Česká komora autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě
Český svaz stavebních inženýrů
Svaz podnikatelů ve stavebnictví v ČR

05/17
MK ČR E 17014

časopis stavebnictví

Časopis stavebních inženýrů, techniků a podnikatelů • Journal of civil engineers, technicians and entrepreneurs



dopravní infrastruktura

modernizace rychlostní komunikace S8, průtah Varšavou

55 let Nové rakouské tunelovací metody

cena 68 Kč

www.casopisstavebnictvi.cz

text Libor Mařík | grafické podklady AlpTransit Gotthard AG



▲ *Obr. 1. Severní portál Erstfeld po uvedení do provozu*

Bázový tunel Gotthard od prvních představ k uvedení do provozu, 1. díl



Ing. Libor Mařík
Studoval na FSv ČVUT v Praze obor konstrukce a dopravní stavby se specializací na geotechniku. Po profesních začátcích ve firmě METROPROJEKT nastoupil k firmě ILF Consulting Engineers, s.r.o., a od roku 2005 k organizaci IKP Consulting Engineers, s.r.o. Nyní pracuje jako hlavní projektant ve firmě HOCHTIEF CZ a.s. Je členem předsednictva České tunelářské asociace ITA-AITES a výboru České betonářské společnosti ČSSI.
E-mail: libor.marik@hochtief.cz

Článek pojednává o mimořádném technickém díle – železničním bázovém tunelu Gotthard, který podchází alpským masivem v úrovni jeho báze a je v současné době nejdelším tunelem světa. Příprava projektové dokumentace, výstavba i způsob bezpečného provozování tunelu vyžadovaly překonání celé řady těžkostí a zvládnutí technických úloh, které dosud nebyly řešeny.

První díl textu čtenáře seznámí se základními parametry stavby, historickým vývojem přípravy projektové dokumentace, způsobem financování a hlavními milníky realizace až po uvedení do provozu. Článek je napsán na základě podkladů a informací poskytnutých firmou AlpTransit Gotthard AG.

Úvod

Dne 1. června 2016 byl ze svého pomyslného trůnu pro nejdelší tunel světa sesazen dvoukolejný železniční tunel Seikan v Japonsku, který pod Cugarským průlivem v délce 53,85 km spojuje ostrovy Honšú a Hokkaidó. Jeho vláda od otevření 13. března 1988 trvala dlouhých 28 let, což je v dnešní době rychle se rozvíjející techniky obdivuhodná doba. Jeho prvenství neohrozila ani výstavba 50,45 km dlouhého eurotunelu pod kanálem La Manche, který byl uveden do provozu v listopadu roku 1994 a umožňuje železniční spojení mezi Francií a Spojeným královstvím.

Délka 57 km nového bázového tunelu Gotthard však není jediným parametrem, který si zaslouží pozornost technické veřejnosti. Při jeho výstavbě bylo nutné zvládat ražbu pod Gotthardským masivem ve složitých geologických podmínkách s výškou nadloží až 2300 m v často tlačivých horninách s deformacemi výrubu v řádu desítek centimetrů a teplotou přes 40 °C. Dále bylo třeba řešit způsob financování formou referenda, typickou pro Švýcary, logisticky zvládnout odvoz a uložení obrovského množství rubaniny i dopravu stavebního materiálu nutného pro výstavbu tunelu nebo



zajistit ekologickou a bezpečnou výstavbu i provozování tunelu. Zprávu o otevření nejdelšího tunelu světa většina médií v České republice zaregistrovala s uvedením základních parametrů díla. My se pokusíme tuto výjimečnou stavbu přiblížit podrobněji.

