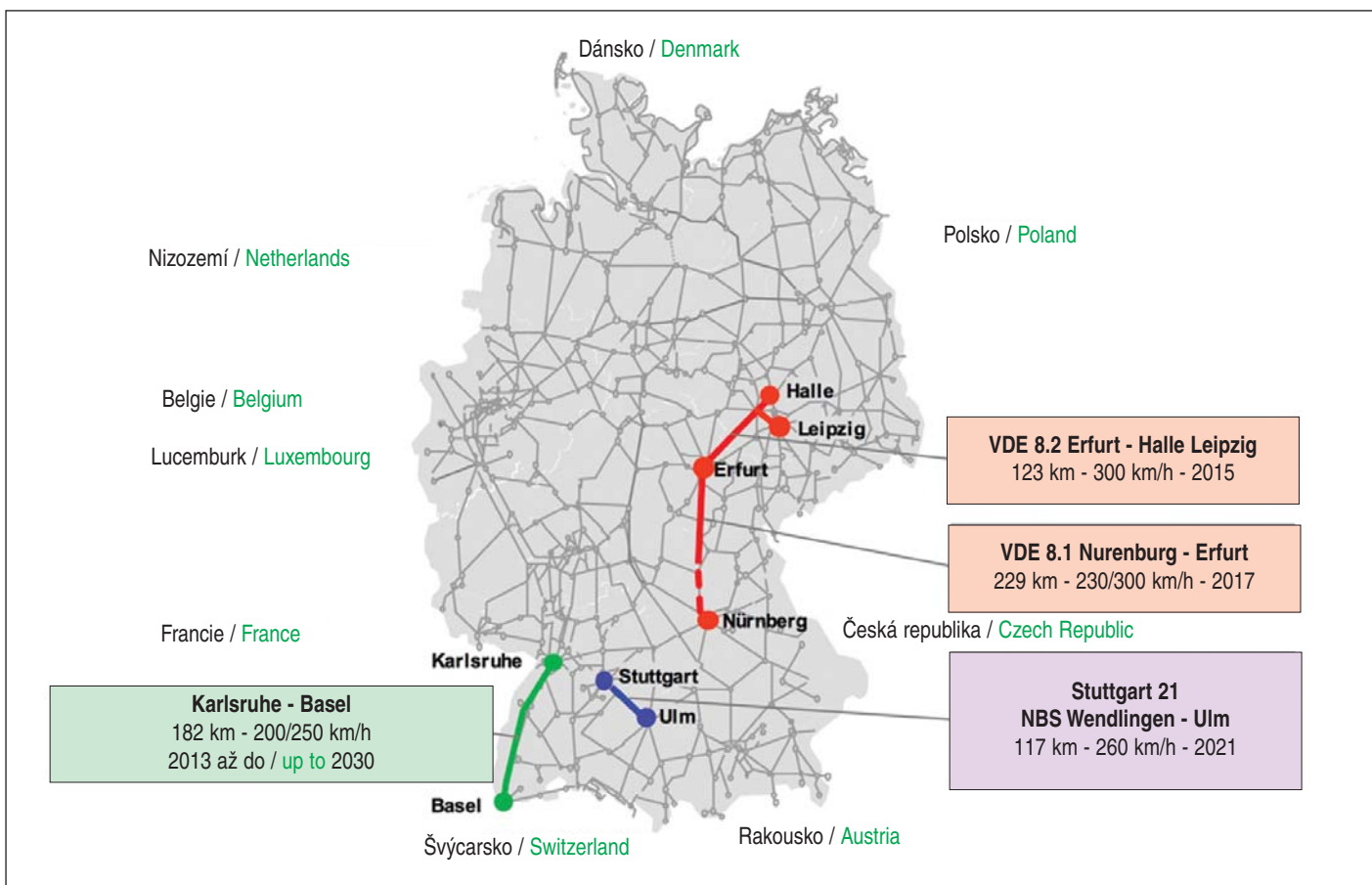
the waterways which is defined in irregular time intervals from 5 to 13 years. The actual the Federal Transport Infrastructure Plan dates from 2003 and shall be defined newly in 2016 taking into account the interests of each federal state, but also of mayor infrastructure operators, such as German Railway. The political decision making process is actually in its final phase. The Federal Transport Infrastructure Plan will be accompanied by corresponding expansion acts, which must be approved by the federal parliament.

The analysis of the actual growth trends for the railway indicates a growth of 26% for the long distance passenger traffic, of 16% for commuter trains in urban areas and of 42% for the freight traffic, mainly starting at the sea ports. This forecast leads to the following requirements for the development of the railway infrastructure within the next 15 years (Fig. 1):

1. acceleration of the long distance passenger traffic by closing gaps in the existing high speed rail network (Hamburg – Hannover, Berlin – Nuremberg, Frankfurt on the Main – Erfurt, Wendlingen – Ulm);



Obr. 1 Stavbní opatření stanovená ve směrném plánu Německých železnic (Deutsche Bahn AG) "Network 2030"
Fig. 1 Construction measures defined by the masterplan "Network 2030" of German Railway Ltd.



Obr. 2 Velké německé projekty vysokorychlostních železničních tratí ve výstavbě
Fig. 2 Major german highspeed railway projects under construction

3. SOUČASNÉ VÝZVY PRO VÝSTAVBU NĚMECKÝCH ŽELEZNIČNÍCH TUNELŮ

3.1 Nové velké stavby

Souběžně s přestavbou stávajících tunelů železniční infrastruktury s celkovou délkou tratí více než 120 km jsou ve výstavbě tři velké stavby. Stavební práce postupují na délce 65 kilometrů (Stuttgart S21, Wendlingen – Ulm, Karlsruhe – Bazilej), zatímco na stavbě VDE 8.1 probíhá instalace železničního zařízení ve 41 kilometrech tunelů. Všechny tyto tunelové stavby jsou součástí projektu sítě evropských železničních koridorů (Koridory TEN) (obr. 2).

Na všech těchto stavbách je nutné zvládat problémové horninové podmínky. Jedná se například o:

- kras (Wendlingen – Ulm);
- bobtnavou horninu (Stuttgart S21);
- ražbu pod hladinou podzemní vody (Tunely Rastatt, Karlsruhe – Bazilej, Stuttgart 21).

Podmínkám přizpůsobená projekční řešení a odpovídající stavební postupy, jako například použití předem definované koncepce průzkumu pro zjišťování krasu na tunelech Wendlingen – Ulm v několika různých krocích, jako jsou geofyzikální a seismický průzkum, průzkumné vrty z povrchu a průzkumné vrty do čela výrubu [1] (obr. 3), umožní zvládnutí těchto obtížných horninových poměrů. V případě jejich výskytu budou krasové jevy sanovány podle předem stanovených pravidel.

