

PODZEMNÍ STAVBY PRAHA 2013

UNDERGROUND CONSTRUCTIONS PRAGUE 2013

KEYNOTE LECTURE No. 3:

ZÁKON VELKÝCH ČÍSEL V PODZEMNÍM STAVITELSTVÍ – ŘÍZENÍ RIZIK U MEGAPROJEKTŮ – PONAUCENÍ Z BÁZOVÉHO TUNELU GOTTHARD

THE LAW OF LARGE NUMBERS IN UNDERGROUND CONSTRUCTION – RISK MANAGEMENT FOR MEGAPROJECTS – LESSONS LEARNED FROM THE GOTTHARD BASE TUNNEL

HEINZ EHRBAR

ABSTRAKT

Zákon velkých čísel je teorém v oblasti teorie pravděpodobnosti. Popisuje výsledek mnohokrát opakovaného provádění stejného experimentu. Podle tohoto zákona by se průměr výsledků získaných z velkého počtu pokusů měl blížit očekávané hodnotě a bude mít tendenci přiblížit se tím více, čím více pokusů se provede.

Megaprojekty a podzemní stavby nejsou náhodnými experimenty. Zákon velkých čísel není proto aplikovatelný přímo. Moderní návrhové a stavební postupy, nejnovější technologie a nejmodernější řízení rizik každý den pomáhají zajišťovat plnění různých požadavků stavby. Nicméně, i při tom nejlepším projektu a stavebních postupech mají megaprojekty řadu zbytečných rizik s velkými důsledky. Zákon velkých čísel pouze ukazuje, že některá z těchto rizik se prakticky během realizace megaprojektu jistě vyskytnou. Historie mnoha megaprojektů tento fakt potvrzuje.

I bazový tunel Gotthard, který se v roce 2016 stane nejdelším železničním tunelem na světě, je takovým megaprojektem. Všechny požadavky stavby, jako jsou požadavky na bezpečnost a ochranu zdraví, aspekty životního prostředí, požadavky na kvalitu a funkčnost, náklady, dobu výstavby, procesy, organizaci a názory veřejnosti, byly ohroženy dlouhou řadou významných rizik.

Tento článek ukáže některá důležitá opatření ke snížení rizik použitá na bazovém tunelu Gotthard. Důraz se klade na důležitost profesionálního řízení rizik jako nástroje řízení stavby, na včasné rozpoznání rizik a na vytvoření dostatečného času na akci.

Ponaucení z bazového tunelu Gotthard ukazují důležitost dalšího zlepšování na příštích megaprojektech.

1 ZÁKON VELKÝCH ČÍSEL – DŮSLEDKY PRO MEGAPROJEKTY

Megaprojekty jsou extrémně velké investiční stavby, které se charakteristicky definují takto [1]:

- Jejich cena je vyšší než jedna miliarda USD.
- Přitahují velkou pozornost veřejnosti z důvodu podstatných dopadů na obce, životní prostředí a rozpočty.

V teorii pravděpodobnosti je zákon velkých čísel teorém, který popisuje výsledek velmi mnohokrát prováděného stejného experimentu. Podle tohoto zákona by se měla průměrná hodnota výsledků získaných na velkém počtu pokusů blížit očekávané hodnotě. Průměrná hodnota výsledků bude mít tendenci blížit se k očekávané hodnotě tím více, čím více pokusů se provede.

ABSTRACT

The law of large numbers is a theorem in probability theory. It describes the result of performing the same experiment a large number of times. According to the law, the average of the results obtained from a large number of trials should be close to the expected value, and will tend to become closer as more trials are performed.

Megaprojects and underground constructions are not random experiments. The law of large numbers is therefore not directly applicable. Modern design and construction procedures, latest technology and a state of the art risk management help to guarantee each day the fulfilment of the different project requirements. Nevertheless even with the best design and construction procedures, megaprojects have a big portfolio of residual risks with big consequences. The law of the big numbers indicates only, that some of these risks will occur during the realisation of a megaproject practically for sure. The history of many megaprojects confirms this fact.

Also the Gotthard Base Tunnel, which will be the longest railway tunnel of the world in 2016, is such a megaproject. All the project requirements, such as requirements on health and safety, environmental aspects, quality and functionality, costs, construction time, processes, organisation and on the public opinion were threatened by a long list of hazards.

This paper will indicate some important mitigation measures used at the Gotthard Base Tunnel. The importance of a professional risk management is emphasized as a management tool in order to recognize risks as early as possible and by creating sufficient time for action.

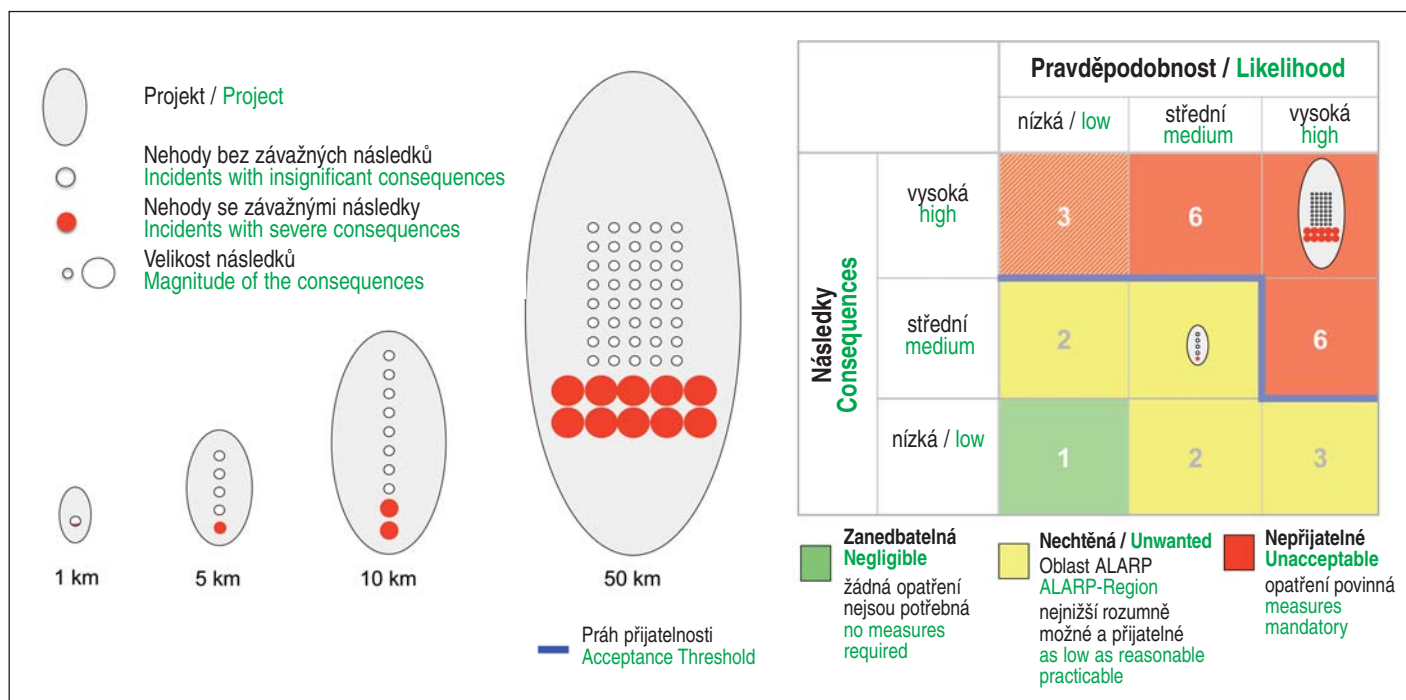
The lessons learned from the Gotthard Base Tunnel show the necessity for further improvement in future megaprojects.

1 THE LAW OF LARGE NUMBERS – CONSEQUENCES FOR MEGAPROJECTS

Megaprojects are an extremely large-scale investment projects and are typically defined [1]:

- Costing more than US\$1 billion
- Attracting a lot of public attention because of substantial impacts on communities, environment, and budgets

In probability theory, the law of large numbers is a theorem that describes the result of performing the same experiment a large number of times. According to this law, the average value of the results obtained from a large number of trials



Obr. 1 Počet výskytů závažných případů ve vztahu k velikosti stavby a dopadu na portfolio rizik

Fig. 1 Number of occurrences of negative events in relation to the project size and impact on the risk portfolio

Realizace megaprojektů a podzemních staveb není čistě náhodným experimentem. Dobře definované a osvědčené procesy, jako jsou nejmodernější postupy projektování, realizace, řízení kvality a řízení rizik, pomáhají zajistit plnění všech různých požadavků stavby, jako jsou:

- Požadavky na bezpečnost a ochranu zdraví.
- Požadavky na ochranu životního prostředí.
- Požadavky na kvalitu, čas a náklady konkrétní stavby.
- Požadavky na vysoce profesionální projekční a stavební procesy, organizaci stavby a řízení stavby.
- Požadavky vyplývající z názorů veřejnosti.

Nicméně, každá stavba má své vlastní portfolio zbytkových rizik charakteru náhodných jevů, které mohou ohrozit plnění požadavků na stavbu.

Megaprojekty nevytvářejí jen vysoké náklady. Jsou obecně charakterizovány velkými čísly, jako je dlouhá doba výstavby, velká množství stavebních materiálů, velké množství odpracovaných hodin atd. I když je pravděpodobnost výskytu rizika považována za nezávislou na velikosti stavby, absolutní počet výskytů některé události je daleko vyšší u megaprojektu než u malé stavby.

Typickým příkladem je výskyt závažných nehod. Ve vztahu ke konkrétnímu počtu nehod na milion odpracovaných hodin se takové nehody u malé stavby mohou, nebo nemusí vyskytnout. U megaprojektů se takové nehody bohužel vyskytnou z důvodu velkého množství odpracovaných hodin potřebných pro realizaci stavby.

Některá rizika mají větší dopady u větší stavby než u malé (např. systematické selhání standardního stavebního prvku). Portfolio rizik u megaprojektu je obecně zcela jiné než u malé stavby, protože absolutní hodnoty rizik se zvětšují (počet výskytů násobený dopady). Megaprojekty proto vyžadují zvláštní úsilí vynaložené na řízení rizik od samého počátku stavby, aby se rizika poznala co nejdříve a vytvořila se příležitost na ně včas reagovat.

2 ŘÍZENÍ RIZIK PRO MEGAPROJEKTY OBSAHUJÍCÍ PODZEMNÍ STAVBY

Stavební práce obecně, a podzemní práce obzvláště, spočívají v realizaci prototypů. Řízení rizik musí zaručit jejich systematické

should be close to the expected value. The average value of the results will tend to become closer to the expected value as more trials are performed.

The realisation of megaprojects and of underground constructions is not a pure random experiment. Well defined and proven processes such as state of the art design, construction, quality control and risk management procedures help to guarantee to fulfil all different project requirements, as there are

- Health and safety requirements
- Environmental requirements
- The project specific requirements on quality, time and costs
- Requirements on highly professional design and construction processes, project organisation and project management
- The requirements of the public opinion

Nevertheless each project has its own portfolio of residual risks with the character of random experiments, which may thread the fulfilment of the project requirements.

Megaprojects create not only high costs. They are generally characterised by big numbers, such as a long construction period, big quantities of construction materials, large amount of working hours spent etc. Even if the relative likelihood of the occurrence of a hazard is assumed independent from the size of the project, the absolute number of occurrences of an event is far higher in a megaproject compared to a smaller project.

A typical example is the occurrence of severe accidents. In relation to the specific number of accidents per million working hours such incidents may occur or not in a small project. In megaprojects such accidents will unfortunately occur due to the large amount of working hours needed for the realisation.

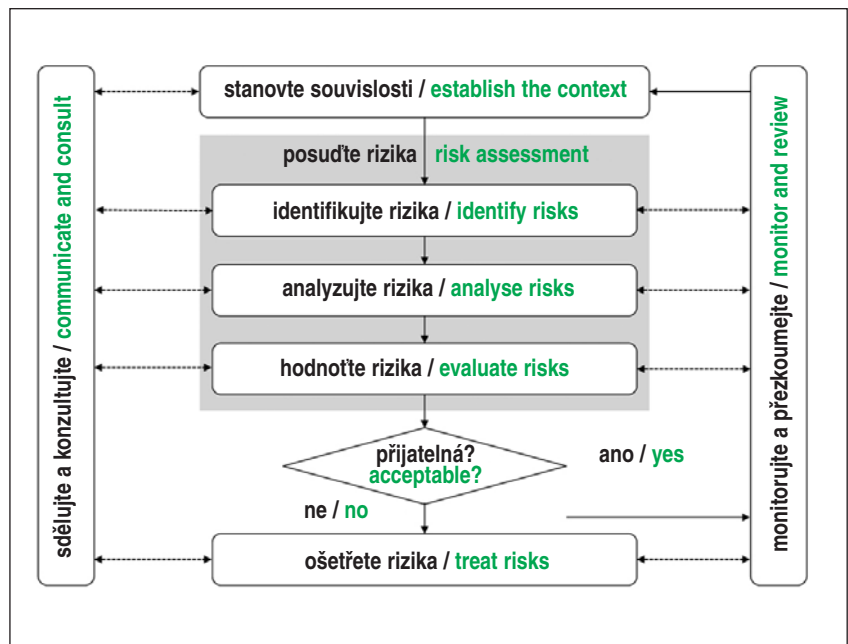
Some risks have higher consequences in bigger project than in a smaller project (e.g. systematic failure of a standard construction element). The risk portfolio of a megaproject is in general completely different from a smaller project, as absolute risk values become bigger (number of occurrences multiplied by consequences). Megaprojects need therefore special efforts on risk management from the earliest beginning of a project in order to recognise risks as early as possible and creating the opportunity to react on time.

poznávání, analýzu, oceňování, nakládání s nimi, jejich monitoring a ovládání ve všech fázích stavby (začínající již od té nejčasnější fáze studií). Zásadním problémem řízení rizik u megaprojektů není výběr použité metody. Dobře známý obecný proces řízení rizik (ISO 31000) je užitečným návodem i u megaprojektů. Velkou výzvou je zavedení dobře známých postupů u organizací na velkých stavbách, kde je velký počet zúčastněných stran. Rozdílné zájmy, nedostatečné zdroje nebo jiné priority jsou některé z překážek, které se mají překonat. Tyto překážky se musí překonat, pokud organizace stavby nehodlá některá rizika ignorovat. Ignorování určitých rizik je největší strategickou chybou při řízení jakékoliv stavby.