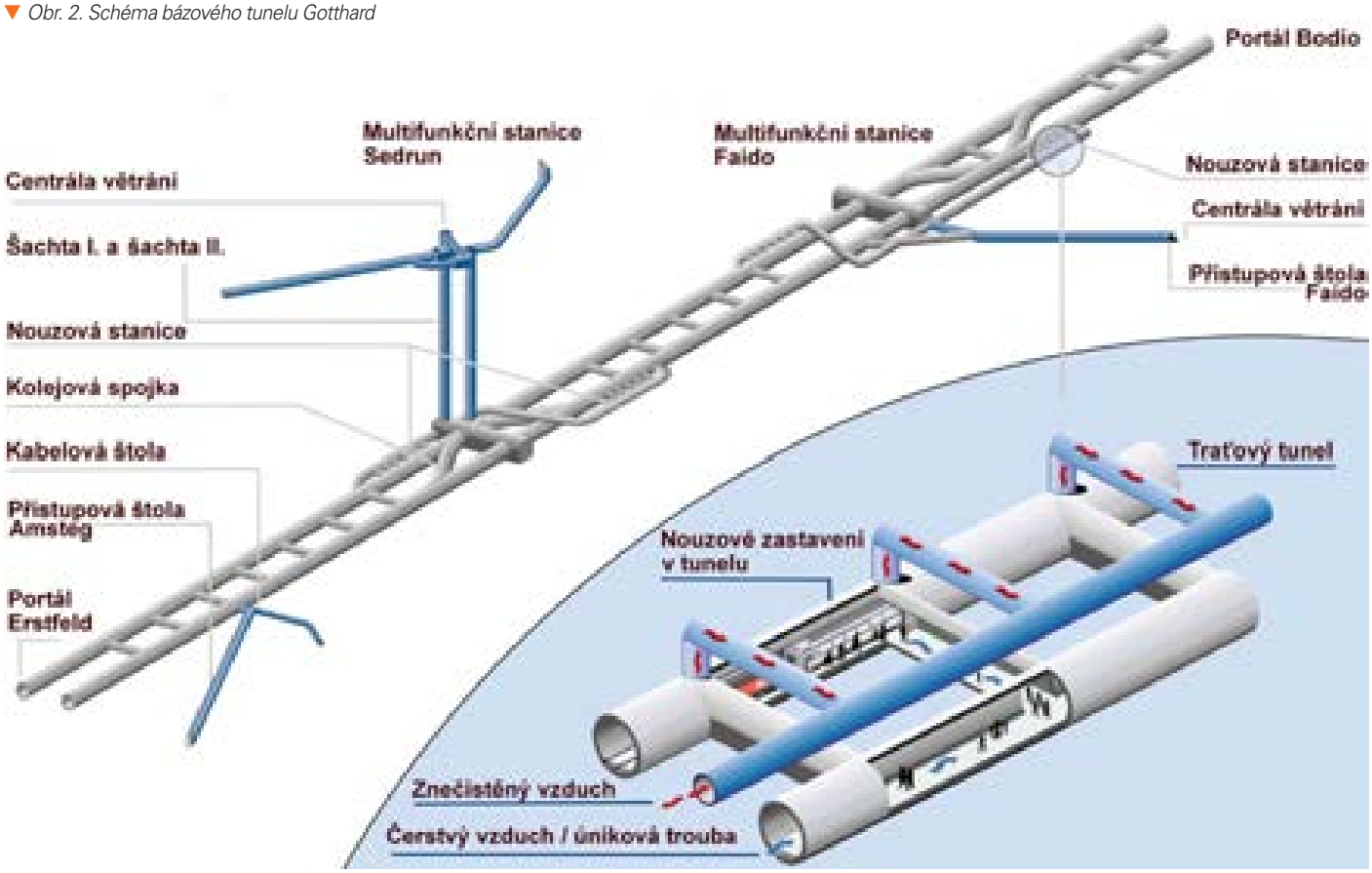
Základní technická data stavby

V souvislosti s délkou tunelu se uvádí číslo 57 km. Tunel má však dvě tunelové trouby, jejichž přesná délka je 57,104 km (východní tunelová trouba – VTT) a 57,017 km (západní tunelová trouba – ZTT). Celková délka jednokolejných traťových tunelů je 114,121 km. Tunel spojuje severní portál Erstfeld s jižním portálem Bodio a vzdušnou čarou měří tato spojnice 55,782 km (VTT), respektive 55,704 km (ZTT). Maximální výška nadloží dosahuje 2450 m a teplota horniny díky geotermálnímu gradientu až 46 °C. Maximální přípustná teplota prostředí pro práci v podzemí nesměla překročit 28 °C .

Trakční vedení je v tunelu situováno 5,2 m nad temenem kolejnice, na širé trati se výška zvětšuje na 5,4 m. Obě tunelové trouby spojuje celkem 178 příčných propojení v průměrné vzájemné vzdálenosti 325 m. Standardní vzdálenost tunelových trub činí 40 m s tím, že místy narůstá až na maximálně 70 m. V podélném směru jsou tunely navrženy tak, že nejvyšší místo je umístěno v trase tunelu a směrem k severu trať klesá ve sklonu 4,055 ‰ a směrem k jihu 6,76 ‰. Převýšení mezi severním portálem a vrcholem výškového oblouku dosahuje 89 m, k jižnímu portálu tunely klesají od nejvyššího bodu s převýšením 237 m. Tunel je navržen pro rychlost jízdy 250 km/h. Bezpečnost provozu zajišťují mimo dalších opatření i dvě multifunkční stanice Sedrun a Faido, které umožňují nouzové zastavení vlaku v případě poruchy a evakuaci cestujících.

Standardně se tunely razí pouze od portálů. V případě bázového tunelu Gotthard tento způsob vzhledem k jeho délce není možný a trasa tunelu je rozdělena do pěti úseků místně označených Erstfeld, Amsteg, Sedrun, Faido a Bodio. Kromě severního a jižního portálu tunelu, které byly přístupné z povrchu území, bylo pro ostatní pracoviště nutné vyrazit přístupové štoly, nebo šachty, kterými bylo možné tunelovací techniku i materiál dopravit do trasy tunelu a zajistit odvoz rubaniny.