3.2. Tunel Rastatt

Výstavba tunelu Rastatt na nové železniční trati mezi Karlsruhe a Bazilejí bude pod městem Rastatt a stávající železniční trati probíhat v problematických podmínkách – ve zvodnělých rozvolněných horninách pod nízkým nadloží. Ražba tohoto 4 270 metrů dlouhého tunelu bude provedena dvěma

2. increase of the capacity for the freight traffic by the development of corridors for 740 metres long trains (West-Corridor on the European Rhine – Alpine Corridor, East-Corridor on the Scandinavian – Mediterranean Corridor and a Northern East-West Corridor);

3. increase of the capacity in the knots in urban areas (Cologne, Frankfurt, Stuttgart, Munich, Hannover, Hamburg).

On several of these planned measures for the development of the railway network, projects are actually already in the planning or construction phase (cf. 3.1).

3. ACTUAL CHALLENGES FOR GERMAN RAILWAY TUNNELLING

3.1 New major projects

In parallel to the refurbishment of the existing railway infrastructure new tunnels with a total track length of are in three major projects under construction. On a length of 65 kilometres the civil work is going on (Stuttgart S21, Wendlingen – Ulm, Karlsruhe – Basel), whereas on 41 kilometres of tunnels on the project VDE 8.1 the installation of the railway equipment is going on. All of these tunnel projects form part of the European Railway Corridors Network (TEN – Corridors) (Fig. 2).

In all of these major projects challenging ground conditions have to be mastered, such as

- karsts (Wendlingen – Ulm);
- swelling rock (Stuttgart S21);
- tunnelling in groundwater tables (Tunnel Rastatt, Karlsruhe – Basel and Stuttgart 21).

Customized design solutions and corresponding construction procedures shall allow the mastering of these challenging ground

Tab. 3 Německé železniční tunely na vysokorychlostních železničních tratích, na kterých probíhají stavební práce
Table 3 German railway tunnels on high speed rail links with civil works under construction

název stavby / project name	tunelovací metoda / tunnelling method	celková délka trati (m) total Track length (m)
Wendlingen – Ulm		30.255 / 30,255
tunel Albvorland / Albvorlandtunnel	TBM	8.176 / 8,176
tunel Rastplatz Aichelberg / Tunnel Rastplatz Aichelberg	konvenční / conventional	253
tunel Bossler / Bosslertunnel	TBM/konvenční / TBM/conventional	8.806 / 8,806
tunel Steinbühl / Steinbühl tunnel	konvenční / conventional	4.847 / 4,847
tunel BAB 8 / Tunnel BAB 8	konvenční / conventional	378
tunel Widdderstall / Tunnel Widdderstall	hloubení / cut an cover	962
tunel Merklingen / Tunnel Merklingen	konvenční / conventional	394
tunel Imberg / Tunnel Imberg	konvenční / conventional	499
tunel Alabastieg / Alabastiegtunnel	konvenční / conventional	5.940 / 5,940
Stuttgart S21		30.409 / 30,409
tunel Filder / Fildertunnel	TBM/konvenční / TBM/conventional	9.468 / 9,468
tunel Obertürkheim / Tunnel Obertürkheim	konvenční / conventional	5.730 / 5,730
Untertürkheimer Kurve	konvenční / conventional	1.080 / 1,080
tunel Feuerbach / Tunnel Feuerbach	konvenční / conventional	3.026 / 3,026
tunel Bad Cannstatt / Tunnel Bad Cannstatt	konvenční / conventional	3.507 / 3,507
tunel Flughafenkurve / Tunnel Flughafenkurve	konvenční / conventional	1.574 / 1,574
tunel Flughafen / Flughafentunnel	konvenční / conventional	2.065 / 2,065
tunel Denkendorf / Tunnel Denkendorf	konvenční / conventional	768
tunel S-BahnRosenstein / S-Bahntunnel Rosenstein	konvenční / conventional	1.170 / 1,170
tunel na S-Bahn / S-Bahntunnel	hloubení / cut an cover	1.157 / 1,157
Talquerung s hlavní stanicí / Talquerung with main station	hloubení / cut an cover	864
Karlsruhe – Bazilej / Karlsruhe – Basel		4.270 / 4,270
tunel Rastatt / Tunnel Rastatt	koombinovaný štít / mix shield	4.270 / 4,270
celkem / total		64.934 / 64,934

kombinovanými štíty, a to i v kritických oblastech podcházení říčky s velmi nízkým nadložím v oblasti přírodní rezervace a pod stávající provozovanou železniční tratí v údolí Rýna.

Ve třech případech bude používána metoda zmrazování horniny solným roztokem s cílem zlepšit a zajistit nepropustnost horniny kolem budoucí ražby (obr. 4).

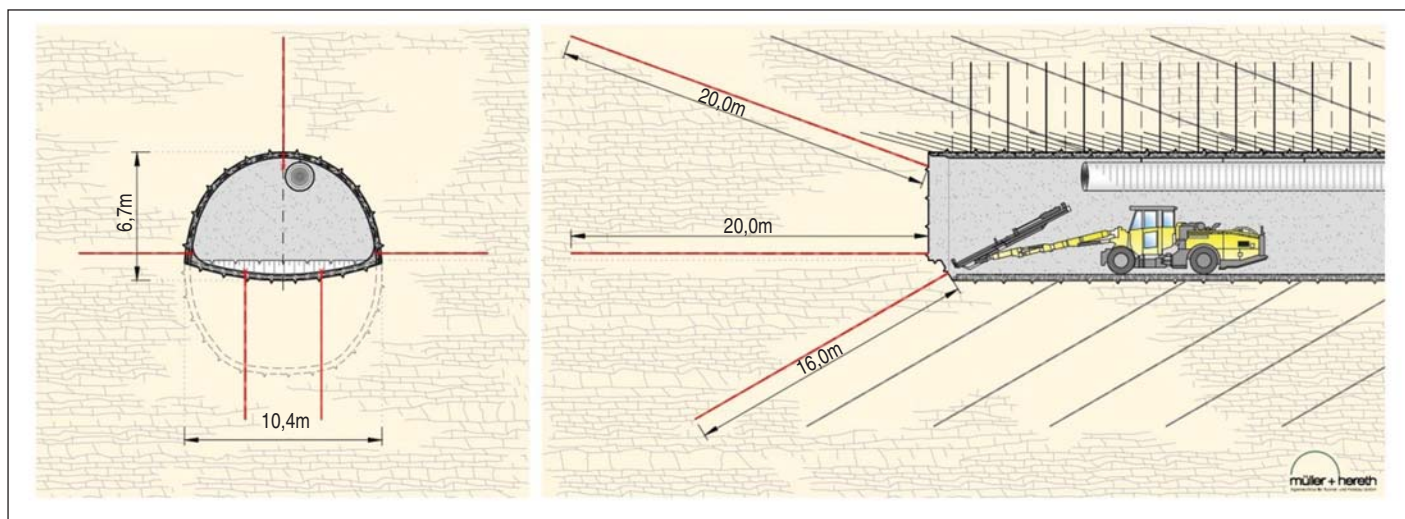
3.2.1 Zmrazování hornin pro podcházení řeky Federbach
Přírodní rezervace „Federbach-meadowlands“ se bude podcházet v délce 300 metrů pomocí dvou plnoprofilových tunelovacích strojů o průměru 10,97 metru pod nadložím s minimální výškou 5 metrů. Zmrazení nadloží má za úkol zabránit zdvihání nadloží