Řízení rizik na megaprojektu vypadá jako komplikovaný a časově náročný úkol. Tento předpoklad je ale nesprávný.

Použití sofistikovaných kvantitativních matematických modelů není u podzemních staveb normálně potřebné. Jejich použití zůstává omezené na zvláštní případy, kde mohou být užitečné. Kvalitativní metody s druhovou klasifikací pravděpodobnosti a důsledků rizik jsou ve většině těchto případů dostačující. Klasifikace se normálně provádí v rozsahu tří až pěti tříd. Společnost AlpTransit Gotthard Ltd. (ATG) úspěšně používala jako hlavní pro stavbu bázevho tunelu Gotthard (GBT) jednoduchou matici 3x3.

Široký seznam kategorií rizik a velké počty (až stovky) jednotlivých rizik v různých kategoriích k megaprojektům patří. Řízení rizik proto potřebuje jasně definované procesy, zdroje a odpovědnosti v organizaci stavby. Jasně definice kategorií rizik jako standard pro stavbu a zavedení systémů podporovaných databázemi usnadňují spravování rizik a komunikaci mezi různými zúčastněnými stranami. Do promyšlení, oceňování a snižování rizik se dá investovat více času. Typ kultury řízení rizik v organizaci je nakonec stanoven osobním přístupem vrcholového vedení. K vytvoření profesionální kultury řízení rizik je potřebné vedení. Manažeři megaprojektů by ve svém vlastním zájmu měli zavádět řízení rizik u megaprojektů od samého počátku stavby.



Obr. 2 Obecný proces řízení rizik (ISO 31000)

Fig. 2 General risk management process (ISO 31000)

2 RISK MANAGEMENT FOR MEGAPROJECTS WITH UNDERGROUND CONSTRUCTIONS

Civil construction works in general and especially underground works consist in the realisation of prototypes. Risk management has to guarantee the systematic identification, analysis, assessment, treatment, monitoring and control of the risks in all project phases (beginning with the earliest study phase). The big challenge of risk management in megaprojects is not the selection of the methodology applied. The well-known general risk management process (ISO 31000) is a useful guideline also for megaprojects. The big challenge is the implementation of the well-known procedures in big project organisations with many stakeholders. Differing interests, insufficient resources or other priorities are some of the

		Pravděpodobnost Likelihood			Pravděpodobnost Likelihood	1 nízká – low	2 střední – medium	3 vysoká – high
		nízká low	střední medium	vysoká high	Define / Definition	Na základě zkušeností výskyt nepravděpodobný Based on experience unlikely to occur	V průběhu stavby nelze vyloučit Cannot be ruled out during construction	Výskyt se musí očekávat Occurrence must be expected
Následky Consequences	vysoká high	3	6	9	Následky Consequences	1 nízká low	2 střední – medium	3 vysoká – high
	střední medium	2	4	6	○ Náklady Costs	Méně než 1 mil. CHF Less than CHF 1 mio.	1 – 10 milionů CHF 1 to 10 million	Více než 10 mil. CHF More than CHF 10 mio.
	nízká low	1	2	3	◇ Harmonogram Time schedule	Méně než 2 měsíce Less than 2 months	2 až 6 měsíců 2 to 6 months	Více než 6 měsíců More than 6 months
					□ Bezpečnost a ochrana zdraví Health and safety	Žádné trvalé poškození No permanent impairment	Trvalé poškození zdraví Permanent health impairment	Závažné trvalé poškození zdraví Severe permanent health impairment or death
					⬡ Kvalita/funkčnost Quality/functionality	Nezávažné poškození Insignificant impairment	Nějaké poškození Some impairment	Závažné poškození Severe impairment

Unacceptable Nepřijatelné opatření požadována measures required	Nechtěné / Unwanted Oblast ALARP / ALARP-Region nejnižší rozumně možné a přijatelné as low as reasonable practicable	Zanedbatelné / Negligible žádná opatření nejsou potřebná / no measures required	Práh přijatelnosti Acceptance Threshold
--	--	---	--

Obr. 3 Matice rizik a definování kategorií rizik použité firmou ATG

Fig. 3 Risk matrix and definition of risk categories used by ATG

Jisté množství neidentifikovaných rizik je nevyhnutelné, i když všechny práce na analýze rizik jsou provedeny profesionálně. K tomuto faktu by se mělo přihlížet v rozpočtech (viz. obr. 11) a v předávání informací o všech nejistotách výstavby.

3 BYLY POŽADAVKY NA STAVBU SPLNĚNY? – PONAUCENÍ Z BÁZOVÉHO TUNELU GOTTHARD

3.1 Obecný účel stavby báзовého tunelu Gotthard

Bázový tunel Gotthard (GBT) je ústředním bodem Nového železničního spojení přes Alpy (NRLA) (obr. 4). Stane se komerčně provozuschopným ve smíšeném režimu (osobní vlaky a nákladní vlaky) v prosinci 2016. Maximální rychlost v tunelu bude 250 km/hod. pro osobní vlaky a 160 km/hod. pro nákladní vlaky. Systém tunelu se skládá ze dvou samostatných jednokolejných tunelů s minimální osovou vzdáleností 40 metrů, maximálním podélným sklonem 6,76 ‰ a minimálním poloměrem směrového oblouku 5000 m. Tyto jednokolejné tunely jsou propojeny každých 312,5 m tunelovými spojkami. Ve třetinách délky, u Sedrunu a Faida, jsou vybudovány víceúčelové stanice s technologickými prostory, systémem větrání a nouzovými stanicemi.

Hlavním účelem této nové železniční infrastruktury je přesunutí těžké transalpské nákladní přepravy přes Švýcarsko ze silnice na železnici. Celkem 220 až 260 nákladních vlaků za den nabídne vyšší přepravní kapacity s vyšší rychlostí použitím prvního rovinného železničního přechodu přes Alpy na Evropském tranzitním koridoru č. 24 mezi Rotterdame a Janovem. Celkem 50 až 80 osobních vlaků za den nabídne rychlejší spojení hospodářské oblasti jižního Německa, Švýcarska a severní Itálie. Vyšší cestovní rychlost v pohodlných vlacích vytvoří reálnou alternativu cestování autem nebo letadlem.

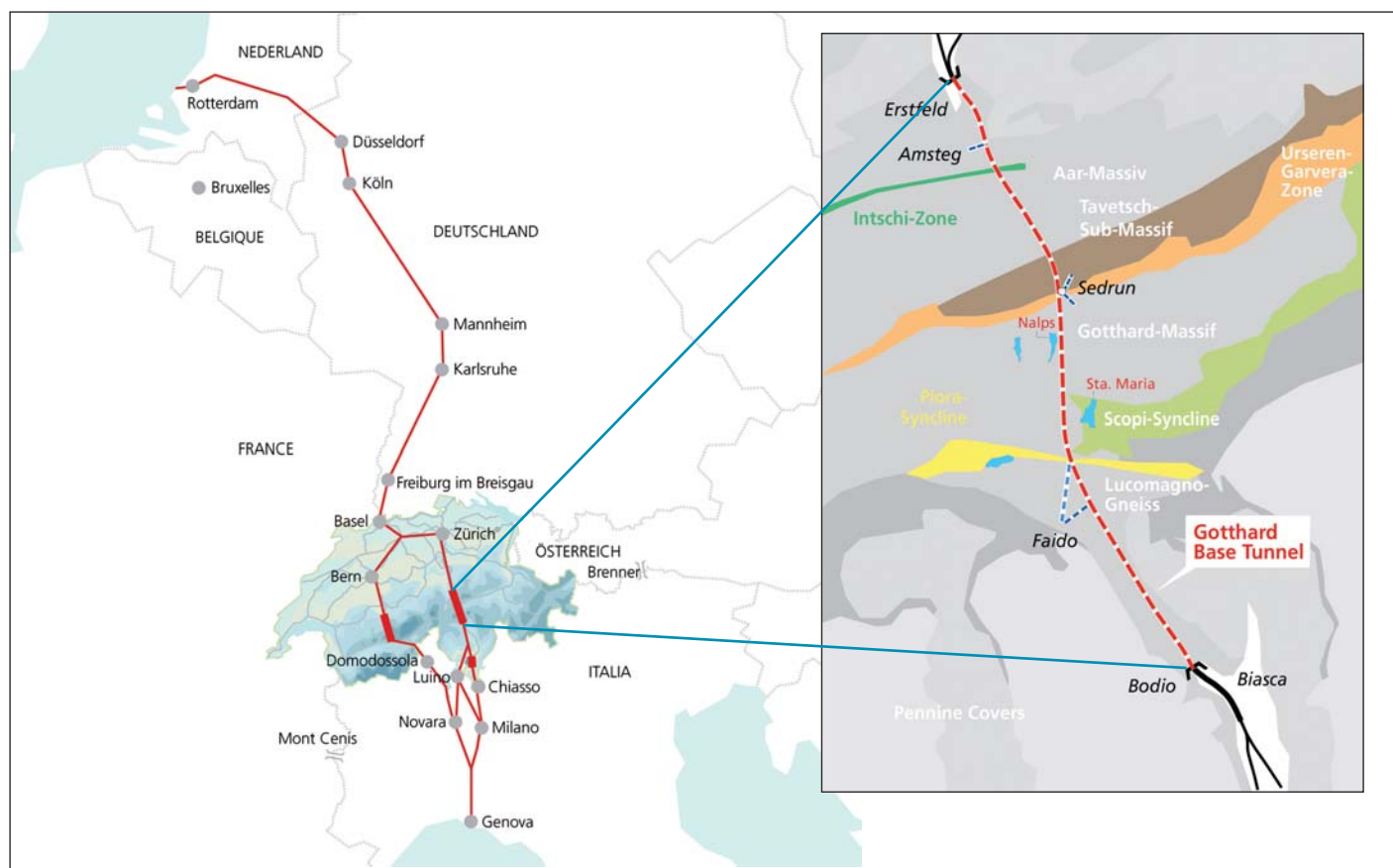
Aby se zkrátila celková doba výstavby, tunel byl rozdělen na pět různých stavebních úseků, umožňujících souběžné práce na

obstacles to be overcome. Unless a project organisation intends to ignore some risks, these obstacles have to be overcome. Ignoring certain risks is the biggest strategic error in the management of any project.

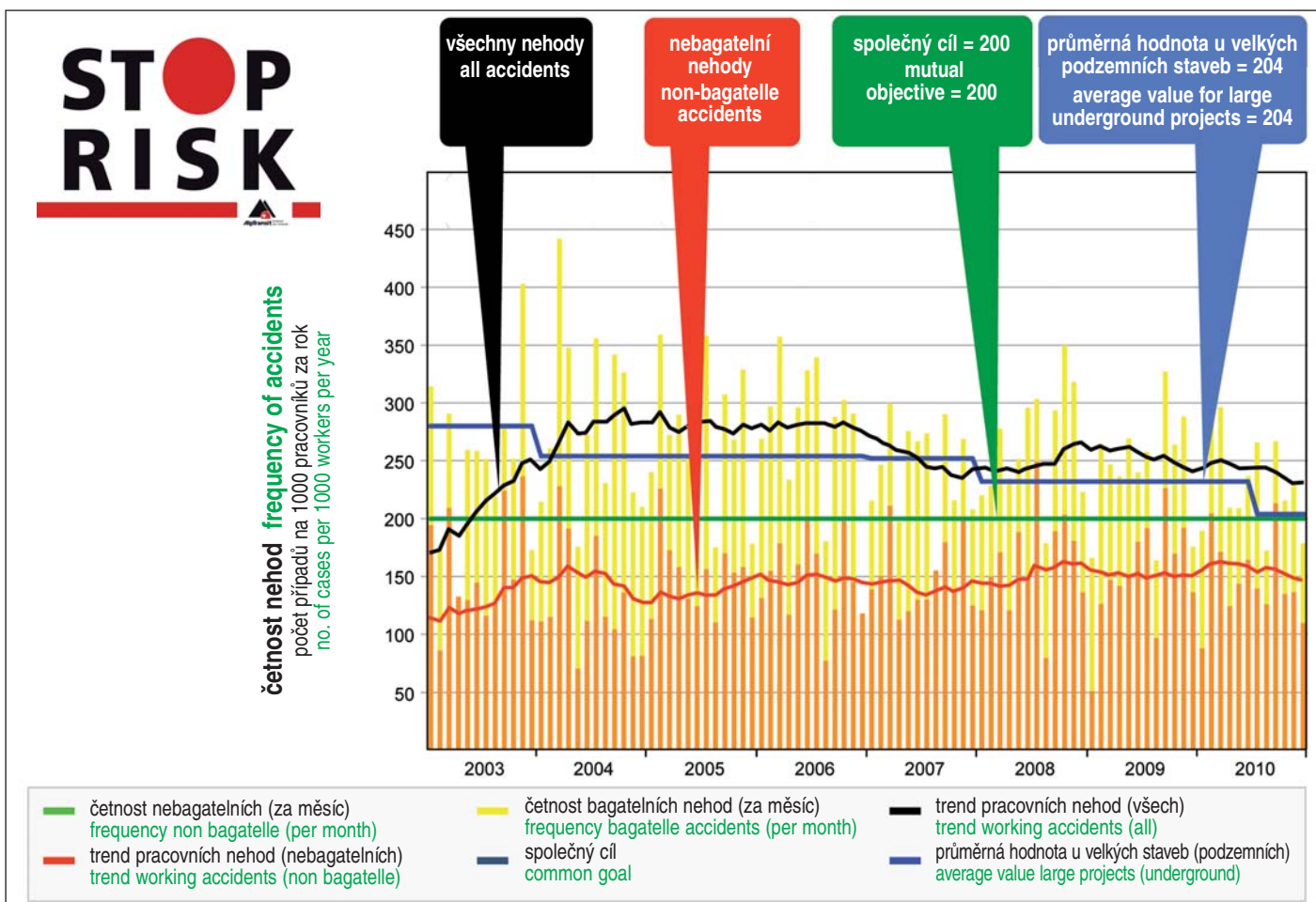
Risk management for megaprojects sounds like a complicated and time consuming task. This assumption is wrong.