▼ *Obr. 2. Schéma bázového tunelu Gotthard*



Úsek	Délka VTT	Délka ZTT
Erstfeld	7,778 km (7,151 km)	7,705 (7,151 km)
Amsteg	11,330 km (10,723 km)	11,350 km (10,703 km)
Sedrun	8,569 km	8,738 km
Faido	13,456 km (11,134 km)	13,523 (11,086 km)
Bodio	15,971 km (13,450 km)	15,702 km (14,113 km)

▲ *Tab. 1. Dílčí úseky tunelů a jejích délky*

V případě pracoviště Amsteg se jednalo o přístupovou štolu délky 2,222 km, pro pracoviště Sedrun byly vyhloubeny dvě šachty o hloubce 820 m a 850 m a přístupová štola o délce 909 m. Pro pracoviště Faido byla vyražena přístupová štola v délce 2,646 km a na jižním portále Bodio byla vyražena obchozí štola o délce 1,336 km. Schéma tunelu s rozmístěním tunelových propojek, multifunkčních stanic, přístupových šachet i štol znázorňuje obr. 2. Pro dopravu rubaniny na deponii byla v úseku Bodio – Buzza di Biasca vyražena štola o délce 3,162 km. Vlastní traťové úseky měly délku, kterou uvádí tab. 1. V závorce jsou uvedeny úseky vyražené tunelovacími stroji. Celková délka traťových tunelů vyražených pomocí tunelovacích strojů byla 42,458 km (VTT) a 43,019 km (ZTT). Ražba tunelovacími stroji představovala 64 % všech výrubů prováděných v souvislosti s výstavbou tunelu.

Tunelovací stroje razily kromě traťových tunelů i průzkumnou štolu Piora v délce 5,540 km pro ověření polohy a vlastností horninového masivu v tektonické poruše Piora-Mulde, štolu pro odvoz rubaniny Bodio v délce 3,162 km a kabelovou štolu Amsteg v délce 1,884 m. Na tunelu byly pro ražbu traťových tunelů použity celkem čtyři tunelovací stroje pojmenované Sissi, Heidi, Gabi I a Gabi II. Tunelovací stroj Sissi byl nasazen na úsecích Bodio – Faido (VTT) v délce 15 km a Faido – Sedrun (VTT) v délce 12 km. Tunelovací stroj Heidi pracoval na úseku Bodio – Faido (ZTT) v délce 15 km a Feido – Sedrun (ZTT) v délce 12 km. Tunelovací stroj Gabi I vyrazil úseky Amsteg – Sedrun (VTT) v délce 11,4 km a Erstfeld – Amsteg (VTT) v délce 7,1 km. Tunelovací stroj Gabi II. pracoval na úseku Amsteg – Sedrun (ZTT) v délce 11,4 km a Erstfeld – Amsteg (ZTT) v délce 7,1 km.

Průměr výrubu tunelu je v úseku Erstfeld a Amsteg navržen 9,58 m, v úseku Faido 9,43 m a nejmenší průměr tunelu 8,83 m byl použit v úseku Bodio. Délka tunelovacích strojů se pohybovala od 377 m až do 450 m a jejich váha od 2500 t do 3400 t. Přítlak na hlavu štítu osazenou 60 až 66 valivými dláty dosahoval 15 930 kN. Stopy dlát na čelbě při rotačním pohybu hlavy tunelovacího stroje ukazuje obr. 3. Hlavu razicího stroje při revizi a výměně řezných dlát znázorňuje obr. 4. Revize je prováděna v konvenčně vyražené kaverně v západní tunelové troubě úseku Faido. Průměrná rychlost ražby se pohybovala v rozmezí 10 m až 14 m za den a maximálního denního výkonu bylo dosaženo v úseku Erstfeld, kdy bylo za den vyraženo 56 m tunelu. V případě traťových tunelů uvedené tunelovací stroje vyrazily 80 % z jejich celkové délky, zbývajících 20 % připadá na konvenční způsob ražby s použitím trhacích prací a zajištěním stability výrubu pomocí stříkaného betonu a kotvení. Po započtení ražby multifunkčních stanic, tunelových propojek a dalších konvenčně ražených podzemních prostor se poměr mezi ražbou tunelovacími stroji a konvenční ražbou sníží z poměru 80/20 % na poměr 64/36 % (TBM/konvenční ražba). Při konvenční ražbě se délka záběru pohybovala od 1 m v nejhorších geotechnických podmínkách až po 4 m v nejkvalitnějším horninovém masivu. Průměrná rychlost ražby byla od 3 m do 4,5 m za den. Špičkového výkonu 11,5 m za den bylo dosaženo při ražbě z pracoviště Sedrun k jižnímu portálu ve východní tunelové troubě. Plocha výrubu konvenčně ražených profilů se pohybovala od 60 m^2 až do 250 m^2. Pro rozpojování horniny sloužila emulzní trhavina, která byla pumpována do vrtů délky

▼ *Obr. 3. Stopy dlát na čelbě – úsek Faido (VTT)*



až 4 m v počtu až 250 ks na čelbu a záběr v množství až 400 kg. V nejdelších záběrech bylo v jednom pracovním cyklu rozpojeno a vytěženo až 250 m^3 rubaniny.
Obdivuhodná byla i spotřeba materiálu na výstavbu tunelu: 4 000 000 m^3 betonu, 1 400 000 t cementu, 125 000 t oceli výztužných rámů primárního ostění, 3 000 000 m^2 výztužných sítí, 4800 km horninových kotev nebo 2 850 000 m^2 hydroizolační fólie. Na stavbě se na všech pracovních úrovních podílelo celkem 2600 zaměstnanců.