conditions, as e.g. the application of predefined exploration concept for the karst detection for the tunnels Wendlingen – Ulm in several different steps of, such as geophysical and seismic detection, exploratory drillings from the surface and exploratory drillings from the tunnel face [1] (Fig. 3).

In case of the occurrence of karsts, they will be filled according to predefined rules.

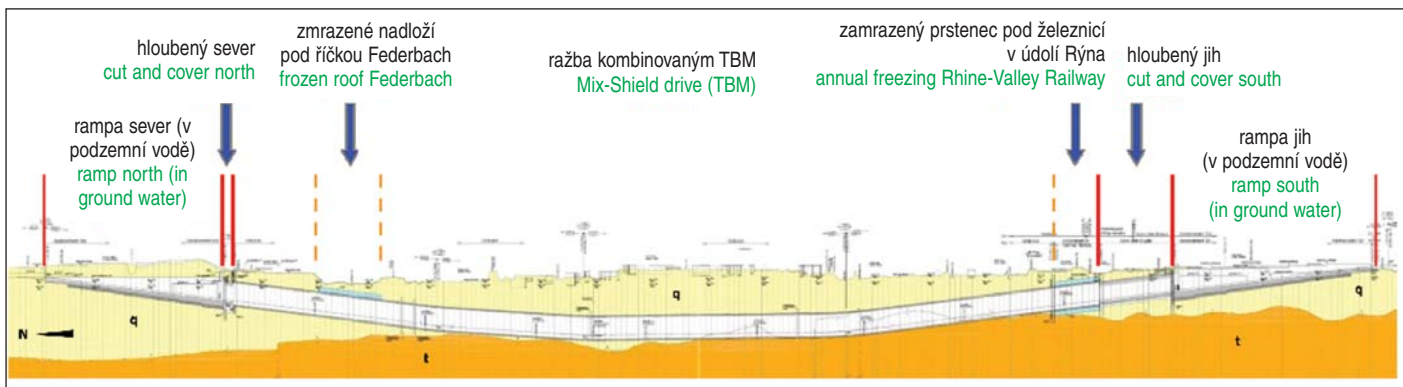
3.2 Tunnel Rastatt

The challenge of the Rastatt Tunnel on the new railway line Karlsruhe – Basel is the construction of a tunnel in saturated



Obr. 3 Průzkumné vrty do čelby tunelu při jeho ražbě pro zjištění krasu u tunelu Steinbühl [1]

Fig. 3 Exploratory drillings from the tunnel drive for Karst detection in the Steinbühl Tunnel [1]



Obr. 4 Podélný řez tunelu Rastatt se zmrazovanými oblastmi [2]

Fig. 4 Longitudinal profil of the Rastatt Tunnel with freezing zones [2]

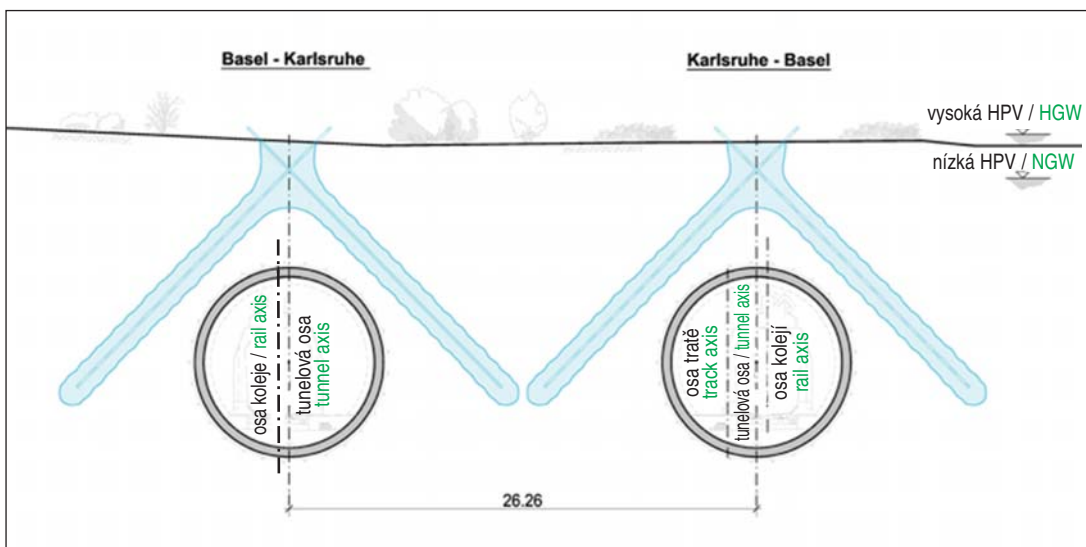
nad stropem tunelu nebo výronům během ražby kombinovanými štíty. Při zvoleném návrhu budou vztlakové síly svedeny aktivováním třecích sil ve zmražené oblasti dolů do okolní horniny (obr. 5).