The application of sophisticated quantitative mathematical models is normally not needed for underground construction projects. Their application remains restricted to special cases where they may be helpful. Qualitative methods with a generic classification of the likelihood and the consequences of the risks are sufficient in most of the cases. The classification is normally done in a range of three to five classes. AlpTransit Gotthard Ltd. (ATG) as the principal of the Gotthard Base Tunnel (GBT) project used a simple 3 x 3 matrix successfully.

A wide catalogue of risk categories and large numbers of individual risks (up to hundreds) in different categories is inherent to megaprojects. Risk management needs therefore its clear processes, resources and responsibilities in the project organisation. Clear definitions of the risk categories as a project standard and the implementation of database-supported systems facilitate the administration of the risks and the communication between the different stakeholders. More time can be invested for thinking, for the assessment and the mitigation of risks. The personal attitude of the top management finally defines the type of the risk culture in an organisation. Leadership is required to establish a professional risk culture. Managers of megaprojects should implement risk management in megaprojects in their own interest from the earliest beginning of a project.



Obr. 4 Situace báзовého tunelu Gotthard, ústředního bodu Evropského dopravního koridoru č. 24
Fig. 4 Situation of the Gotthard Base Tunnel, centrepiece of the European Transport Corridor 24



Obr. 5 Kampaň Stop rizikům a konkrétní počty nehod (zpráva staveb ATG a NAD 2010)
Fig. 5 Stop risk campaign and specific number of accidents (ATG and NAD Report 2010)

pěti hlavních stavenišť: Erstfeld, Amsteg, Sedrun, Faïdo a Bodio (od severu k jihu).

3.2 Požadavky na bezpečnost a ochranu zdraví

Jako všude jinde, i u projektu GBT bylo stanoveno, že každý dělník by měl opouštět své pracoviště na konci své směny tak zdravý a bezpečný, jako když začínal pracovat.

Ve fázi projektování se za hlavní bezpečnostní rizika považovaly různé typy nehod, obzvláště požáry v tunelu s dělníky nacházejícími se před místem požáru. Vysoké počáteční teploty hornin a podzemní vody přesahující 50 °C byly velkou výzvou pro vytvoření přijatelných pracovních podmínek. Společnost ATG ve výběrovém řízení stanovila opatření k zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví velmi detailně, aby se vyhnula jakýmkoliv spekulacím dodavatelů. Specifikace zdravotních a bezpečnostních požadavků byly vydány proto, aby je dodavatelé brali v úvahu ve svých stavebních postupech (např. kabiny blízko čelby chránící proti kouři, napojené na chráněné potrubí se stlačeným vzduchem vedoucí z vnějšku, tunelové spojky do druhé trouby ražené každých 1500 m za prvním čelem výrubu, uspořádání systému větrání přihlížející k různým scénářům požáru, systémy chlazení atd.).

V průběhu výstavby došlo pouze k velmi málo požárům v podzemí, které byly hlavně způsobeny poruchami motorů. Díky moderním hasicím systémům na všech hlavních strojích (jako jsou např. lokomotivy) nedošlo k žádným závažným následkům. Velký požár systému pásových dopravníků v oblasti montáže Sedrun ukázal, jak důležitá je kvalita dopravníkových pásů v podzemí. Stejná nehoda, v případě nedostatečné kvality pásů pro práce v podzemí, by měla v podzemí katastrofální důsledky.

Even if all the risk analysis work has been done professionally, a certain amount of unidentified risks is unavoidable. This fact should be considered in budgets (see Fig. 11) and in the communication of the entire project uncertainties.

3 PROJECT REQUIREMENTS ACHIEVED? – LESSONS LEARNT GOTTHARD BASE TUNNEL

3.1 General purpose of the Gotthard Base Tunnel Project

The Gotthard Bas Tunnel (GBT) is the centrepiece of the New Railway Link through the Alps (NRLA) (Fig. 4). It becomes commercially operable in a mixed mode (passenger trains and freight trains) in December 2016. The maximum speed in the tunnel will be 250 km/h for passenger trains and 160 km/h for freight trains. The tunnel system consists of two separate single-track tunnels with a minimum axial distance of 40 metres, a maximum slope of 6.76 ‰ and a minimum horizontal radius of 5,000 m. The single-track tunnels are linked every 312.5 metres by cross passages. Multifunction stations, containing technical rooms, ventilation systems and emergency stations are constructed in the third points at Sedrun and Faïdo.

The main purpose of the new railway infrastructure is to shift a major part of the heavy transalpine freight traffic through Switzerland from the road to the rail. 220 to 260 freight trains per day will offer higher transport capacities with higher velocities by using the first flat rail link through the Alps on the European transit corridor No. 24 between Rotterdam and Genoa. 50 to 80 passenger trains per day will offer faster connections linking the economic regions of southern Germany, Switzerland and northern Italy. Faster travel

Velká chladicí zařízení (např. ve Faido s výkonem 12 MW) musela omezit teploty na pracovištích na 28 °C. U některých zvláštních pracovních postupů se tato teplota nedala dosáhnout. V takových případech se musela zkrátit délka pracovní směny v souladu s předpisy národní agentury pro bezpečnost a ochranu zdraví (SUVA).

Riziko nehody u stavby AlpTransit je definováno jako počet nehod na zaměstnance na plný pracovní úvazek za rok. Tento počet zahrnuje všechny úrazy (i bagatelní případy). Od roku 2002 se úrazovost sleduje systematicky (obr. 5). Dodavatelé, stavební dozor a objednatel se společným úsilím (kampaně „Stop rizikům“) pokoušeli tuto specifickou hodnotu dostat pod předem definovanou cílovou hodnotu 200 nehod na 1000 pracovníků za rok. I když se úrazovost dařilo od začátku hlavních ražeb GBT podstatně snížit, monitorovanou měsíční hodnotu úrazovosti se nikdy nepodařilo snížit pod cílovou hodnotu.

Je politováníhodné, že během stavby GBT přišlo o život 9 pracovníků. Osm z těchto nehod souvisí se stroji a dopravou; jeden případ souvisel se závalem. Každý jednotlivý smrtelný úraz až příliš a dramaticky ovlivňuje životy příbuzných často po zbytek jejich života. To, že konkrétní počet smrtelných úrazů je relativně nízký ve srovnání s dřívějšími podzemními stavbami, ukazuje, že tento obor již během posledních desetiletí dosáhl velkých zlepšení, avšak konečný cíl dosud nebyl dosažen. Další snižování počtů nehod je trvalou povinností všech partnerů na pracovišti. „Cíl nula“, který je v současné době uplatňován na stavbě Crossrail (Spojené království), musí být budoucím stavem mysli na všech megaprojektech.

Ponaučení:

- Většina nehod při moderní výstavbě tunelů souvisí se stroji a dopravou v podzemí.
- K požárům v tunelech došlo pouze ve výjimečných případech a bez závažných následků díky nejnovější technice, jako jsou automatické hasicí systémy.
- Pásové dopravníky v podzemí vyžadují velkou požární odolnost pásů. Špatná kvalita může způsobit katastrofu.
- Externí hasiči nemohou dorazit včas. Pracovní směny proto musí být vybaveni a vycvičeni stejně jako hasiči.
- „Cíl nula“ musí být stavem mysli u všech budoucích megaprojektů (Crossrail).

3.3 Požadavky na životní prostředí

Hlavním cílem stavby GBT je zásadní zlepšení aspektů životního prostředí v alpských oblastech přesunutím těžkých nákladních vozidel ze silnice na železnici. Znečišťování ovzduší, emise hluku a rizika nehod by se měly v provozní fázi snížit na značně nižší úroveň. Ochrana před prachem, ochrana proti znečišťování ovzduší, ochrana proti hluku, ochrana vod, ochrana fauny a flóry, ochrana přírodních zdrojů vhodnými stavebními metodami a vyhýbání se poškozování majetku a práv třetích stran, jsou také nutností ve fázi výstavby.

Snižování rizik pro životní prostředí mělo pro stavbu GBT tu nejvyšší důležitost od samého začátku. Hlavní opatření pro snižování byla tato:

- Využívání rubaniny na výrobu kameniva do betonu pro zajištění výrubu a definitivní ostění. Z vyrubaného materiálu pocházejícího z ražeb plnoprofilovými stroji a z konvenčních ražeb se vyrobilo celých 100 % šterku do betonu pro tunelové konstrukce.
- Všechn hromadný materiál se dopravoval po kolejích nebo pásovémi dopravníky.
- Filtry na odstranění kouřových částic u všech dieselových motorů na povrchu i v podzemí byly vyžadovány dávno předtím, než se staly zákonnou povinností.
- Každá oblast montáže byla vybavena technologicky vyspělou čistírnou odpadních vod, čistící širokou škálu znečištěných vod.
- Velké investice byly vloženy do nakládání s bahnem různých kvalit.

speeds in more comfortable trains will create a real alternative to travelling by car or by airplane.

In order to shorten the total construction time the tunnel was divided into five different construction sections allowing the parallel work on the five main sites of Erstfeld, Amsteg, Sedrun, Faido and Bodio (from north to south).

3.2 Requirements on health and safety

As everywhere, also in the GBT Project was stipulated, that each worker should leave the job site at the end of his shift as healthy and safe as he started his work.

In the design phase, different types of accidents and especially fires in the tunnel with inclusion of workers in front of the fire were seen as the main safety risks. High initial rock and ground water temperatures of more than 50 °C were a big challenge for creation of acceptable working conditions. ATG tendered the health and safety installation measures in detail in order to withdraw them from any speculation of the contractors. Specifications on the health and safety requirements were given in order to be considered by the contractors in their construction processes (e.g. smoke protection containers close to the excavation front connected to a protected compressed air pipe from outside, cross passages to the 2nd tube excavated 1'500 metres behind the first excavation front etc., layout of the ventilation system taking various fire scenarios into account, cooling systems).

Only very few fires occurred below ground during the construction period, mainly caused by engine failures. Thanks to modern extinguishing systems on all major machines (such as locomotives) no severe consequences occurred. A big fire of the conveyer belt system at the rig area of Sedrun showed the high importance of the adequate quality of the conveyer belts below ground. The same accident (with an inadequate belt quality for underground work) would have had disastrous consequences below ground.