Historie projektu a časový postup prací

První myšlenky na nově otevřený tunelový podchod masivu Gotthard by pravděpodobně nevznikly bez realizace dlouhou dobu nejdelšího tunelu světa, starého Gotthardského železničního tunelu délky 15 km, jehož výstavba probíhala v letech 1871 až 1881. Ražba tunelu byla spojena s mnoha technickými i ekonomickými těžkostmi a vyžádala si 199 obětí na životech, včetně hlavního inženýra stavby, který v roce 1879 zemřel v tunelu na infarkt. Tunel byl proražen 29. února 1880 a uveden do provozu 1. června 1882, tj. přesně 134 let před slavnostním otevřením Gotthardského bázového tunelu.
První zmínka o tomto bázovém tunelu je spojena s rokem 1947 a inženýrem Eduardem Grunerem, který vizionářsky popisuje v technické eseji nazvané Cesta Gotthardským bázovým tunelem v roce 2000, jak má vypadat cesta 50 km dlouhým tunelem z Amstegu do Biasca, a to včetně vybudování podzemního nádraží. V textu se píše: *Vlak lehce přibrzdí a zastaví v hale tunelového nádraží Sedrun, která se hemží lidmi. Odtud je možno pohodlným výtahem umístěným v 830 m hluboké šachtě dosáhnout mondénního lyžařského centra do sedmi minut. Tak jsou lyžařské oblasti ve Vorderrheinu posunuty do hodinové vzdálenosti od Basileje, Curychu nebo Milána.* Tato jeho vize se znovu objevila při návrhu Gotthardského bázového tunelu a podzemní nádraží neslo název Porta Alpina. Z provozních i bezpečnostních důvodů však byla myšlenka veřejného podzemního nádraží pro obsluhu lyžařských areálů v nadloží tunelu opuštěna a v lokalitě Sedrun byla realizována jedna ze dvou podzemních stanic pro případ nouzového zastavení vlaku.
V roce 1961 byla vypsána soutěž na projekt dvoukolejného železničního tunelu v celkové délce 45 km, který by spojoval města Amsteg a Giornico a umožňoval jízdu vlaků rychlostí 200 km/h. Zhruba v polovině tunelu bylo navrženo předjížděcí nádraží. V roce 1970 navrhla komise výstavbu bázového tunelu Gotthard a výstavbu trasy Lötschberg. Dne 5. září 1980 byl po pěti letech výstavby otevřen silniční tunel Gotthard v délce 16,9 km. I tato skutečnost přispěla k novým poznáním a umožnila ověření funkčnosti tunelovacích metod v reálných podmínkách Gotthardského masivu. V letech 1990 až 1991 navrhla zemská rada a švýcarský parlament výstavbu nové transalpské železnice s bázovými tunely Gotthard a Lötschberg. Projekt je znám pod zkratkou NEAT (Neuen Eisenbahn-Alpentransversale). Výstavba tunelů a financování projektu NEAT 27. září 1992 bylo potvrzeno referendem s výsledkem 64 %. Dne 1. září 1993 přebrala projektová organizace švýcarských drah (SBB) s názvem AlpTransit od Spolkového úřadu pro dopravu odpovědnost za projekt AlpTransit Gotthard, který se skládal ze základní trasy od Arth-Goldau do Lugana a integrace východního Švýcarska do nově rozšiřované železniční sítě.
Velmi důležitý milník celého projektu představuje 20. únor 1994, kdy byla referendem odsouhlasena tzv. Alpská iniciativa, která zakotvuje ochranu Alp v ústavě Švýcarské konfederace. Spolkový parlament na žádost SBB schválil 12. dubna 1995 vedení trasy v tunelu Gotthard mezi Erstfeldem a Bodiem a v širé trati mezi Bodiem



▲ *Obr. 4. Hlava razicího stroje v ZTT úseku Faido*



▲ *Obr. 5. Těžní zařízení v šachtě Sedrun*



▲ *Obr. 6. Kaverna v patě šachty Sedrun*

▼ *Obr. 7. Kotvení výrubu za hlavou tunelovacího stroje – úsek Faido (VTT)*





▲ *Obr. 8. Zajištění stavební jámy portálu Erstfeld*



▲ *Obr. 9. Instalace hydroizolační fólie v úseku Amsteg (VTT)*

a Giustiziou. Dále bylo rozhodnuto, že tunel Gotthard bude tvořen dvěma jednokolejnými tunely spojenými zhruba 180 tunelovými propojkami, které budou sloužit jako záchranné cesty. Jako další provozně a bezpečnostně důležité prvky celkové koncepce tunelu byly navrženy dvě multifunkční stanice v oblasti Sedrunu a Faida, které měly sloužit mimo jiné k přejezdu vlaků mezi tunelovými troubami nebo k zastavení vlaku v případě mimořádné události. Celková délka ražených částí tunelového komplexu Gotthard ve schváleném návrhu přesahovala 153 km.