3.2.2 Zmrazování hornin pro podcházení stávající železniční trati v údolí Rýna

Podobný úkol jako v případě ražby v blízkosti severního portálu se musí řešit i v blízkosti jižního portálu, kde se musí stávající trať v údolí Rýna podcházet na délce 220 metrů také při nízkém nadloží 5 metrů. Stávající železniční trať má na evropském koridoru „A“ tu nejvyšší důležitost. Omezení provozu na ní je téměř nemožné. Z tohoto důvodu bylo nutné nalézt stavební metodu, která ovlivní železniční provoz pouze minimálně. Objednatel dodaný projekt je založen na konvenční ražbě z jižní strany metodou zmrazování. Horizontální zmrazování horniny se použije pro vytvoření 1 metru silného zmraženého horninového prstence. Zmrazovací trubky se budou instalovat okolo tunelu na úseku dlouhém 110 metrů ze dvou svislých šachet metodou řízeného horizontálního vrtání. V případě, že zmrazovaná oblast nebude těsná již v prvním kroku, dá se provést druhá řada vrtů. Použije-li se alternativa navržená zhotovitelem, bude ražba prováděna plnoprofilovým tunelovacím strojem ze severní strany, což by byla nová výzva v historii ražeb mechanizovanými štíty (obr. 6).

3.2.3 Zmrazování horniny pro ražbu 17 metrů dlouhých propojek mezi jednokolejnými tunelovými troubkami

Všech devět propojek se také musí razit v rozvolněné hornině pod hladinou podzemní vody. Použije se zmrazování horniny



Obr. 5 Zmrazování nadloží v oblasti přírodní rezervace [2]

Fig. 5 Roof freezing in natural reserve zone [2]

loose ground with shallow overburden under the city of Rastatt and the existing railway. The excavation of the 4'270 metres long tunnel will be done with two Mixshield-TBM's also in the critical zones of the underpassing of a small river with very shallow overburden in a nature reserve zone and under the actual Rine-Valle railway under operation.

Ground freezing with the brine method will be used on three occasions in order to improve and impermeabilise the ground around the future excavation (Fig. 4).

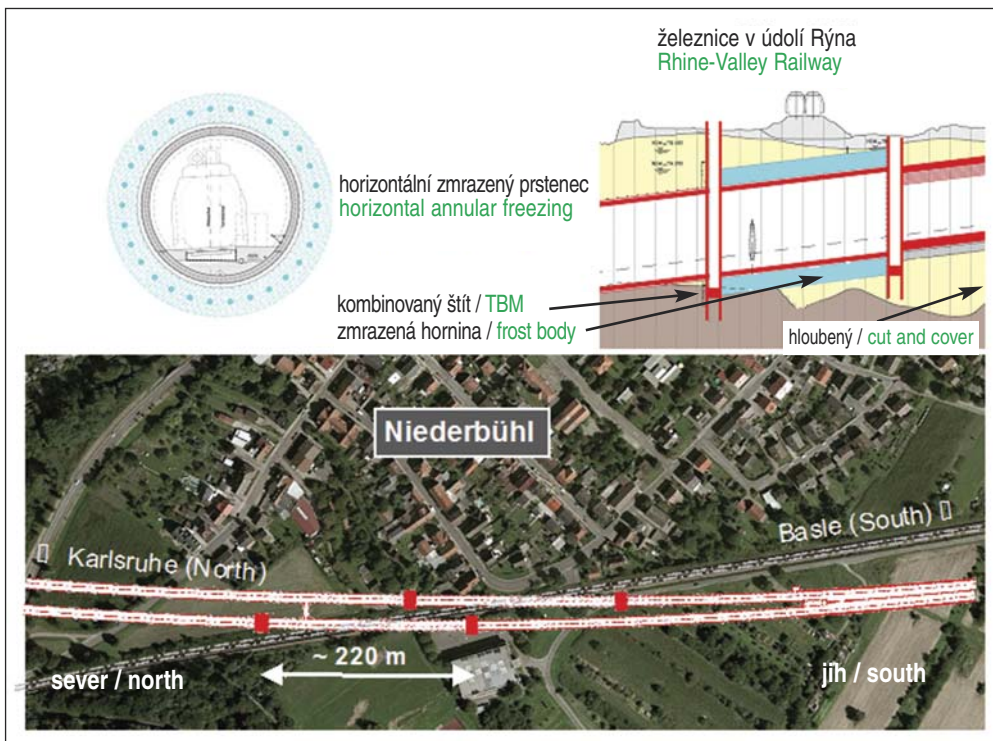
3.2.1 Ground freezing for the underpassing the Federbach-river

The natural reserve of the "Federbach-meadowlands" will be underpassed on a length of 300 metres with two TBM's with an excavation diameter of 10.97 metres with shallow overburden with a minimum of 5 metres. A frozen roof has the task to prevent ground heaves and/or blowouts during the TBM-drive with a closed cover above the tunnel roof. With the chosen design the uplift forces will be led downwards into the surrounding ground by activating the friction forces of the frozen zone (Fig. 5).

3.2.2 Ground freezing for the undercrossing of the existing Rhine-Valley railway

A similar task as close to the northern portal has to be fulfilled close to the southern portal, where the line of the existing Rine-Valley Railway has to be undercrossed also with a shallow overburden of 5 metres on a length 220 metres. The existing railway is of highest importance on the European

Corridor A. Restrictions on its operation are nearly impossible. Therefore, a construction method had to be found, which affects the railway operation to a minimum. The owner's design based on a conventional excavation from the southern side by using the freezing method. Horizontal annular freezing will be used in order to create a frozen ring of 1.0 metres thickness. Horizontal freezing pipes will be driven on a length of 110 metres from two vertical shafts by using the horizontal directional drilling method – a special



Obr. 6 Horizontální zmrazování horninového prstence pro podcházení stávající železniční trati [2]
 Fig. 6 Horizontal annular freezing for undercrossing of existing railway line [2]

z obou tunelových trub. Speciálním problémem jsou geometrická omezení z důvodu velmi malého pracovního prostoru uvnitř jednokolejných tunelových trub (obr. 7).

Při práci na velkých stavbách se musí zvládat nejenom technické problémy. Na mnoha dalších stavbách se vyskytly i problémy, které neměly technický charakter. Jednalo se například o:

- z politických a finančních důvodů přerušovanou realizaci stavby VDE 8;
- neochotu části veřejnosti a politické reprezentace akceptovat základní prvky stavby (Stuttgart 21);
- nedostatek přijetí klíčových prvků stavby Karlsruhe – Bazilej veřejností.

Důsledky těchto obtíží spočívaly hlavně v delší době realizace stavby, ztrátě důvěry u části veřejnosti a některých politiků

challenge in the project. A second row of drillings can be placed just in case that the frozen zone will not become tight in the first step. Based on a contractor's alternative, the excavation will be done by TBM from the northern side, a new challenge in the history of TBM drives (Fig. 6).