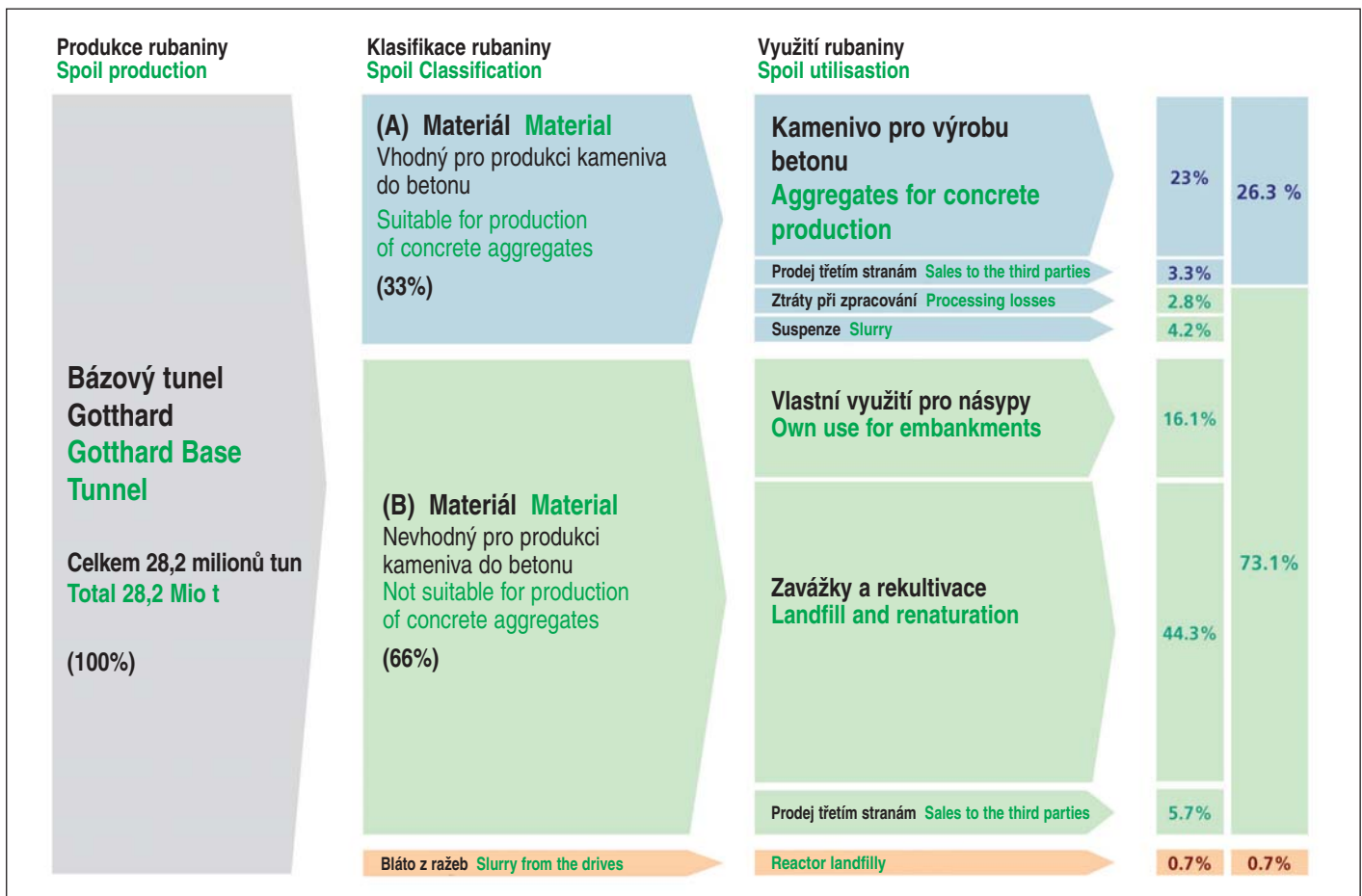
Huge cooling installations (e.g. 12 MW capacity Faido) had to limit the working place temperatures 28 °C. In some special working sequences this temperature could not be reached. In such cases the working time per shift had to be reduced according to the regulations of the national health and safety agency (SUVA).

The accident risk in the AlpTransit project is defined as the number of accidents per full-time employee per year. This number includes any injury (also bagatelle cases). Since 2002 the accident rates were monitored systematically (Fig. 5). In a common effort ("stop risk" campaign) the contractors, the site supervision and the client tried to bring this specific rate below the predefined target value of 200 accidents per 1000 workers per year. Even if the accident rates could be substantially reduced since the beginning of the main tunnelling work at the GBT, the monitored monthly accident rate never could generally be reduced below the target value.

Regrettably 9 workers lost their lives during the construction of the GBT. Eight of these accidents are related to installations, machinery and transportation; one case was related to a rock-fall. Each fatality is one too much and affects dramatically the live of relatives often for the rest of their lives. The fact, that the specific number of fatalities is comparatively low compared to earlier underground projects indicates that the industry has reached major improvements in the last decades, but the final goal is not reached yet. A further reduction of accidents is a continuous obligation for all partners on the job site. "Target zero" as it is exercised actually in the Crossrail-Project (UK) must be the future state of mind in all megaprojects.

Lessons learned:

- Most accidents in modern tunnelling are related to machinery and underground traffic.



Obr. 6 Vývojový graf vytěženého materiálu a výborný příklad navážky

Fig. 6 Flow chart of the excavated material and excellent example of landfill

- Nevyhnutelné zásahy do flóry a fauny se musely kompenzovat předem určenými opatřeními ke zmírnění jejich vlivu.
- Dobrá spolupráce s organizacemi ochrany životního prostředí a specialisty.

Ponaučení:

- Respektování environmentálních požadavků musí mít vysokou prioritu.
- Musí se vložit potřebné investice.
- Respektování environmentálních požadavků vytváří podporu veřejnosti.
- Použití vyrubaného materiálu na výrobu kameniva do betonu je žádoucí všude, kde je to technicky možné, aby se tak šetřily přírodní zdroje!
- Použití vyrubaného materiálu na výrobu kameniva do betonu je technicky možné i při velké proměnlivosti kvality rubaniny.
- Poslední nejmodernější technologie snižují dopady na životní prostředí a vytvářejí ekonomické pobídky pro dodavatele.
- Opatření ke zmírnění vlivů na životní prostředí, kterými se kompenzují nevyhnutelné zásahy do flóry a fauny, jsou úspěšná, pokud je realizují profesionálové.
- Společným cílem musí být žádné environmentální nehody („Cíl nula“).

3.4 Požadavky na kvalitu

Švýcarský spolkový úřad pro dopravu (FOT) požadoval u staveb přesně stanovené standardy a životnost stavebních prací 100 let. V této době nejsou povoleny žádné sanační práce vyžadující podstatná provozní omezení.

Tento požadavek může splňovat pouze dvouplášťové ostění s dočasnou výstrojí tvořící vnější plášť (primární ostění) a trvalým vnitřním (sekundárním) betonovým ostěním s minimální tloušťkou 30 cm (obr. 7). Drenážní systém mezi těmito dvěma ostěními

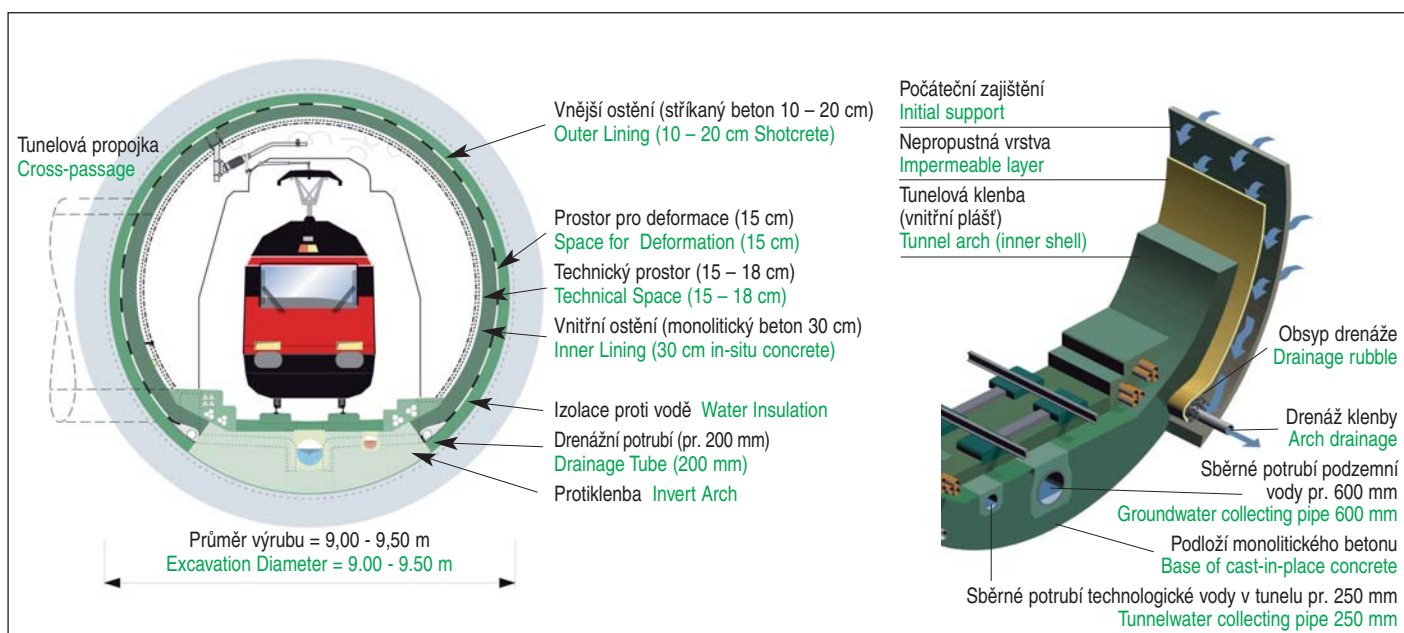
- Tunnel fires occurred only in rare cases without severe consequences thanks to the modern state of the technique such as automatic fire extinguishing systems.
- Conveyor belts below ground need high fire resistance quality of the belts. Wrong qualities can cause catastrophes.
- External fire fighters cannot arrive in due time. The working shifts have to be equipped and trained as fire fighters.
- “Target Zero” must be the state of mind in all megaprojects of the future (Crossrail).

3.3 Environmental requirements

The main goal of the GBT is the major improvement of the environmental aspects in the alpine regions by shifting the heavy load trucks from the road to the rail. Air pollution, noise omissions and the risks of accidents should be reduced to a significant lower level in the operational phase. Dust protection, protection against air pollution, noise protection, water protection, protection of fauna and flora, protecting natural resources by adequate construction methods and the avoidance of damages to third parties properties and rights are also a must during the construction phase.

The reduction of environmental risks was of highest importance in the GBT Project from the earliest beginning. The main mitigation measures were:

- The use of the spoil for the production of concrete aggregates of the rock support and the final lining. 100% of the concrete gravel for the tunnel construction has been produced from excavated rock material with origin from the TBM-drives and the conventional drives.
- All mass goods had to be transported by rail or by conveyor belts.



Obr. 7 Životnost 100 let – tunel s dvouplášťovým ostěním
Fig. 7 100 years lifetime – double lined tunnel

trvale snižuje počáteční tlaky vody až na 150 barů. Vodotěsná fólie po celé délce tunelu (114 kilometrů) chrání vnitřní ostění proti prosakování vody po dobu 100 let. Vysoké nadloží vytváří vysoké počáteční napětí v hornině, velký hydrostatický tlak a vysoké počáteční teploty horniny. Tyto hraniční podmínky vyžadovaly vyvinutí speciálních projekčních řešení a stavebních materiálů, aby se splnil požadavek na životnost.

Několik let před zahájením výběrových řízení společnost ATG uznala velké riziko u požadavků na kvalitu vyplývající z používání „pouze“ standardních výrobků. Musely se vyvinout nové systémy betonáže a zajišťování vodotěsnosti, aby splňovaly tuto vysokou úroveň a dlouhodobé požadavky. Objednatel, odborníci z oboru a vědečtí experti spolupracovali na vývoji nových výrobků. Proces končil prekvalifikací. Nové výrobky musely prokázat svou schopnost plnit vysoké požadavky na kvalitu při různých zkouškách. Ve fázi výběrových řízení se připouštěly pouze prekvalifikované výrobky.

Aby se zajistily vysoké standardy kvality, byly do smluv zahrnuty i plány zajištění kvality zpracované konkrétně pro tuto stavbu. Pro určité prvky byly za uspokojivé považovány současné průmyslové standardy a odpovídající řízení kvality, založené na odpovídajících normách (např. drenážní potrubí). Do konce roku 2012 se problémy s kvalitou vyskytly pouze u výrobků odpovídajících průmyslovým „standardům“, zatímco materiály vyrobené konkrétně pro tuto stavbu nezpůsobily žádný velký problém.

Ponaučení:

- Megaprojekty mají specifické požadavky na stavební materiály.
- V některých případech nemohou „standardní“ výrobky těmto specifickým požadavkům vyhovět. V takových případech se musí před podáním soutěžních nabídek vyvíjet nové výrobky.
- Aby se co nejdříve rozeznaly odchylky od požadované úrovně kvality, musí se zavádět plány zajištění kvality specifické pro danou stavbu (i pro standardní výrobky).
- Na délce 114 km vysoce kvalitního vnitřního ostění se nevykytl jediný problém s kvalitou kameniva do betonu vyrobeného z vlastní rubaniny!
- Běžné standardy a normy jsou užitečné nástroje, ale nejsou dostatečné. Plány zajištění kvality všech materiálů, specifické pro danou stavbu, jsou u megaprojektů nutností.
- U megaprojektů mohou mít i malé, ale systematické problémy s kvalitou závažné důsledky.

- Particle filters for all Diesel engines above and below ground were required longtime before there was a legal obligation.
- Each rig area was equipped with a high tech sewage treatment plant cleaning a broad variety of polluted water.
- High investments were made for the treatment of the various qualities of mud.
- The inevitable interventions to flora and fauna had to be compensated by predefined mitigation measures.
- A good collaboration with environmental organisations and specialists.

Lessons learned:

- Environmental requirements have to be respected with high priority.
- The necessary investments have to be made by the owner.
- Respect on the environmental requirements creates public support.
- The use of the excavated rock material for concrete aggregate production is a must wherever it is technically feasible in order to save natural resources!
- The use of the excavated rock material for concrete aggregate production is technically feasible even with big variations in the quality of the rock.
- Latest state of the art technology reduces the environmental impact and creates economic incentives for the contractors.
- Environmental mitigation measures to compensate inevitable interventions to flora and fauna are successful if professionals implement them.
- No environmental incidents (“target zero”) must be the common objective.

3.4 Quality requirements

The Swiss Federal Office of Transport (FOT) required in the project specific standards a lifetime of 100 years for the civil work. No rehabilitation work with significant operational limitations (with regard on scope and duration) is allowed during this time.