První přípravné a průzkumné práce v úseku Sedrun byly zahájeny 15. dubna 1996. Vzhledem ke způsobu financování stavby se kladl velký důraz na informovanost obyvatel. Za tímto účelem bylo otevřeno informační centrum AlpTransit – Sedrun. Krátce po zahájení prací v oblasti Sedrunu vydal 24. dubna 1996 Spolkový parlament rozhodnutí o stavbě a financování infrastruktury veřejné dopravy. Bylo rozhodnuto projekt NEAT etapizovat. Z celkové koncepce projektu podle referenda z roku 1992 rozhodl parlament o výstavbě trasy Gotthard v rozsahu bázových tunelů Zimmerberg, Gotthard a Ceneri, přičemž bázový tunel Lötschberg měl být provozován jako částečně jednokolejný. Spolkový parlament přijal 20. března 1998 dokument Výstavba a financování infrastruktury veřejné dopravy (FinöV) s upraveným programem výstavby a koncepce financování. Výše investic do velkých projektů v té době činila 30 mld. švýcarských franků. Projekt NEAT zahrnuje bázové tunely Gotthard, Lötschberg, Ceneri a Zimmerberg a dále napojení osy Gotthard na východní Švýcarsko v oblasti Curyšského jezera. Finanční prostředky tvoří z 55 % daně z provozu těžké dopravy, 19 % představuje zvýšení daně z pohonných hmot z 0,1 % na 10 % a zbývajících 26 % tvoří úvěry. Dne 12. května 1998 byla založena firma AlpTransit Gotthard AG. Jedná se o dceřinou společnost 100% vlastněnou SBB, která byla vytvořena z oddělení AlpTranzit původně pověřeným projektováním trasy Gotthard programu NEAT. Základní kapitál nově vzniklé firmy činil 5 mil. švýcarských franků.

V mnoha ohledech je jedním z významných roků v „životě" tunelu rok 1999. Konkrétně 4. února 1999 bylo zahájeno hloubení 850 m

▼ *Obr. 10. Betonáž sekundárního ostění v úseku Amsteg (VTT)*





▲ *Obr. 11. Pevná jízdní dráha v úseku Erstfeld*

hluboké šachty Sedrun, která sahá až do úrovně obou jednokolejných bázových tunelů a po dokončení hloubení i vystrojení šachty těžním zařízením umožňuje zahájit jejich ražbu. Výstavba šachty trvala až do 1. března 2000, celkem 391 dní. Oficiální zahájení ražby Gotthardského bázového tunelu na severní straně Alp proběhlo 4. listopadu 1999, kdy byla na staveništi Amsteg prvním odpalem zahájena ražba přístupové štoly v délce 1,8 km. Obdobná situace se opakovala o sedm měsíců později na jižní straně Alp a 10. června 2000 byla prvním odpalem na staveništi Bodio v oblasti Ticino v jižním Švýcarsku zahájena ražba obchozí štoly v délce 1,2 km. Vyhloubení šachty Sedrun umožnilo razit tunely nejen z portálů Erstfeld a Bodio, ale i z míst na trase tunelu. Dne 13. června 2001 byly stavebním firmám zadány první dva úseky tunelů. Jedná se o úsek z Bodia do Faida délky 15 km a úsek ze Sedrunu do Faida o délce necelých 14 km. Ražba jednokolejných traťových tunelů probíhala tunelovacími stroji TBM a 30. srpna 2001 byla ze staveniště Bodio dokončena ražba prvních 1000 m z celkem 57 km bázového tunelu Gotthard.

Součástí zakázky byla i konvenční ražba multifunkční stanice Faido. Její ražba započala 6. března 2002 po dokončení přístupové štoly. První tunelovací stroj zahájil ražbu z jižního portálu Bodio ve směru na Faido 7. listopadu 2002 a čekal ho úsek délky 15 km. První tunelovací stroj začal s ražbou ze severní strany Alp ze staveniště Amsteg 27. května 2003. Předtím byl hlavní pohon tunelovacího stroje o váze 177 tun naložen a po vodě dopraven z Lucernu do Flüelenu. Druhý tunelovací stroj započal ražbu ze stejného portálu 19. srpna 2003. Oba tunelovací stroje čekalo vyražení tunelů ve směru do Sedrunu v délce 11,4 km. Tam byla mezitím hloubena druhá šachta hloubky 820 m, vzdálená od první šachty pouhých 32 m. Vrtací stroj o hmotnosti 250 t šachtu prorazil 26. června 2003. Po dokončení ražeb byla šachta vybavena výtahem pro dopravu rubaniny a materiálu nutného pro výstavbu tunelu. Těžní zařízení a vstup do šachty ukazuje obr. 5. Na obr. 6 je pak zachycena konvenčně ražená kaverna v patě šachty, ve které probíhá nakládka rubaniny z důlních vozů do těžního zařízení šachty.