3.2.3 Ground freezing for the excavation of the 17 metres long cross passages between the single track tubes

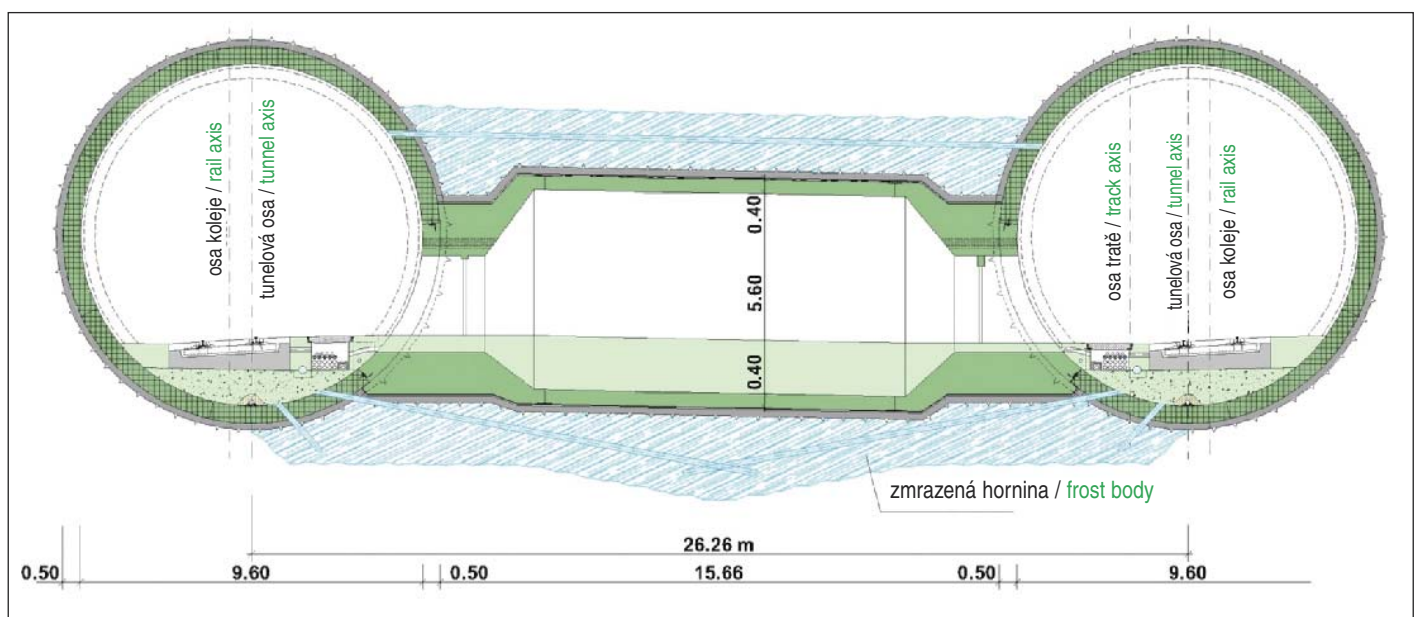
Also all nine connecting galleries have to be excavated in loose ground below the the ground water table. Ground freezing from both tunnel tubes will be applied. The special challenge are the geometrical restrictions due to the very limited working space within the single track tubes. Freezing plants will be installed in each of the two single track tubes (Fig. 7).

Not only technical challenges have to be mastered when working with

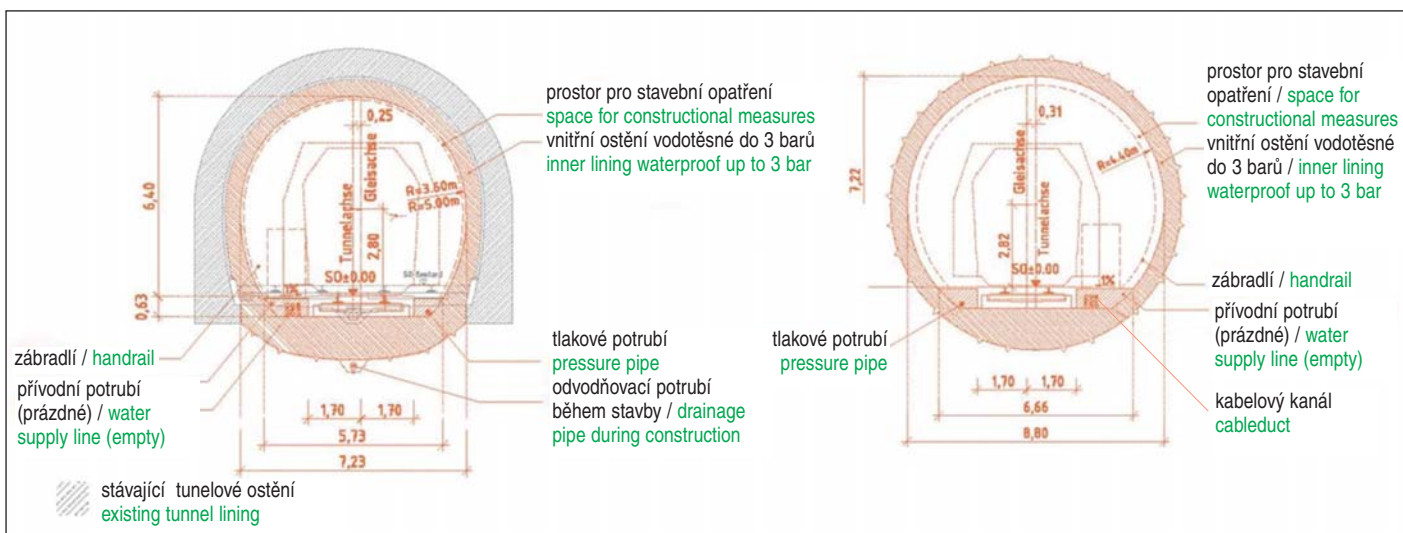
major projects. As many other projects, also some of the major projects of German Railway suffered difficult periods for various not technical reasons, as e.g:

- stop and go realisation of the project VDE 8, due to political and financial reasons;
- change of the public acceptance and of political will to realise the project (Stuttgart 21),
- lack of public acceptance of key elements of the project Karlsruhe – Basel.

Consequences of these difficulties were mainly a longer period for the project realisation, a loss of confidence by part of the public and some of the politicians and finally additional costs. The German federal parliament took e.g. on January 28, 2016 the decision on an alternate design of the railway from Offenburg to Basel.