A double lined tunnel with the provisional rock support as outer lining (first lining) and the permanent in the minimum 30 cm thick inner concrete lining (second lining), can only achieve this high requirement (Fig. 7). Between the two linings a drainage system reduces permanently the initial water pressures of up to 150 bars. A waterproofing membrane on the entire length of the tunnel

3.5 Požadavky na harmonogram stavby

Švýcaři hlasovali o stavbě při třech příležitostech (v roce 1992 o stavbě samé, dvakrát v roce 1998 o modelu financování). V roce 1992 byla stavba ještě ve fázi předběžné studie. Byl stanoven pouze pravděpodobný rozsah trvání stavby, ale ne přesné datum uvedení do provozu. Přípravné stavební práce pro průzkumné štoly a šachty byly zahájeny v letech 1994–1996. Pro hlasování v roce 1998 byla předpověď uvedení tunelu do komerčního provozu na konec roku 2012.

V roce 2002 byly podepsány tři ze čtyř hlavních smluv a byly zahájeny stavební práce s cílem zahájit komerční provoz v prosinci 2014. Dodatečné dva roky měly svůj důvod v celkovém odložení stavby o jeden rok a v uzavření smlouvy na dva oddíly, Faido a Bodio, s jediným společným podnikem, což vytvořilo důležitý finanční prospěch s důsledky prodloužení výstavby o další rok.

Stavba hlavního tunelu byla zahájena bez jakýchkoliv problémů v roce 2002 na severní straně (Amsteg) a ve středním stavebním úseku (Sedrun). Na jižní straně (Faido a Bodio) se naproti tomu od samého počátku ražby naráželo na neočekávaně obtížné horninové podmínky. Po roce prací se muselo očekávat zpoždění související s termínem zahájení o jeden rok. Neočekávaně nepříznivé horninové podmínky u Faido (neidentifikované riziko) si vyžádaly 66 měsíců doby ražby místo předpokládaných 33 měsíců. Toto zpoždění a několikaleté zpoždění v zahájení hlavních prací ze severního portálu (Erstfeld), způsobené politickými vlivy, vedlo nakonec ke stanovení data uvedení do provozu v prosinci 2016 (obr. 8).

Situace byla analyzována ve čtvrtletních hodnoceních. Opatření ke zmírnění dopadů, jako posunutí rozhraní mezi úsekem Faido a úsekem Sedrun o 2 kilometry směrem na sever, se musela definovat několik let před jejich realizací, aby se získal dostatečný čas pro získání stavebního povolení a pro jednání s dodavateli [4], [6].

Ponaučení:

- Milníky se u megaprojektů s významnými podzemními stavbami nedají předpovídat přesně, dokud není hotová poslední prorážka.
- Předpovědi milníků se vždy musí sdělovat spolu s riziky vlastními pro práce v podzemí (časová rizika, obr. 8).
- Časová rizika u velkých podzemních staveb jsou často větší, než se na začátku předpokládalo (měsíce a roky namísto týdnů).
- Politická a řídicí rozhodnutí ovlivňují milníky ve stejném rozsahu jako nepříznivé horninové poměry.
- Opatření k zajištění plnění smluvních termínů se musí definovat ve značném předstihu.
- Smlouvy by měly předvídat možnosti takových opatření v případě nepředvídaných podmínek.

3.6 Požadavky na náklady a financování

V roce 1998 přijali Švýcaři financování ve výši 30,5 miliardy CHF pro moderní železniční infrastrukturu novým veřejným fondem. Úvěry a později vládní půjčky tomuto fondu byly omezeny na maximální částku 4,1 miliardy CHF v průběhu existence fondu stanovené na 23 let.

Příjem fondu se vytváří z následujících zdrojů (obr. 9):

- Nová daň pro těžká silniční vozidla (65%)
- Část stávající daně z minerálních olejů (25%)
- Další 0,1 % k dani z přidané hodnoty (10%)

Z celkových investic ve výši 30,5 miliardy CHF bylo 13,6 miliardy vyhrazeno pro projekty NRLA (koridory Lötschberg a Gotthard). Podle prvních modelů financování by budoucí provozovatelé měli splatit 25 % investic. V této době úřad FOT a společnost ATG dohodly pro básový tunel Gotthard a přístupové trasy rozpočet nákladů ve výši 6,323 miliardy CHF. V tomto rozpočtu nebyly obsaženy žádné náklady na nepředvídané podmínky. Rozpočet na nepředvídané podmínky zůstal v odpovědnosti spolkové vlády. Právo na investování této rezervy měla pouze spolková vláda.

Na konci roku 2011 předpověď možných konečných nákladů na stavbu GBT dosáhla 9,956 miliardy CHF (+ 57 %) [9]. Tento

(114 kilometres) protects the inner lining against water filtration during 100 years. The big overburden creates high initial rock stress, high water pressure and high initial ground temperatures. These boundary conditions required the development of special design solutions and construction materials in order to fulfil the life-time requirement.

Several years before the tender process started, ATG recognised the big risk on the quality requirements by using “only” standard products. New concrete systems and waterproofing systems had to be developed in order to fulfil the high level and long-term requirements. Client, industry and scientific experts participated in the development of new products, which ended with a prequalification process. The new products had to prove their ability to fulfil the high quality requirements in different tests. Only prequalified products were allowed in the tender phase.

Project specific quality assurance plans were integrated in the contracts in order to guarantee the high quality standards. For certain elements the actual industrial standard and the corresponding quality control based on the corresponding codes were considered to be satisfactory (e.g. drainage pipes). Until the end of 2012 quality problems occurred only with industrial “standard” products, whereas the project specific materials caused no major problem.

Lessons learned:

- Megaprojects have project specific requirements on construction materials.
- In some cases “standard” products cannot fulfil these specific requirements. In such cases new products have to be developed before tendering the project.
- Project specific quality assurance plans (also for standard products) have to be implemented in order to recognize deviations from the required quality level as early as possible.
- On a length of 114 km of high quality inner lining not one single quality problem occurred with the concrete aggregates produced from the own muck!
- Common standards and codes are helpful instruments but not sufficient. Project specific quality assurance plans for all materials are a must for megaprojects.
- In a megaproject small, but systematic quality problems can cause severe consequences.

3.5 Requirements on the construction schedule

The Swiss people voted on 3 occasions on the project (1992 on the project itself, 1998 twice on the financing model). 1992 the project was still in the preliminary study phase. Only a probable range of the construction period was defined, but no exact opening date. In 1994/1996 the preliminary construction work for exploratory galleries and shafts started. For the votes in 1998 the forecast for the opening of the tunnel for commercial operation was given per end of 2012.

In 2002 three of the four main contracts were signed and the construction work started with the aim to start the commercial operation in December 2014. The additional two years had its reason in a general postponement of the project by one year and in the award of the contract for the two lots Faido and Bodio to one and the same joint venture creating an important financial benefit with the consequences of an additional year of construction time.

The construction of the main tunnel started in 2002 on the northern side (Amsteg) and in the central construction section (Sedrun) without any problems. On the southern side (Faido and Bodio) in contrast unexpected difficult ground conditions were encountered from the earliest beginning of the excavation work. After one year of work a delay of one year related to the opening milestone had to be predicted. The unexpected bad ground conditions in Faido (unidentified risk) needed 66 months of excavation time instead of the foreseen 33 months. This delay and a delay of several years in the beginning of the main work of the northern portal section (Erstfeld) caused by political reasons lead finally to the actual opening date of December 2016 (Fig. 8).



Obr. 8 Vývoj milníků pro prorážku a zahájení komerčního provozu

Fig. 8 Development of the milestones final breakthrough and begin of commercial operation

nárůst cen na stavbě GBT a u dalších projektů (bázový tunel Lötschberg + 32 %) [9], ale i skutečnost, že provozovatelé nebudou nikdy schopni splatit 50tiprocentní díl investic, vedl k situaci, že kapitál veřejného fondu musel být zvýšen až na 10,1 miliardy CHF. Životnost fondu (do splacení všech dluhů) se zvýšila až na 30 let (obr. 9). Aby se nepřekročila celková výše investic 30,5 miliardy CHF, musely se další projekty odložit nebo zrušit.

Jaké jsou důvody tohoto vývoje nákladů u projektu NRLA, který je veřejnou stavbou s vůbec největším vládou řízenou stavbou ve Švýcarsku? Jelikož čas jsou peníze, vývoj nákladů odráží hlavně velké změny v harmonogramu stavby z důvodu rizik souvisejících s horninou (jižní strana) a politických rizik (severní strana). Tyto dvě složky vysvětlují pouze část celkového nárůstu nákladů. Dalšími důležitými složkami u megaprojektů s dlouhou dobou realizace jsou změny projektu a změny příkazů různých zúčastněných stran. Po třech dramatických tunelových požárech, v silničním tunelu Mont Blank (1999), Tauernském silničním tunelu (1999) a v silničním tunelu Gotthard (2001), byly vyžadovány změny projektu systému větrání, aby se původně již dostatečné bezpečnostní standardy dostaly na vyšší úroveň. Další větrací štolky, šachty a tunelové spojky, které se musely razit, vyžadovaly další dobu výstavby a další náklady. Uspořádání 15 km dlouhého bázového tunelu Ceneri bylo změněno z dvoukolejné troubky na dvě jednokolejné trouby, což způsobilo velké překročení nákladů (obr. 10).

Dlouhé trvání stavby překračující 10 let samo o sobě také znamená velkou sumu dodatečných nákladů i z důvodu malých změn projektu. Jisté změny se musely přijmout z technických nebo politických důvodů, i při přísné kontrole všech požadavků na změny projektu, vedením objednatele. Při předpokladu dodatečných nákladů způsobených tímto efektem ve výši 1 % za rok dosahuje výsledný nárůst času a peněz 10 až 15 %!

Dosud bylo zpracováno několik studií snižování nákladů. Všechny ukázaly velmi omezený dopad do konečných nákladů na současných staveništích. Podstatného snížení nákladů by se dalo dosáhnout pouze strategickými rozhodnutími, jako jsou zkrácení doby výstavby a odložení nebo zrušení jiných projektů.

The situation was analysed in quarterly reviews. Mitigation measures, such as the shift of the interface between Faido and Sedrun of 2 kilometres in southern direction, had to be defined several years before their execution in order to get sufficient time to receive the construction permit and for negotiations with the contractors [4], [6].

Lessons learned:

- Milestones in megaprojects with relevant underground structures cannot be predicted accurately as long as the final breakthrough is not done.
- Milestone predictions have always to be communicated together with the inherent uncertainties for underground works (time risks, Fig. 8).
- Time risks for large underground structures are often bigger than initially assumed (months and years instead of weeks).
- Political and management decisions affect the milestones in the same magnitude as unfavourable ground conditions.
- Strategic measures to guarantee that the deadlines are met must be defined well in advance.
- Contracts should foresee options for such measures in case of unforeseen conditions.

3.6 Requirements on costs and financing

In 1998 the Swiss people accepted the financing of CHF 30.5 billion for a modern railway infrastructure by creating a new public fund. The credits and later the governmental loans to the fund were limited to a maximum of CHF 4.1 billion during the lifetime of the fund of 23 years.

The income of the fund is created by the following sources (Fig. 9):

- A new heavy road vehicle tax (65%)
- Part of the existing mineral oil tax (25%)
- New additional 0.1% of the value added tax (10%)

From the total investments of CHF 30.5 billion, CHF 13.6 billion were reserved for the NRLA-Projects (Lötschberg- and Gotthard-Axis). According to first financing model, the future operators should pay back 25% of the investments back. At this time the FOT and ATG agreed a cost budget of CHF 6.323 Billion [9] for the Gotthard Base Tunnel and the access links. No costs for unforeseen conditions were included in this budget. The budget for the unfore-

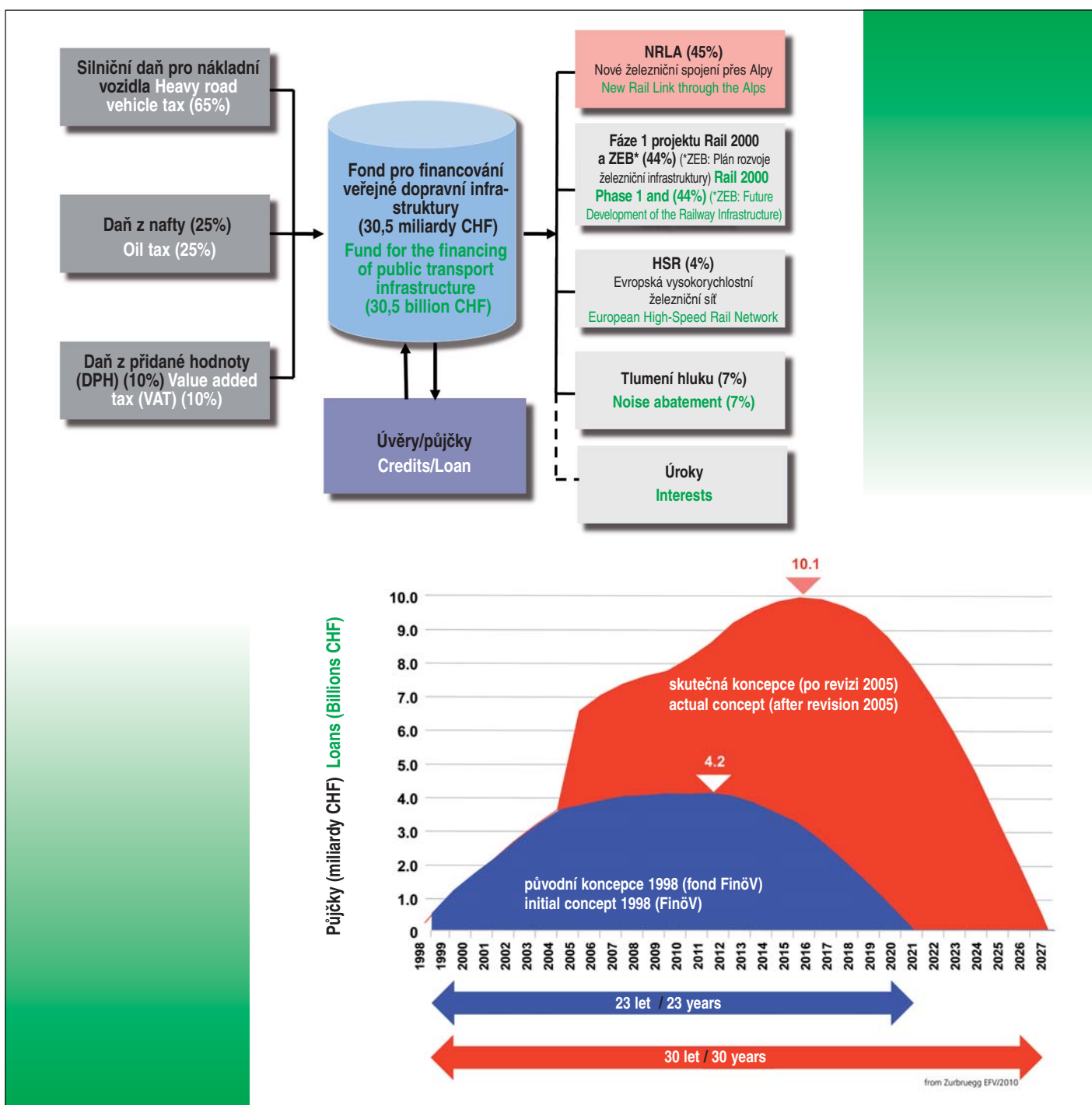
Ponaučení:

- Náklady u megaprojektů vykazují vysokou nejistotu z důvodu jejich přímé vazby na dobu výstavby.
- Nákladová rizika u megaprojektů jsou větší než hodnota neplacení (?) daná národními standardy (pro standardní projekty).
- Rizika vztahující se k nejistotám u hornin jsou pouze jednou částí nákladových rizik. Stejně rozhodující jsou změny stavby a příkazy ke změnám od různých zúčastněných stran.
- Model financování se také musí průběžně kontrolovat, aby byly možné včasné úpravy.
- Programy kompenzace nákladů v rámci jednoho dílčího projektu mají pouze omezený dopad.
- Relevantní snižování ceny jsou možná pouze pomocí strategických rozhodnutí o stavbě.

seen (approx. 15% of the total investments) remained in the responsibility of the federal government. Only the federal government was entitled to invest this reserve if necessary.

At the end of 2011 the forecast of the potential final costs for the GBT reached the sum of CHF 9.956 billion (+ 57%) [9]. This cost increase at the GBT and in other projects (Lötschberg Base Tunnel + 32%) [9], but also the fact, that the operators will never be able to pay back their 25%-portion of the investments lead to the situation that the capital of the public fund had to be increased up to CHF 10.1 billion. The lifetime of the fund (until the payback of all debts) increased up to 30 years (Fig. 9). Other projects had to be postponed or cancelled in order to not exceed the total investment of CHF 30.5 billion.

What are the reasons for this cost development in the NRLA-project, the public project with the highest governmental control ever in Switzerland? As time is money, the cost development reflects pri-



Obr. 9 Model fondu pro stavby železniční infrastruktury a řízení úvěrů/půjček

Fig. 9 Fund model for railway infrastructure projects and management of credits/loans

- Megaprojekty by se měly dělit na dílčí projekty, aby bylo možné snižovat relevantní náklady odkládáním nebo rušením dílčích projektů (projekt nákladů).
- Švýcarský model financování prokázal svou hodnotu, ale již dosáhl svých hranic [3].
- Současná situace příjmů provozovatelů železnic v Evropě neumožňuje splácení investic na megaprojekty obsahující tunely. Část nákladů musela být přesunuta z budoucích provozovatelů na daňové poplatníky [3].

3.7 Požadavky na proces projektování a organizaci stavby

Procesy projektování a stavební procesy musí zajistit požadovanou vysokou kvalitu a bezchybné stavební procesy. Hlavní výzvou je opět dlouhé trvání stavby u megaprojektů. V počáteční fázi byly jasné modely procesů, založené na požadavcích ISO 9000, zavedeny na straně objednatele a jeho projektantů. Nabídky dodavatelů byly přijímány pouze od dodavatelů s certifikovaným systémem řízení kvality podle ISO 9000. Objednatel také měl právo provádět některé audity vlastními silami a kontrolovat zavádění systémů řízení kvality na různých staveništích.

Technické specifikace byly založené na prakticky nezměněných švýcarských normách SIA. Úřad FOT požadoval pomoci zvláštní „expertní směrnice“ kontrolu statických výpočtů projektanta nezávislými odborníky, aby byla zajištěna správná aplikace příslušných bezpečnostních norem. Tento proces byl potřebný, ale byl náročný na čas. Díky včasnému zpracování podrobných harmonogramů projekčních prací nebyla zaznamenána žádná zpoždění v dodávání výkresů.

Dodavatel měl právo na optimalizaci svých výrobních procesů. V určitých případech se dodavatelé rozhodli pozdě, což způsobovalo potřebu dalšího úsilí projektanta. Projektant tyto případy zvládal a žádný výkres nedorazil na stavbu opožděně. Důsledky byly odpovídající – vyšší náklady na projekt.

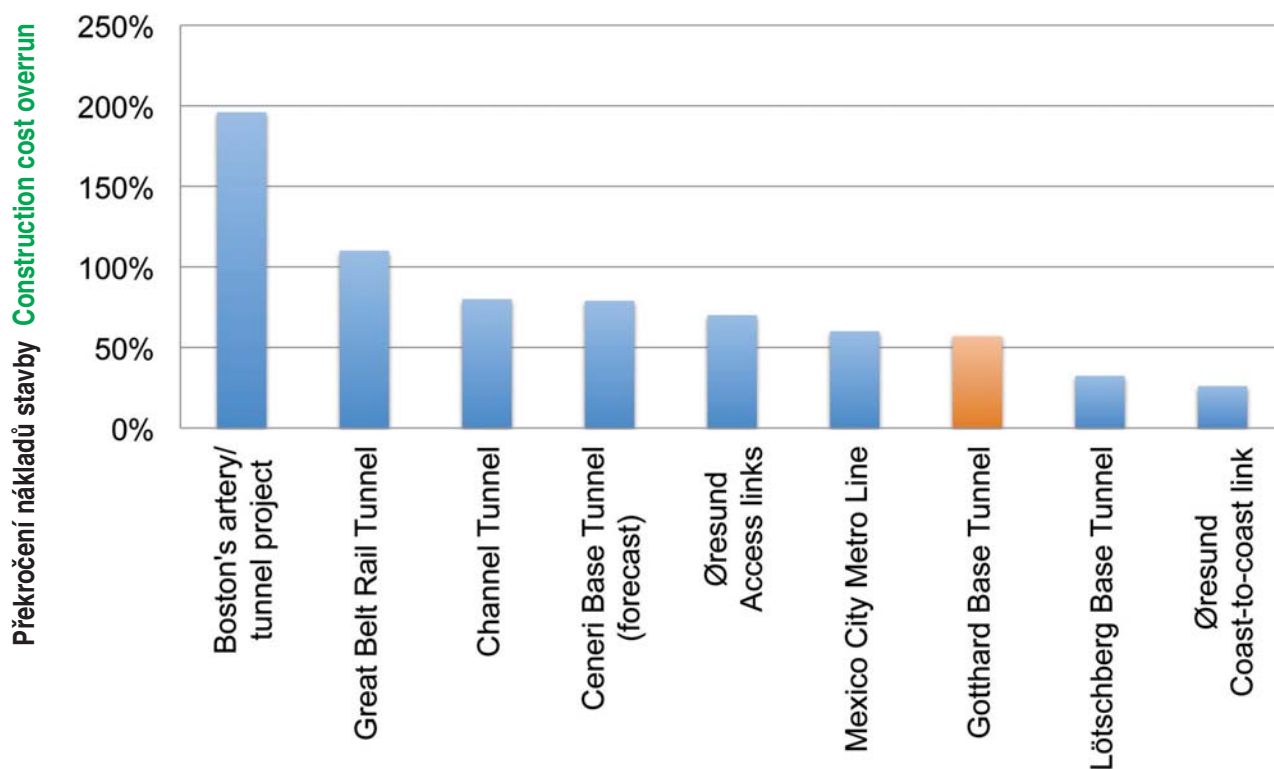
marily the big changes in the construction schedule due to the ground risks (southern side) and to political risks (northern side). These two elements explain only a part of the total cost increase. Other important elements in megaprojects with a long realisation time are design changes and change orders required from the different stakeholders. After the three dramatic tunnel fires in the Mont Blanc Road Tunnel (1999), in the Tauern Road Tunnel (1999) and in the Gotthard Road Tunnel (2001) design changes of the ventilation system were required in order to put the initially already sufficient safe standard on a higher level. Additional ventilation galleries, shafts and cross passages had to be excavated causing additional construction time and costs. The layout of the 15 km long Ceneri Base Tunnel was switched from one double track tube to two single-track tubes creating an important cost overrun (Fig. 10).

The long project duration of over 10 years itself creates also an important sum of additional costs due to small design changes. Certain changes had to be accepted for technical or political reasons, even with a strict control of all requests on design changes by the owner's management. Assuming 1% additional costs per year caused by this effect a final cost increase of 10 to 15% is the result (time is money)!

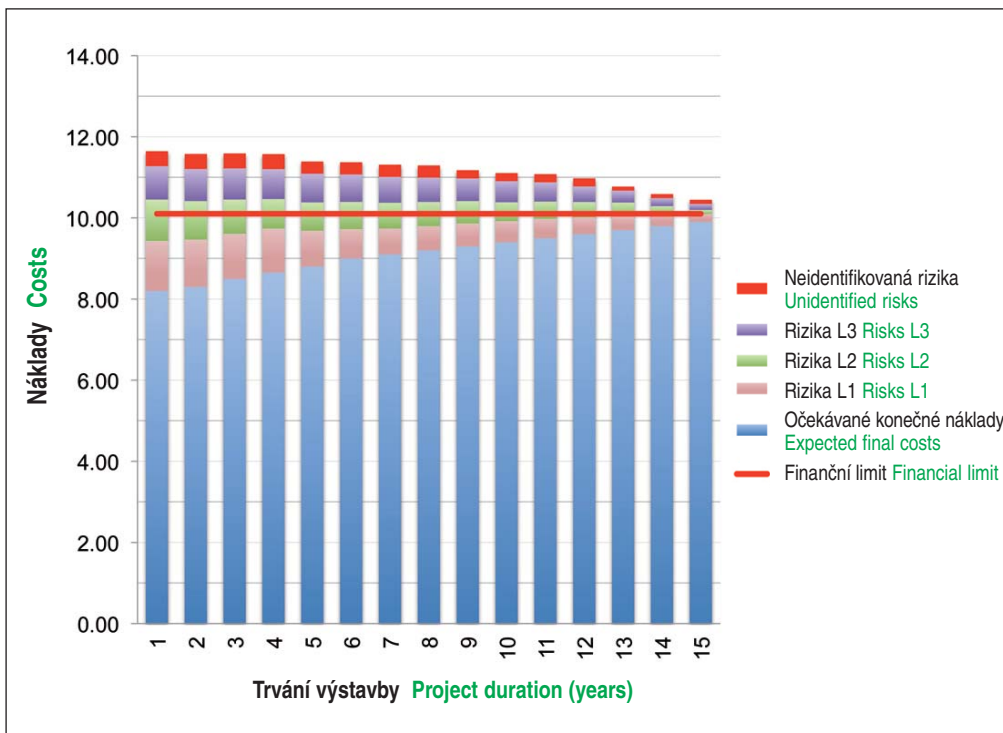
Several cost reduction studies have been carried out. All of them showed a very limited impact on the final costs at current sites. Significant cost reduction could only be achieved by strategic decisions, such as the reduction of the construction time, the postponement or cancelation of other projects.

Lessons learned:

- Costs in megaprojects have a high uncertainty due to their direct relation with the construction time.
- Cost risks for megaprojects are greater than the default values given by national standards (for standard projects).
- Risks related to the uncertainties of the ground are only one part of the cost risks. Equally decisive are project changes and



Obr. 10 Překračování nákladů u megaprojektů
Fig. 10 Cost overrun in megaprojects



Obr. 11 Sdělování nákladových rizik (fiktivní příklad)
Fig. 11 Communication of cost risks (fictitious example)

Doba realizace u megaprojektů je 10 let a více. V případě stavby GTB to je 25 let, téměř jedna generace. Je jasné, že požadavky na organizaci a řízení stavby se během této doby mění. Na začátku jsou důležité odborné schopnosti, které jsou vyžadovány od investorské organizace, schopnosti zpracování studií proveditelnosti stavby, úvodního projektu a systému řízení rizik. Ve fázi výběrových řízení a výstavby jsou hlavním úkolem projektové řízení a řízení stavby. Ke konci stavby se nejdůležitějším stávají postupy uvádění do provozu. Všechny tyto rozdílné úkoly vyžadují zvláštní schopnosti personálu celého projektu. Prakticky nikdo není schopen pokrýt všechny tyto různé aspekty. Včasné plánování personálních zdrojů na všech úrovních organizace projektu a přizpůsobení organizace času jsou nutností.