Na základě již provedených prací se vyhodnocovaly i ekonomické výsledky a porovnávaly s předpoklady projektu. Dne 10. září 2003 je vydána zpráva, ve které se koncept financování programu NEAT z roku 1998 ukazuje jako příliš optimistický. Jako okamžité opatření navrhuje Spolkový parlament pozastavení projektů tunelů Zimmerberg a Hirzel. Stavební práce na tunelu Gotthard dále pokračovaly a 19. června 2004 byly zahájeny práce také v Erstfeldu na severním portále Gotthardského bázového tunelu. Tak se paralelně pracovalo již v pěti úsecích tunelu. K datu 16. prosince 2004 prorazily tunelovací stroje Gabi I a Gabi II polovinu vzdálenosti mezi Amstegem a Sedrunem. Celkem je k tomuto datu vyraženo cca 40 % z celkem 151,840 km ražených úseků tunelu a jeho obslužných podzemních děl. Na dalších 10 %, tj. celkem 50 % z celkem předpokládaných ražeb, bylo nutno počkat dalších více než osm měsíců do 30. srpna 2005. I když se v souvislosti s ražbou tunelu mluvilo zejména o použití tunelovacích strojů, ražby byly k tomuto datu provedeny z poloviny razicími stroji a z poloviny konvenční ražbou rozpojováním horninového masivu trhacími pracemi a zajišťováním stability výrubu pomocí stříkaného betonu a kotvení.

Rivalita Švýcarů a Rakušanů v prvenství využití tunelovací metody s využitím samonosnosti horninového masivu a zejména dlouhotrvající spory o prvenství použití této metody či její název Nová rakouská tunelovací metoda (NRTM) vedly k tomu, že je ve Švýcarsku pojem NRTM nepřijatelný a tunelovací metoda je označována např. jako metoda stříkaného betonu. Ten však tvoří jen část nosného systému ostění – hornina pomáhá spolu se systémovým kotvením udržet integritu nosného horninového prstence a zamezit jeho rozvolňování. Vyztužení horninového prstence kotvami není však jen výsadou konvenční ražby. Kotvení za hlavou tunelovacího stroje ukazuje obr. 7. Vzhledem k výšce nadloží a s ní spojenou geostatickou napjatostí by nebylo primární ostění ze stříkaného betonu v úsecích tlačivých hornin schopno vzdorovat velkým deformacím výrubu. Bez zvláštních opatření by docházelo k podrcení stříkaného betonu, vybočení výztužných rámů ostění a obecně ke ztrátě opory horninového prstence s následným snížením jeho nosné funkce. Z toho důvodu byly 21. září 2005 v úseku Sedrun poprvé navrženy pro zajištění stability výrubu v mimořádně tlačivém horninovém masivu deformovatelné ocelové rámy. Díky použité nové technologii provádění se podařilo zvládnout ražbu tunelu i v těchto velmi složitých geologických podmínkách.

K první prorážce na bázovém tunelu Gotthard došlo 6. září 2006. Téměř přesně čtyři roky po zahájení ražby z portálu Bodio se tunelovací stroj prorazil do konvenčně ražené multifunkční stanice Faido. Přesnost při prorážce byla horizontálně 50 mm a vertikálně méně než 20 mm. Další prorážka následovala 17. října 2007, kdy byla s devítiměsíčním předstihem proražena západní tunelová trouba v úseku Sedrun – Amsteg. Tunelovcí stroje razicí traťové tunely z pracoviště Amsteg byly po repasi nasazeny na ražbu tunelů ze severního portálu tunelu z pracoviště Ersfeld. Ražba byla zahájena v den svátku patronky horníků a tunelářů svaté Barbory 4. prosince 2007. Zajištění stavební jámy pro zahájení ražby na severním portále Erstfeld ukazuje obr. 8.

S probíhajícími ražbami tunelu probíhala příprava projektové dokumentace jeho stavebně technického vybavení. Smlouva na realizační dokumentaci a dodávku stavebně technického vybavení tunelu včetně napojení nové trasy na stávající železniční síť byla podepsána v Lucernu 29. dubna 2008. Objem dosud největší zakázky tohoto typu u firmy AlpTransit Gotthard AG činil 1,69 mld. švýcarských franků. Ve stejném roce schválil 16. září 2008 Spolkový parlament pro realizaci projektu NEAT úvěr v celkové výši 19,1 mld. švýcarských franků.