Obr. 7 Horizontální zmrazování horninového prstence pro propojky © BUNG
 Fig. 7 Horizontal annular freezing for cross-passages © BUNG



Obr. 8 Modernizace tunelu Kaiser Wilhelm [3]
Fig. 8 Refurbishment of the Kaiser Wilhelm Tunnel [3]

a konečně v dodatečných nákladech. Německý spolkový parlament dne 28. ledna 2016 přijal rozhodnutí o náhradním projektu železnice z Offenburgu do Bazileje. Součástí tohoto rozhodnutí je i další tunel pod městem Offenburg. Celý schvalovací proces se musí opakovat, což způsobí zpoždění nejméně pět let oproti stávajícímu harmonogramu a vzniknou tím dodatečné náklady přes dvě miliardy eur.

3.3 Modernizace stávajících tunelů

Tak jako v mnoha zemích, i v Německu se investice do údržby a modernizace stávající železniční sítě v uplynulých letech snížily na minimum, což způsobilo zvýšení poruch ovlivňujících provoz vlaků. V roce 2014, po období intenzivních jednání, podepsala spolková vláda a vedení Německých drah dohodu o úrovni služeb a financování železniční infrastruktury (LuFV II). Podle této dohody se v období od roku 2015 do roku 2019 bude do údržby a modernizací železniční infrastruktury investovat 28 miliard eur a kompletně modernizovat 875 mostů a 20 tunelů. Zlepší se nejen kvalita stavebních konstrukcí, ale zvýší se i bezpečnostní standard těchto tunelů podle současných požadavků. V některých případech se stávající dvoukolejné tunely budou v budoucnosti používat jako jednokolejné, a bude u nich dobudován další tunel pro druhou kolej. Takovými příklady jsou tunely Schlüchtern a Kaiser Wilhelm (obr. 8).

4. HLAVNÍ TUNELY V CENTRU ZÁJMU VEŘEJNOSTI – DOPORUČENÍ SPOLKOVÉ KOMISE PRO ZMĚNU ŘÍZENÍ VÝSTAVBY VELKÝCH STAVEB

Jelikož některé velké německé stavby (nejen železniční projekty) trpěly v uplynulých deseti letech závažnými problémy, bývalý německý ministr dopravy Peter Ramsauer v roce 2013 vytvořil spolkovou komisi pro změnu řízení stavebního procesu u velkých projektů. Rozhodnutí vytvořit tuto komisi bylo přijato na základě časového souběhu vážných problémů ve třech případech: koncertní budova Labské filharmonie (Hamburk), letiště Berlín-Brandenburg a železniční stavba Stuttgart 21. Členy této komise se stalo 34 vysoce uznávaných osobností. Jejich cílem bylo vytvoření řešení pro dosažení větší nákladové transparentnosti a zlepšení dodržování harmonogramů při realizaci budoucích velkých staveb. V červnu 2015 byla předložena závěrečná zpráva komise [4] s podrobnými doporučeními k následujícím tématům:

1. kooperativní týmové plánování;
2. napřed plánování a potom stavba;
3. povinné kalkulace nákladů a přínosů pro všechny velké stavby;
4. jasné procesy a odpovědnosti / vytváření kompetenčních center;
5. větší transparentnost a kontrola;

An additional tunnel under the city of Offenburg forms part of this decision. The entire approval process has to be repeated, creating a delay of at least 5 years on the actual project schedule and additional costs of more than two billions Euros.

3.3 Rehabilitation of existing tunnels

As in many countries, also in Germany the investments in maintenance and rehabilitation of the existing railway network have been reduced to a minimum in the past decades, with the effect of increased malfunctions of the infrastructure, which affected the train operation. In 2014 the Federal Government and the management of German Railway signed an agreement on the service-level and the financing of the railway infrastructure (LuFV II) after a period of intense negotiations. With this agreement a total investment of 28 billion Euros will be done in the maintenance and refurbishment of the railway infrastructure in the period from 2015 to 2019. Following this agreement 875 bridges and 20 tunnels shall be completely refurbished within this period. Not only the quality of the civil work shall be improved, but also the safety standard of these tunnels shall be elevated to the actual requirements. In some cases, the existing double track tunnels will be used as single track tunnels in the future with an additional new tunnel for the second track. Such examples are the Tunnel "Schlüchtern" and "Kaiser Wilhelm" (Fig. 8).

4. MAJOR PROJECTS IN THE FOCUS OF THE PUBLIC – RECOMMENDATIONS OF THE FEDERAL COMMISSION FOR THE REFORMATION OF THE CONSTRUCTION OF MAJOR PROJECTS

As some of the major german projects (not only railway projects) suffered severe problems during the last decade, the former german minister of transportation Peter Ramsauer, created in 2013 a federal commission for the reformation of the construction process major projects. The decision to create such a commission based on a timely coincidence of severe problems in the three cases Elb-Philharmonic (Hamburg), Berlin-Brandenburg Airport and the railway project Stuttgart 21. 34 highly recognised personalities became members of the commission, with the clear goal to develop solutions to achieve more cost transparency and a higher punctuality in the realisation of future major projects. In June 2015 the final report was presented by the commission [4], with detailed recommendations on the following topics:

1. cooperative planning in the team;
2. plan first, then build;

6. řízení rizik a identifikace rizik (také) v rozpočtu;
7. zadávání kontraktů nejekonomičtějším nabídkám, ne těm nejlevnějším;
8. partnerství a spolupráce na projektech;
9. mimosoudní řešení sporů;
10. používání digitálních médií – systém informačního modelování stavby (Building Information Modelling – BIM).

Na základě těchto doporučení schválila spolková vláda v prosinci 2015 akční plán. Posledních pět z celkového počtu deseti doporučení má velký význam i pro společnost Německé dráhy kvůli zlepšení každodenní činnosti při plánování a výstavbě velkých infrastrukturních projektů. Během několika málo let budou spolu s projektanty a zhotoviteli vyvinuty nové přístupy pro řízení velkých projektů, které povedou k novému způsobu spolupráce na velkých stavbách. Jedná se o takový způsob spolupráce, který se bude zkoušet na některých pilotních projektech. Výsledkem této testovací fáze, cílené na vytvoření jiné kultury realizace projektů založené na silném partnerství, mohou být nové smluvní podmínky nebo i nové modely smluv.

Systém informačního modelování stavby (Building Information Modeling – BIM) je jedním z nejmocnějších nástrojů k dosažení této změny. Práce na společné digitální platformě vyžaduje důvěru a transparentnost mezi všemi zainteresovanými stranami projektu.