Velká rizika megaprojektů a obzvláště velkých projektů podzemních staveb vyžadují zkušený personál na všech úrovních a u každého partnera. V průběhu posledních dvou desetiletí skončilo svá studia ve Švýcarsku velmi málo stavebních inženýrů. Nedostatek zkušených inženýrů byl zřejmý. Projektanti byli často nuceni přidělovat velké odpovědnosti nezkušeným inženýrům. Z tohoto a jiných důvodů potřebuje investorská organizace svůj vlastní vysoce kvalifikovaný profesionální personál.

Ponaučení:

- Certifikáty řízení kvality podle ISO 9000 jsou základní věcí ve fázi výběrového řízení, ale nejsou dostatečné ve fázi výstavby.
- Důležité jsou audity zavádění systémů řízení kvality, specifických pro projekt, nezávislými institucemi v počáteční fázi.
- Včasné a podrobné plánování procesů projektování je nutné pro zajištění společné základny pro dodávání výkresů. V harmonogramu projekčních prací musí být uvažován čas pro kontrolní smyčky.
- Organizace zapojené do projektu se musí přizpůsobit fázi projektu, od developera projektu po projektanta, od vedoucího stavby a po konečné uvádění do provozu.
- Velká rizika megaprojektů vyžadují zkušený personál v každé fázi a u každého partnera.
- Všeobecný nedostatek zkušených inženýrů vyžaduje schopný profesionální personál na klíčových pozicích u investora.

change orders by the different stakeholders.

- The funding model has to be checked continuously in order to allow adaptations on time.
- Cost compensation programs within a single subproject have only a limited impact.
- Relevant cost reductions are only possible by strategic decisions on the project.
- Megaprojects should be subdivided in subprojects in order to allow relevant cost reductions by postponing or the cancellation of subprojects (design to cost).
- The Swiss funding model has proven its value but has reached its limits [3].
- The actual income situation of railway operators in Europe does not allow the payback of the investments

for mega-tunnel projects. Cost elements had to be shifted from the future operator to the taxpayers [3].

3.7 Requirements on the design processes and the project organisation

Design and construction processes have to guarantee the required high quality and error free construction processes. The main challenge is once more the long project duration of megaprojects. Clear process models based on the requirements of ISO 9000 were implemented at an early stage on the side of the client and his design engineers. Contractor's bids were only accepted from contractors with certified quality management systems based on ISO 9000. Additionally the client had the right to carry out some audits on its own, checking the implementation of the quality management systems on the various sites.

The technical specifications based on the practically unchanged Swiss SIA codes. The FOT required with a special "experts directive" a check of the design engineer's static calculations by independent experts in order to ensure the correct application of the relevant safety codes. This process was necessary but time consuming. Thanks to an early elaboration of detailed design schedules no delays in the delivery of the drawings had to be noticed.

The contractor had the right for the optimisation of his production processes. In certain cases the contractors took their decisions late, causing additional efforts for the design engineer. The design engineer mastered these cases and no drawing arrived to late on the site. The consequences were relevant higher design costs.

Megaprojects have a realisation time of 10 years and more; in the case of the GBT 25 years – nearly one generation. It's obvious that the requirements on the project organisation and management change during this time. At the beginning of the project feasibility studies, preliminary design and risk management are important skills required from the client's organisation. In the tender and construction phase project and contract management are the main tasks. Towards the completion of the project commissioning procedures become most important. All these different tasks require special skills from the project staff. Practically nobody is able to cover all the different aspects. Forward-looking planning of the personal resources at all levels of the project organisation and on time adaptations of the organisation are a must.

The high risks of megaprojects and especially of large underground projects require experienced staff on each level and by each



Obr. 12 Konvenční ražba tunelu Sedrun sever (vlevo), instalace závěsu plnoprofilového tunelovacího stroje (vpravo)

Fig. 12 Conventional drive Sedrun North (left), TBM backup installation in Faïdo (right)

- Standardní inženýrské smlouvy nereflktují zvláštní požadavky megaprojektu (obzvláště ne vlivy dlouhého trvání). Jsou potřebné úpravy specifické pro daný projekt, aby byla zaručena požadovaná úroveň kvality po dobu trvání celého projektu.

3.8 Požadavky na stavbu a řízení smluv na stavbu

Podzemní stavba se liší od všech jiných typů staveb z toho důvodu, že stavební materiál, hornina, často není dobře známý nebo se může v krátkém úseku měnit. Kromě toho je chování horninového masivu také často výsledkem vzájemného působení s použitými stavebními metodami. Důležitá zbytková rizika jsou pro velké podzemní stavby charakteristická. Modely smluv musí k této speciální situaci podzemních staveb přihlížet a měly by umožnit rychlou reakci na změněné nebo nepředvídané horninové poměry.

Spravedlivé sdílení rizik a partnerství jsou užitečnými nástroji k usnadnění rychlých rozhodnutí na stavbě. Spravedlivé sdílení rizik mezi objednatelem a zhotovitelem pomáhá při vyhýbání se ne nezbytným zvyšováním v nabídkách uchazečů, a proto při snižování celkových nákladů na projekt.

Švýcarská norma SIA 118/198 (bývalá norma 198) poskytuje standardní řešení a řídí se široce přijímaným principem sdílení rizik prací na podzemních stavbách, znamenajícím:

1. Horninový masiv patří objednateli. Změněné horninové podmínky, mimo hranice vymezené smlouvou, jsou proto rizikem objednatele.
2. Prostředky a metody použité pro zvládnutí horninových poměrů v rozsahu smluvních hranic patří do sféry rizik zhotovitele.

Tento princip funguje, pokud objednatel poskytne úplný a přesný popis horninových poměrů a očekávaného chování podle jeho projektu. Všechna relevantní data z geologického průzkumu a všechny ostatní relevantní hraniční podmínky musí být přístupné pro zhotovitele.

Volba prostředků a metod, zvláště metod ražby, je jedním z velkých rizikových faktorů u podzemních megaprojektů. Zvolené metody by měly být schopné překonat řadu očekávaných horninových podmínek. Spolu s katalogem doplňujících stabilizačních opatření by zvolené metody ražby měly být také schopné zvládat obtížné a neočekávané změněné horninové poměry. Pokud objednatel má přesvědčivé důvody, měl by zvolit metodu ražby ještě před vyhlášením soutěže. Takovými důvody mohou být rizika vztahující se k horninovým poměrům, ale i environmentální nebo logistické důvody. Jestliže horninové poměry dovolí použití různých metod, a hlavně pokud se ekonomické požadavky stanou rozhodujícími, dodavatelé by měli mít právo zvolit si vlastní oblíbenou metodu. Nicméně objednatel vždy musí definovat spravedlivé podmínky pro soutěž (nabízení dvou metod nebo povolení

partner. During the last two decades too few civil engineers finished their studies in Switzerland. A lack of experienced engineers had to be recognised. The design engineers were often forced to give high responsibilities to inexperienced engineers. For this and other reasons the client's organisation needs his own highly qualified professional staff.

Lessons learned:

- Quality management certificates according to ISO 9001 are essential in the tender phase but not sufficient during the construction phase.
- Audits of the implementation of the project specific quality management systems by independent institutions at an early stage are important.
- An early and detailed planning of the design processes is a must in order to have a common base for the delivery of the drawings. Realistic time budgets for checking loops must be regarded in the design schedule.
- Project organisations have to be adapted phase dependent, from the project developer to the designer, to the construction manager and finally for the commissioning.
- The high risks of megaprojects require experienced staff in each phase at each partner.
- The general lack of experienced engineers requires competent professional staff in the client's key functions.
- Standard engineering contracts don't reflect the special requirements of a megaproject (especially not the effects of a long duration). Project specific adaptations are necessary, in order to guarantee the required quality level during the whole project duration.

3.8 Requirements on the construction and the management of the construction contracts

Underground construction is different from any other type of construction, due to the fact, that the construction material, the ground, is often not well known or may change within a short distance. Additionally the behaviour of the ground is also a result of the interaction with the construction methods applied. Important residual risks are characteristic for large underground projects. Contract models have to take into account this special situation of underground construction and should allow a fast reaction on changed or unforeseen ground conditions.

Fair risk sharing and partnering are helpful tools to facilitate fast decisions on site. Fair risk sharing between the client and the contractor helps to avoid unnecessary risk surcharges in the contractor's bid and therefore to reduce the total project costs.

uchazečům nabízet alternativy v případech, kde objednavatel uvádí v soutěžních podmínkách pouze jednu metodu).

Společnost ATG se rozhodla povolit pouze řešení vycházející ze známých technologií. Na nejdelším tunelu na světě by se neměly provádět žádné experimenty. V souladu s těmito principy společnost ATG dala ve většině případů do soutěžních podmínek nejméně dvě proveditelné metody (např. konvenční ražbu a ražbu plno-profilovými TBM, nebo dvě technicky rozdílná řešení pomocí TBM), aby tak získala přímo porovnatelné nabídky. Výběr metody ražby pro stavbu GTB se těmito principy úspěšně řídil. Na každém z pěti stavebních oddílů se zvolila optimální metoda, a to i ve stavebních oddílech s neočekávanými horninovými poměry.

Klíčovým faktorem úspěchu je partnerství. Partnerství znamená definování společných cílů, společné monitorování referenčních výkonů a společné řešení problémů v případě odchylek. Partnerství vyžaduje kulturu důvěry a otevřených diskusí na každé úrovni. Velké odchylky od cílových nákladů a cílů na stavbě GBT způsobovaly vážné smluvní dohady. Řešení se dala nalézt až po tvrdých a časově náročných jednáních, která zanechávala oba partnery na stejné úrovni „nešťastnosti“. Podrobné smlouvy o jednotkových cenách, transparentní modely pro kalkulace jednotkových cen a časově závislých nákladů, jasné definování sdílení rizik a kultury partnerství, tento výsledek umožnily.

Ne všechny rozpře se daly vyřešit přímo mezi smluvními partnery. Pro tyto případy se smluvní dohodou na každém hlavním stavebním oddílu ustavily rady pro řešení sporů, řídící se Švýcarským doporučením pro řešení sporů (VSS 641'510). Do konce roku 2011 členové rady pro řešení sporů (RŘS) řešili 12 případů od 0,5 mil. CHF do 84 mil. CHF. V té době neexistoval žádný nevyřešený soudní případ. RŘS jedná jako rozhodčí komise pouze do omezených částek, které jsou předmětem sporu. Ve všech ostatních sporech dává RŘS doporučení, které může být smluvními partnery přijato, nebo odmítnuto. V případě odmítnutí doporučení RŘS jedním nebo oběma smluvními partnery jsou otevřeny dveře pro soudní jednání. Největší efekt RŘS byl vlastními silami vyvinutý psychologický tlak na organizaci na staveništi, aby partneři hledali vlastní řešení.

Přes pozitivní zkušenosti s řízením smluv na stavbě GBT je i ve Švýcarsku možné pozorovat trend k rychlému přesunování rozdílu na právníky a na rozhodování soudem. Zkušenosti ukazují, že soudní rozhodnutí nejsou ani rychlejší, ani lacinější, ani lepší pro pověst stavby a velmi často nejsou ani lepší než kompromisy přijaté partnery přímo nebo na základě doporučení RŘS. Nastal čas přemýšlet o skutečném trendu a změnit kulturu zpět na partnerství, kde vedení stavby s pomocí technických specialistů a právníků nachází dobré kompromisy.

Ponaučení:

- Smlouvy o jednotkových cenách, včetně regulace časově závislých nákladů, poskytují tu největší flexibilitu v případě změn podmínek.
- Časově závislé náklady často způsobovaly ty největší diskuse.
- Spravedlivé smlouvy vyžadují spravedlivé sdílení rizik; standardní řešení podle švýcarských norem prokázala svou hodnotu.
- Rada pro řešení sporů (RŘS) je užitečnou institucí, která pomáhá vyhýbání se soudním případům.
- Doporučení RŘS nezaručují konečné řešení sporu, jelikož smluvní partneři mají volnost při rozhodování zda doporučení přijmou, nebo ne.
- Partnerství je u megaprojektu klíčovým faktorem úspěchu.

The Swiss Code SIA 118/198 (former SIA 198) gives a standard solution and follows the widely accepted principle of risk sharing for underground construction work, meaning:

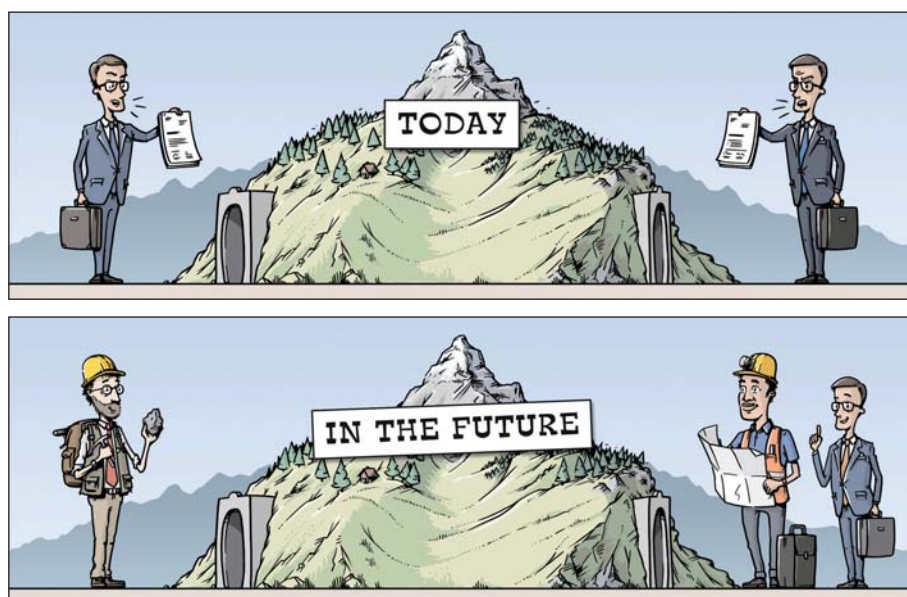
1. The ground belongs to the client. Changed ground conditions outside the contractual limits are therefore client's risk.
2. Means and methods applied for ground conditions within the contractual limits belong to the contractor's risk sphere.