▲ *Obr. 12. Překonání světového rekordu prorážkou 15. října 2010, Sedrun*



▲ *Obr. 13. Vyhodnocení provozních parametrů při zkušebních jízdách*

Jednalo se o cenovou úroveň roku 1998 s výjimkou inflace, DPH a úroků v průběhu výstavby. Na trase Gotthard pro bázové tunely Gotthard a Ceneri vyčlenil parlament celkem 13,16 mld. švýcarských franků, čímž byl zacelen finanční deficit existující od roku 2004.

V roce 2008 se ražba traťových tunelů dostala do obávané tektonické poruchy Piora-Mulde. Východní tunelová trouba úspěšně prošla extrémně geotechnicky náročným úsekem a 15. října 2008 byla porucha v celé délce zdolána. V západní tunelové troubě byla ražba v poruše ukončena 3. února 2009. Práce na stavebním a technologickém vybavení tunelu bylo nutné provádět paralelně, aby bylo možné dosáhnout plánovaného harmonogramu výstavby. Z toho důvodu byly 18. května 2009 v Biascu zahájeny práce na technologickém vybavení tunelu. Zatímco v některých úsecích již probíhala montáž vybavení tunelu, v jiných úsecích ještě nebyla dokončena ražba. Od severního portálu byl proražen druhý úsek mezi pracovišti Erstfeld a Amsteg 16. června 2009. Přesnost při prorážce byla v tomto případě do 10 mm. V navazujícím úseku Amsteg – Sedrun a v západní tunelové troubě v úseku Bodio – Faido byla 18. prosince 2009 dokončena hrubá stavba obou tunelových trub. Instalaci hydroizolační fólie na primární ostění ze stříkaného betonu ukazuje obr. 9. Následně byla provedena betonáž monolitického sekundárního ostění (obr. 10). Obě fotografie zachycují pracoviště ve východní tunelové troubě úseku Amsteg. Pro montáž stavebnětechnického vybavení tunelu tak bylo připraveno 40 km tunelů, což představovalo více než třetinu z celkové délky. Práce na vybavení tunelu byly od jižního portálu zahájeny v západní tunelové troubě v úseku Bodio – Faido 25. června 2010. Do roku 2012 byl 16 km dlouhý dílčí úsek plně vybaven pevnou jízdní dráhou, trakčním vedením a sdělovacím i zabezpečovacím zařízením. Díky členění stavby na dílčí úseky probíhaly v průběhu výstavby jednotlivé prorážky v těchto úsecích a každá z nich představovala další významný krok k cíli. Tím bylo překonání světového rekordu v délce tunelu. Zlomový okamžik nastal 15. října 2010, kdy bylo kompletní prorážkou východní tunelové trouby v úseku Sedrun – Faido dosaženo světového rekordu v délce tunelu 57 km a starý rekord byl překonán o více než 3 km. Slavnostní okamžik prorážky a dosažení světového rekordu v délce tunelu ukazuje obr. 12. V západní tunelové troubě došlo ve stejném úseku ke kompletní prorážce 23. března 2011. Tím byly ražby obou tunelových trub bázového tunelu Gotthard ukončeny. Po úseku Bodio – Faido byly 2. září 2011 zahájeny práce na montáži stavebnětechnického vybavení tunelu i od severního portálu Erstfeld. V dalších čtyřech letech byla v tomto sledu provedena převážná část pevné jízdní dráhy (viz obr. 11), trakčního vedení, sdělovacího a zabezpečovacího zařízení i dalšího vybavení tunelu.

Výstavba tunelu není jen překonávání geotechnických úskalí, betonáž ostění nebo technologické vybavení tunelu. Primárním cílem stavby je ochrana životního prostředí v alpské oblasti Švýcarska a této problematice byla věnována po celou dobu výstavby mimořádná pozornost. Při rozsahu prací v podzemí bylo nutné vytěžit obrovské množství materiálu. Pro dopravu materiálu z tunelu byly použity pásové dopravníky v celkové délce cca 70 km. Celkem se z podzemí vytěžilo 28,2 mil. t horniny. Rubanina nebyla považována za odpad a snahou bylo najít pro ni v maximální možné míře v rámci stavby další uplatnění. To se podařilo a 33 % vytěženého materiálu se použilo jako kamenivo do stříkaného betonu primárního ostění i monolitického betonu sekundárního ostění. Pro zpětné zásypy, násypy a rekultivaci bylo použito 66,3 % vytěženého materiálu a jen 0,7 % materiálu bylo uloženo jako nepoužitelného k výše uvedeným účelům. S využitím materiálu byla tvarována krajina a vznikl i umělý ostrov pro hnízdění vodních ptáků. Pro zlepšení životní úrovně obyvatel byla 9. června 2012 po rekultivaci deponie materiálu z výrubu tunelu nedaleko Sedrunu v lokalitě Tujetsch slavnostně otevřena rekreační oblast Lag Claus Surrein s umělým jezerem o výměře 3200 m^2.