5. TUNEL RASTATT – PRVNÍ VELKÝ TUNELOVÝ 5D-BIM PROJEKT

V roce 2013 ještě nemělo používání BIM velký význam pro velké infrastrukturní projekty. S přihlédnutím k vysoké důležitosti BIM pro zlepšování vývoje projektů se Německé dráhy rozhodly nabídnout ministerstvu dopravy soubor menších a velkých projektů jako pilotní projekty pro použití metody BIM na infrastrukturních projektech. Pro tento účel byly nakonec vybrány tunel Rastatt a most přes údolí Fills (trať Wendlingen – Ulm). Od konce roku 2014 se stavba tunelu Rastatt plánuje tradiční metodou souběžně s použitím metody BIM. Mezitím byl na základě modelu 3D-CAD (35 000 objektů) vytvořen úplný model 5D-BIM napojený na harmonogram (35 000 objektů) a nákladové/cenové údaje (3000 pozic) (obr. 9).

Model 5D-BIM pro tunel Rastatt pomůže na stavbě koordinovat stavební procesy, optimalizovat logistiku, zlepšovat řízení kvality, zjednodušovat řízení času a nákladů, ale i platby prováděné zhotovitelem.

Společně s univerzitou Bochum bude model 5D integrován do numerického modelu hornin, aby mohl simulovat deformace povrchu vyvolané různými kroky stavby (zmrazování hornin, ražby štíty). Blízká budoucnost musí ukázat, zda se z velkých

3. mandatory cost-benefit calculations for all major projects;
4. clear processes and responsibilities / creation of competence centers;
5. greater transparency and control;
6. risk management and identification of risks, also in the budget;
7. assignment of contracts to the most economical, not the cheapest offer;
8. partnership and cooperation in the projects;
9. extrajudicial dispute resolution;
10. use of digital media – Building Information Modeling.

In December 2015 the federal government approved an action plan, based on these recommendations. The last five of the total ten recommendations are of higher importance also for German Railway Ltd. in order to improve the daily business in the planning and construction of major infrastructure projects. New approaches for the management of major projects shall be developed within the next few years together with designers and contractors, leading to a new way of cooperation in major projects. The new way of cooperation shall be tested in some pilot projects. New terms of the contract or even new contract models may be the result of this testing phase in order to create a different culture of project development, based on a strong partnership.

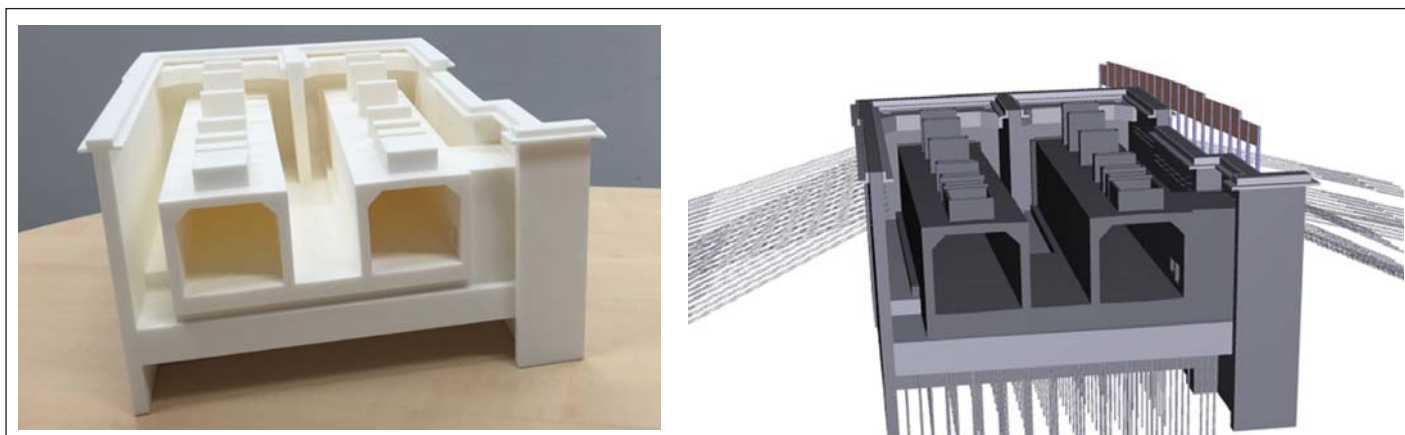
Building Information Modeling (BIM) is one of the most powerful tools in order to achieve this cultural change. Working on a joint digital platform needs confidence and transparency between all the involved project partners.