This principle works only if the client gives a complete and accurate description of the ground conditions and the expected behaviour according to his project. All relevant data from the ground investigation and all other relevant boundary conditions must be accessible to the contractors.

The selection of means and methods, especially the selection of the excavation method is one of the big risk factors for an underground megaproject. The selected methods should be able to overcome the whole range of the expected ground conditions. Together with a catalogue of auxiliary construction methods the selected excavation methods should also be able difficult to master unexpected changed ground conditions. If the owner has compelling reasons he should select the excavation method before tendering. Such reasons can be risks related to the ground conditions, but also environmental or logistic requirements. If the ground conditions allow different methods and mainly the economic requirements become decisive, the contractors should be entitled to select his favourite method. Nevertheless the client has anyway to define fair conditions for the competition (tendering two methods or allowing contractors alternatives in cases where the client tenders only one method).

ATG took the decision to allow only solutions basing on known technologies. No experiments should be made on the longest tunnel of the world. Following these principles ATG tendered in most of the cases at least two feasible methods (e.g. conventional tunnelling and TBM, or two technically different TBM solutions) in order to receive directly comparable bids. The selection of the excavation method for the GBT followed these principles successfully. In each of the five different construction lots the optimum method was chosen, also in the construction lots with unexpected worse ground conditions.

Partnering is a key factor for success. Partnering means the definition of mutual objectives, the joint monitoring of the performance benchmarks and the common problem resolution in the case of divergences. Partnering needs a culture of confidence and open discussions on each level. Big deviations from the cost and time



Obr. 13 Právní spory
Fig. 13 Legal disputes

3.9 Požadavky dané veřejným míněním

Megaprojekty přitahují pozornost veřejnosti již ze své definice. Negativní veřejné mínění může vytvořit velké riziko pro úspěšné dokončení stavby. Již jen z důvodu velikosti stavby mohou megaprojekty vytvářet obavy a negativní pocity. Otevřená komunikace, respekt vůči odlišným názorům a konstruktivní dialogy se zúčastněnými stranami, začínající již v nejčasnějších fázích stavby, jsou nezbytnou podmínkou pro úspěšný vývoj stavby.

Švýcarsko, jako malá země, zná politický systém se širokými právy lidí na účast při rozhodování. Byli to švýcarští voliči, kdo měl konečné právo rozhodnout o stavbě samé a modelu jejího financování. Výsledkem byla většina hlasů mezi 57 % (nové daně) a 63,5 % (stavba a financující fond). Tyto výsledky byly možné pouze proto, že stavba obsahovala nezbytné kompromisy. Aspekty životního prostředí měly velkou prioritu a bylo přihlíženo k zájmům různých stran všude tam, kde to bylo možné. Jednání o kompromisech potřebovala svůj čas a způsobovala některá zdržení v harmonogramu stavby. Alternativa právních procesů a soudních rozhodnutí by ale nebyla rychlejší, pouze by vytvářela velká rizika pro pověst stavby.

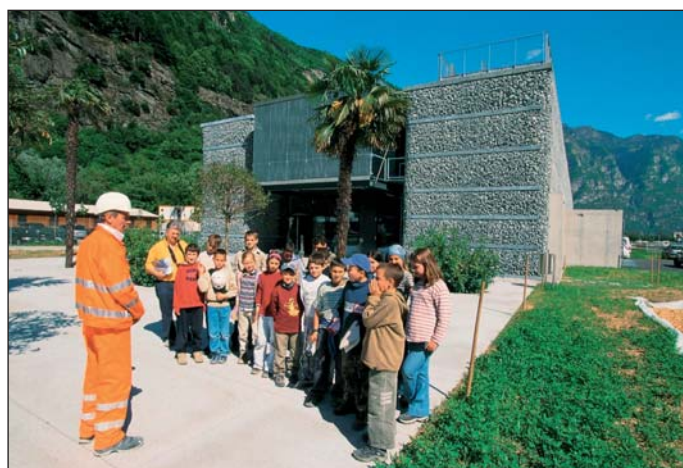
Ponaučení:

- Tři národní hlasování o stavbě a modelu jejího financování, s většinami hlasů téměř až 2 : 1, dala stavbě velkou podporu obecně i v obtížných situacích.
- Řešení dojednaná s oponenty stavby vyžadují čas a mohou způsobovat zpoždění.
- Dohodnuté kompromisy jsou dlouhodobě lepší než soudní rozhodnutí.
- Se zájmy zúčastněných stran se musí nakládat seriózně. Pomáhá plánování u kulatého stolu a otevřené diskuse.
- Veřejně financované stavby by měly být otevřené veřejnosti. Návštěvnická centra a několik dnů otevřených dveří na staveništích pro veřejnost vytvářejí pozitivní podporu veřejnosti stavbě.

4 ZÁVĚR/DOPORUČENÍ

U megaprojektů existuje portfolio důležitých rizik bezprostředně hrozících čistě z důvodů jejich velikosti. Profesionální řízení rizik přihlížející ke všem různým typům rizik, ale i neidentifikovaných rizik, je nutností od samého počátku stavebního projektu. Jestliže se nezavede řízení rizik včas, budou rizika ignorována s tím, že to bude mít závažné důsledky. Hlavní ponaučení získaná na projektu GTB jsou:

- Včasné profesionální řízení rizik poskytuje adekvátní informace o rizicích a je „pojistkou“ pro vedení projektu.



Obr. 14 Megaprojekty potřebují podporu veřejnosti – návštěvnické centrum Pollegio (ATG)

Fig. 14 Megaprojects need public support – visitor centre Pollegio (ATG)

targets at the GBT caused important contractual disputes. Solutions could be found after tough and time-consuming negotiations leaving both partners on an equal level of “unhappiness”. The detailed unit price contracts, transparent models for the calculation of the unit prices and of the time dependent costs, a clear definition of the risk sharing and a culture of partnering made this result possible.

Not all disputes could be solved directly between the contractual partners. For those cases, dispute resolution boards were implemented by contractual agreement in each main construction lot following the Swiss Recommendation on Dispute Resolution (VSS 641'510). Until the end of 2011 the members of the dispute resolution board (DRB) treated 12 cases from CHF 0.5 Mio up to CHF 84 Mio. No court case was pending at that moment. The DRB acts only up to limited amounts in dispute as an arbitration panel. In all other disputes the DRB gives a recommendation, which can be accepted or rejected by the contractual partners. In the case of rejection of the DRB's recommendation by one or both contractual partners the doors are open for a court case. The biggest effect of the DRB was the self-made psychological pressure on the site organisation to find an own solution.

Despite the positive experiences with the contract management of the GBT, also in Switzerland a trend to shift differences quickly to the lawyers and to court decision can be observed. Experiences show, that court decisions are not faster, not cheaper, not better for the project reputation and are substantially often not better than the compromises taken by the contractual partners directly or based on a DRB recommendation. It's time to think about the actual trend and to change the culture back to partnership where the site management with the help of technical specialists and lawyers find fast and good compromises.

Lessons learned:

- Unit price contracts including regulations of the time dependent costs give the highest flexibility in the case of changed conditions.
- Time dependent costs caused often the biggest discussions.
- Fair contracts require a fair risk sharing; the standard solutions of the Swiss Codes have proved of value.
- A dispute resolution board (DRB) is a useful institution helping to avoid court cases.
- DRB recommendations do not guarantee the final dispute resolution, as the contractual partners are free to agree on the recommendations or not.
- Partnering is a key factor for success in a megaproject.

3.9 Requirements of the public opinion

Megaprojects attract public attention per definition. A negative public opinion can create a high risk for the successful project completion. Due to the sheer size of the project, megaprojects may create fears and negative feelings. Open communication, respect for conflicting opinions and constructive dialogs with all stakeholders starting at the earliest project phases are preconditions for a successful project development.

Switzerland as a small country knows a political system with wide participation rights for the people. The Swiss voters had finally to decide on the project itself and its financing model. Majorities between 57.2% (new taxes) and 63.5% (project and financing fund) approval were the result. These results were only possible because the project contained the necessary compromises. Environmental aspects had a high priority and the interests of the different parties were considered as far as possible. Negotiation of compromises needed its time and caused some delays in the construction schedule. The alternative of legal processes and court decisions would not have been faster, but would have created a high reputation risk for the project.



Obr. 15 Vysoce motivovaný profesionální personál – klíčový faktor pro úspěch
Fig. 15 Highly motivated professional staff – the key factor for success

- Velké počty rizik se dají řídit včas a s úsilím, které je možné si dovolit.
- U megaprojektů je úměrně vyšší riziko než u „normálních“ staveb. Tato skutečnost by měla být brána v úvahu.
- „Cíl Nula“ musí být přijímán jako cíl pro bezpečnost a ochranu zdraví (Crossrail).
- Znovupoužití rubaniny je technicky možné a je nutností z hlediska ochrany přírodních zdrojů.
- Moderní metody ražby a logistika prokázaly své kvality i v těch nejtěžších podmínkách.
- Smlouvy o jednotkových cenách se spravedlivým sdílením rizik, partnerství a zavedení rady pro řešení sporů mohou pomoci při vyhýbání se časově náročným soudním případům.
- Realizace megaprojektu se stává obtížnou, pokud není možná bez pozitivního veřejného mínění.
- Nejdůležitějším klíčovým faktorem pro úspěch je stále vysoce kvalifikovaný a motivovaný personál na všech úrovních organizace projektu.

HEINZ EHRBAR,

heinz.ehrbar@heinzehrbarnpartners.com,
Heinz Ehrbar Partners LLC¹⁾

¹⁾ od roku 2001 do března 2012: AlpTransit Gotthard Ltd., Luzern, hlavní vedoucí stavby bazového tunelu Gotthard (2006 – 03/2012)

Lessons learned:

- 3 national votes on the project and its financing model with majorities up to nearly 2 : 1 gave a strong support to the project, also in difficult situations.
- Negotiated solutions with opponents of a project need time and can cause delays.
- Negotiated compromises are better on the long term than court decisions.
- Stakeholder concerns have to be treated seriously. Round table planning and open discussions are helpful.
- Public financed projects should be open to the public. Visitor centres and some open days of the sites to the public create a positive public support to the project.

4 CONCLUSIONS / RECOMMENDATIONS

Megaprojects have an immanent important risk portfolio due to their sheer size. A professional risk management taking into account all different types of risks, also the unidentified risks, is a must from the earliest beginning of a project. If risk management is not implemented on time risks will be ignored taking severe consequences into account. The main lessons learned from the GBT are:

- Professional risk management provides the adequate information on the risks on time and is the “insurance policy” for the project management.
- Big numbers of risks can be managed on time with an affordable effort.
- Megaprojects have proportionally significant higher risks than “normal” projects.
- This fact should be communicated.
- “Target Zero” must be the future state of mind on health and safety (Crossrail).
- The reuse of the muck is technically feasible and a must in order to save natural resources.
- The modern tunnelling technique and logistics has proved of value even in the most difficult conditions.
- Unit price contracts with fair risk sharing, partnering and the implementation of a dispute resolution board help to avoid time-consuming court cases.
- The realisation of a megaproject becomes difficult if not impossible without a positive public opinion.
- The most important key factor for success is a still a highly qualified and motivated staff on all levels of the project organisation.

HEINZ EHRBAR, heinz.ehrbar@heinzehrbarnpartners.com,
Heinz Ehrbar Partners LLC¹⁾

¹⁾ from 2001 until March 2012: AlpTransit Gotthard Ltd., Lucerne, Chief Construction Manager of the Gotthard Base Tunnel (2006 – 03/2012)

LITERATURA / REFERENCES

- [1] Flybjerg, B., Bruzelius, N., Rothengatter, W. *Megaprojects and Risk – An Anatomy of Ambition*. Cambridge University Press, 2003
- [2] Ehrbar, H., Kellenberger, J. *Risk Management During Construction of the Gotthard Base Tunnel*. Karlsruhe 2003
- [3] Zurbrugg, F. *Can we afford a fiscally bottomless pit?* NRLA-Conference, Federation Infra Switzerland, Lucerne 2010
- [4] Ehrbar, H., Beeler, P., Neuenschwander, M., Bianchi, M. *Tough decisions for mega-projects, A methodology for decision making on time-relevant measures at the Gotthard Base Tunnel*. World Tunnel Congress, Vancouver 2010
- [5] Status Report 2010 of the NRLA-Delegation of the Swiss Parliament (“NAD_Standbericht”), Berne 2011
- [6] Lieb, R., Ehrbar, H. *Gotthard Base Tunnel, Risk Management for the World's longest Railway Tunnel – Lessons Learnt*. World Tunnel Congress, Helsinki 2011
- [7] Ehrbar, H. *New railway link through the Alps (NRLA) – The Swiss approach for financing and contracting large tunnel railway infrastructure projects*. Athens 2012
- [8] Ehrbar, H., Sala, A., Wick, R. *Drives in the Gotthard Base Tunnel – a Review*. Proceedings Swiss Tunnel Congress. Lucerne 2012
- [9] Status Report 2011 of the NRLA-Delegation of the Swiss Parliament (“NAD-Standbericht”). Berne 2012