Hospodárné nakládání s rubaninou však nebylo jediným předmětem zájmu ekologického využití možností, které tunel nabízí. Jak již bylo řečeno, v úsecích s vysokým nadložím dosahovala teplota horninového masivu více než 40 °C Firma Basis57 proto zakoupila 18. září 2014 na západním portále tunelu pozemek o výměře 2,5 ha, na kterém využívá teplou drenážní vodu z tunelu k chovu domácích ryb a korýšů. Z tunelu drenážemi vytéká 150 až 400 l/s vody, která je zachycována a využívána k získávání geotermální energie.

S postupem času práce na technologickém vybavení tunelu pomalu převažovaly nad stavebními pracemi a 5. září 2012 vyjíždějí po definitivních kolejích zástupci vlády prvním osobním vlakem z Erstfeldu do Sedrunu. Prezidentka Eveline Widmer-Schlumpfová na místě zdůrazňuje význam projektu NEAT pro evropskou železniční síť. Svou roli stále hraje i snaha účastníků výstavby v maximální možné míře informovat obyvatele o vývoji projektu a dosažených úspěších při výstavbě tohoto mimořádně náročného technického díla. O zájmu laické i odborné veřejnosti svědčí i fakt, že 23. srpna 2013 uvítalo informační centrum Erstfeld miliontého návštěvníka stavby. První vlak projíždí za účasti novinářů celou 57 km dlouhou trasu tunelu z Bodia do Erstfeldu 30. srpna 2013. V té době chybí do úplného



▲ *Obr. 14. Tunel Gotthard uvedený do provozu*

zprovoznění tunelu ještě cca 1000 dní. Za necelé čtyři měsíce je však 16. prosince 2013 oficiálně zahájen zkušební provoz v západní tunelové troubě. Na 13 km dlouhé zkušební trase mezi Bodiem a Faidem jede vlak poprvé rychlostí 160 km/h. Zkušební provoz, který trval do 16. června 2014, byl po 650 úspěšných jízdách vlaků a 78 testovacích dnech v tunelu ukončen. Na zkušebním úseku mezi Bodiem a Faidem jezdily vlaky rychlostí až 220 km/h. Zkušební provoz poskytl důležité informace pro testovací provoz celého systému tunelu a zprovoznění tunelu v prosinci 2016. Záběry z monitorování provozních parametrů při zkušebních jízdách ukazuje obr. 13. Dne 11. prosince 2016 byl přesně 134 let po otevření prvního železničního tunelu pod masivem Gotthard nový bázový tunel Gotthard uveden do provozu (viz obr. 14).

Závěr první části

V prvním díle se měl čtenář možnost seznámit se základními informacemi o projektování a stavbě nejdelšího tunelu světa. V dalším díle se budeme podrobněji zabývat geologickými poměry v trase tunelu, zajímavými technickými řešeními, která byla v konkrétních podmínkách stavby použita, i komplikacemi, jež bylo nutné v průběhu výstavby překonat. I když je Gotthardský bázový tunel momentálně nejdelším tunelem na světě, již v tomto okamžiku je ve výstavbě Brennerský bázový tunel spojující Rakousko s Itálií, který svou délkou tunel Gotthard překoná. I když se po dokončení tunel Brenner zapíše do knihy rekordů, nejde v oboru podzemních staveb o dosažení „vítězství" z hlediska délky tunelu, množství vytěženého materiálu nebo velikosti plochy výrubu. I když se u tunelu uvádí životnost sto let, stavby významu bázových tunelů by měly stavebně i morálně tuto časovou hranici překonat. Díky prostředí, ve kterém jsou tunely raženy, je každé takové dílo unikátní a vyžaduje bez ohledu na rekordy pozitivní spojení sil všech účastníků výstavby, aby bylo cíle dosaženo bezpečně, s požadovaným přínosem do vedení trasy a za vynaložení nezbytně nutných investičních nákladů. V případě tunelu Gotthard se díky referendu ohledně jeho financování a tím i výstavbě aktivně a vědomě podílel každý občan Švýcarska. ■

english synopsis

The Gotthard Base Tunnel from Initial Ideas to Putting into Operation

The new Gotthard Base Tunnel's length of 57 km is not the only parameter that deserves to attract the attention of the technical community. During construction, the tunnel had to be driven beneath the Gotthard Massif under complicated geological conditions with an overlying stratum of as much as 2,300 metres in frequently winding rock with extraction deformation of the order of tens of centimetres, the method of financing had to be resolved in the typically Swiss form of a referendum, the removal and disposal of an enormous quantity of broken rock and the transportation of the building material required for the construction of the tunnel had to be secured logistically, and the safe and ecological construction and operation of the tunnel had to be assured. The media in the Czech Republic largely noted the news of the opening of the longest tunnel in the world merely by stating the work's basic parameters. This paper attempts to describe this extraordinary work in greater detail.

klíčová slova:
bázový tunel Gotthard, nejdelší tunel světa

keywords:
the Gotthard Base Tunnel, the longest tunnel in the world