5. RASTATT TUNNEL – FIRST MAJOR 5D-BIM PROJECT IN TUNNELLING

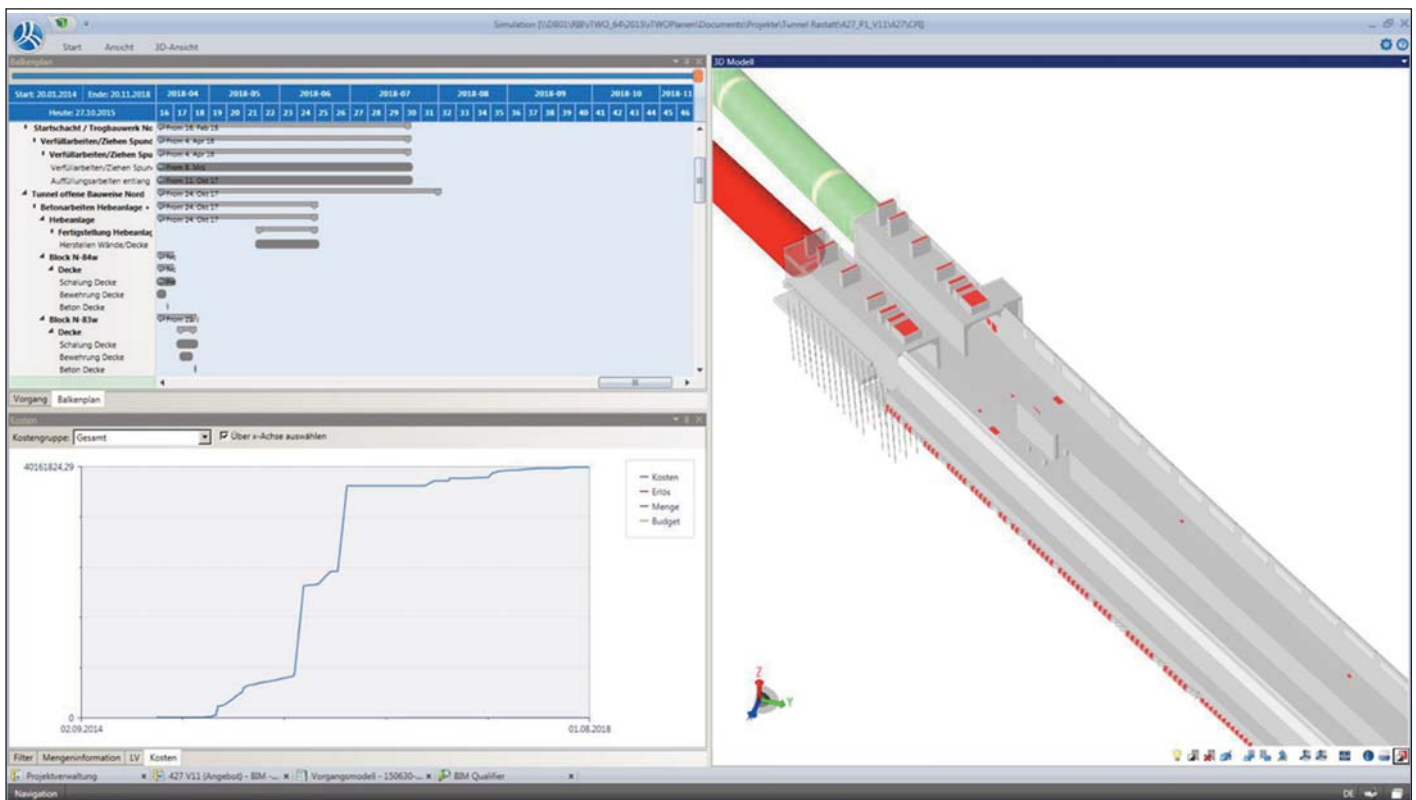
In the year 2013, the application of BIM was still not of high relevance for major infrastructure projects. Taking into account the high importance of BIM for the improvement of the project development, German Railway took the decision to offer a set of smaller and major projects as pilot projects for the application of the BIM-method for infrastructure projects to the federal ministry of transportation. Finally the Tunnel Rastatt and the Fills Valley Bridge (Wendlingen – Ulm) were selected as the first BIM-Pilotprojects for major railway infrastructure projects. Since end of 2014 the Rastatt tunnel project is now planned by the traditional method in parallel to the application of the BIM-Method. In the meantime, a full 5D-BIM model has been developed, based on a 3D-CAD-Model (35'000 objects), linked to the time schedule (3'000 activities) and to the cost data (3'000 positions) (Fig. 10).

The 5D-BIM-Model of the Rastatt Tunnel will help the site to coordinate the construction procedures, to optimize the logistics, to improve the quality control, to simplify the time and cost control but also the payment of the contractor.

Together with the Ruhr-University of Bochum, the 5D-Model shall be integrated in a numeric ground model in order to be able to



Obr. 9 3D-Model severního hloubeného portálu (nalevo) a stejná konstrukce jako tisk 3D (napravo)
Fig. 9 3D-Model of the northern cut and cover portal (left) and same structure as a 3D-print (right)



Obr. 10 Obrázek obrazovky z modelu 5D severního hloubeného portálu s modelem 3D (napravo), časovým harmonogramem nalevo a plánovanými náklady vlevo dole
 Fig. 10 Screenshot from the 5D-Model of the northern cut and cover portal with 3D-model (right), time schedule upper left, planned costs lower left

modelů 5D-BIM dá získat očekávaný přínos v různých oblastech výstavby tunelů (obr. 10).

Zahájením velkých pilotních staveb Německé dráhy sledují jasnou strategii pro použití metody BIM během příštích pěti let s cílem:

- zlepšit kvalitu projektování;
- zlepšit přijímání staveb veřejností;
- zlepšit dodržování harmonogramů dodávek;
- zvýšit stabilitu konečných nákladů;
- zlepšit analýzu životního cyklu stavby.

Německé dráhy tedy mají cíl použít metodu 5D-BIM u všech standardizovatelných velkých a složitých infrastrukturních projektů realizovaných do konce roku 2020.

V blízké budoucnosti (ještě v roce 2016) bude zahájeno dalších osm až deset pilotních projektů s různými požadavky, aby se získalo více zkušeností s metodou BIM na infrastrukturních stavbách. Jelikož je v současnosti nedostatek národních a mezinárodních standardů pro železniční systémy, musí pilotní projekty začít s vlastními standardy. Později by tyto systémy měly být schopné spolupracovat s budoucími mezinárodními standardy, které musí být nezávislé na dodavatelích.

*M. Sc., HEINZ EHRBAR, heinz.ehrbar@deutschebahn.com,
 DB Netz AG /Frankfurt on the Main*

Recenzovali / Reviewed: Ing. Martin Srb, Ing. Pavel Růžička, Ph.D.

simulate surface deformations caused by the different steps of construction (ground freezing, TBM-drive). The nearer future has to show, whether the expected benefit in the different fields of tunnel construction can be gained from large 5D-BIM models.

By starting with large scale pilot projects German Railway follows a clear strategy for the implementation of BIM within the next five years with the aim

- to improve the quality of the design;
- to increase the acceptance by the public;
- to increase the punctuality in the project delivery;
- to increase the stability of the final costs;
- to improve the lifecycle analysis of the project.

Therefore, German Railway has the goal to realize all standardizable and all complex infrastructure projects with 5D-BIM until the end of 2020.

In the nearer future another eight to ten pilot projects with different requirements shall start within this year, in order to get more experience on BIM for infrastructure projects. As there is actually a lack of national and international standards for railway systems, the pilot projects have to start with their own standards. Later on, those standards should be able to cooperate with the future international standards, which must be independent from the suppliers.

*M. Sc., HEINZ EHRBAR, heinz.ehrbar@deutschebahn.com,
 DB Netz AG /Frankfurt on the Main*

LITERATURA / REFERENCES

- [1] KIELBASSA, ST., PRISCHMANN, F., BAER, N. Karst investigation and treatment measures for the high-speed track on the Swabian Jura. *Geomechanics and Tunnelling*, pages 129–145, April 2015
- [2] GRUNDHOFF, TH., KLAR, S. B. ABS/NBS Karlsruhe-Basel – Implementation of line section 1 and special features of the Rastatt Tunnel. *Geomechanics and Tunnelling*, pages 155–168, April 2015
- [3] TAUCH, B. Kaiser Wilhelm Tunnel: From Planning to Execution. *Tunnel 1/2013*
- [4] FEDERAL MINISTRY OF TRANSPORT AND DIGITAL INFRASTRUCTURE; *Final Report of the Commission for the Construction of Major Projects*. Berlin, June 2015