

Průzkum rizika havárií podzemních staveb

Autor: Jan Pruška, ČVUT v Praze

*Příspěvek byl zpracován za podpory programu Centra kompetence
Technologické agentury České republiky (TAČR) v rámci projektu
Centrum pro efektivní a udržitelnou dopravní infrastrukturu (CESTI),
číslo projektu TE01020168*

Definování a ohodnocení rizika

Riziko je pravděpodobnost vzniku nežádoucího jevu během přípravy, realizace a provozování podzemních staveb

Ocenění:

$$H = p_f * C_f$$

C_f - průměrná očekávaná hmotná škoda, ke které by došlo při vzniku poruchy.

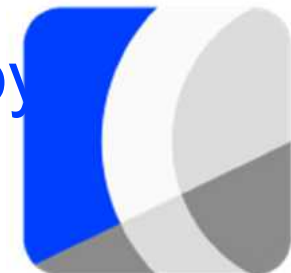
p_f - pravděpodobnost poruchy (havárie) – váha rizika, bodové ohodnocení rizika



Stavebně-technologická a projekční rizika

Hlavní druhy (faktory zapříčiňující havárie):

- složité geologické a hydrogeologické poměry
- nedokonale provedený inženýrsko-geologický průzkum
- nevhodné vedení razicích a vyztužovacích prací
- chybný návrh
- konstrukční nedostatky
- špatná organizace výstavby
- nedostatečná zkušenost účastníků výstavby



Vnější projevy havárií – 5 hlavních kategorií

- havárie, při kterých vznikl povrchový kráter
- havárie, které proběhly pouze v podzemí
(závaly, porušení čelby, stropu)
- průvaly podzemní vody
- havárie portálu
- skalní zřícení



Vnější projev havárie – vznik povrchového kráteru Tunel Blanka - 2008



Vnější projev havárie – porušení primárního ostění Tunel Jablunkov - 2009



Vnější projev havárie – průval podzemní vody Tunel Siglufjörður - Island, 2006



Vnější projev havárie – havárie portálů a skalní zřícení, Tunel Hřebeč - 1995



Nejvýznamnější havárie podzemních staveb v ČR za posledních 15 let

- Havárie silničního tunelu Hřebeč, 1995
- Havárie jámy Do-IV Dolu Doubrava v Orlové, 1998
- Zatopení pražského metra, 2002
- Havárie železničního tunelu Březno, Březno u Chomutova, 2003
- Havárie kolektoru Vodičkova, Praha 2005
- Havárie vodovodního přivaděče Švařeč- Běleč I, Brno, 2005
- Havárie železničního tunelu v Jablunkově, Mosty u Jablunkova duben 2008 a listopad 2009
- Havárie silničního tunelu Blanka v Praze, květen a říjen 2008, květen 2010
- Propad na ulici Evropská při výstavbě prodloužení metra linky A, červenec 2012



Provedené kroky průzkumu

1. Zavedení jednotné metodiky pro expertní posouzení úrovně celkových rizik konkrétního tunelového projektu.
2. Obecná analýza havárií a nebezpečných událostí při výstavbě tunelů (přes 66 případů z celého světa).
3. Podrobná analýza vybraných tunelů v ČR a ve světě.
4. Popis rizik hloubených a ražených tunelů z hlediska projektantů.



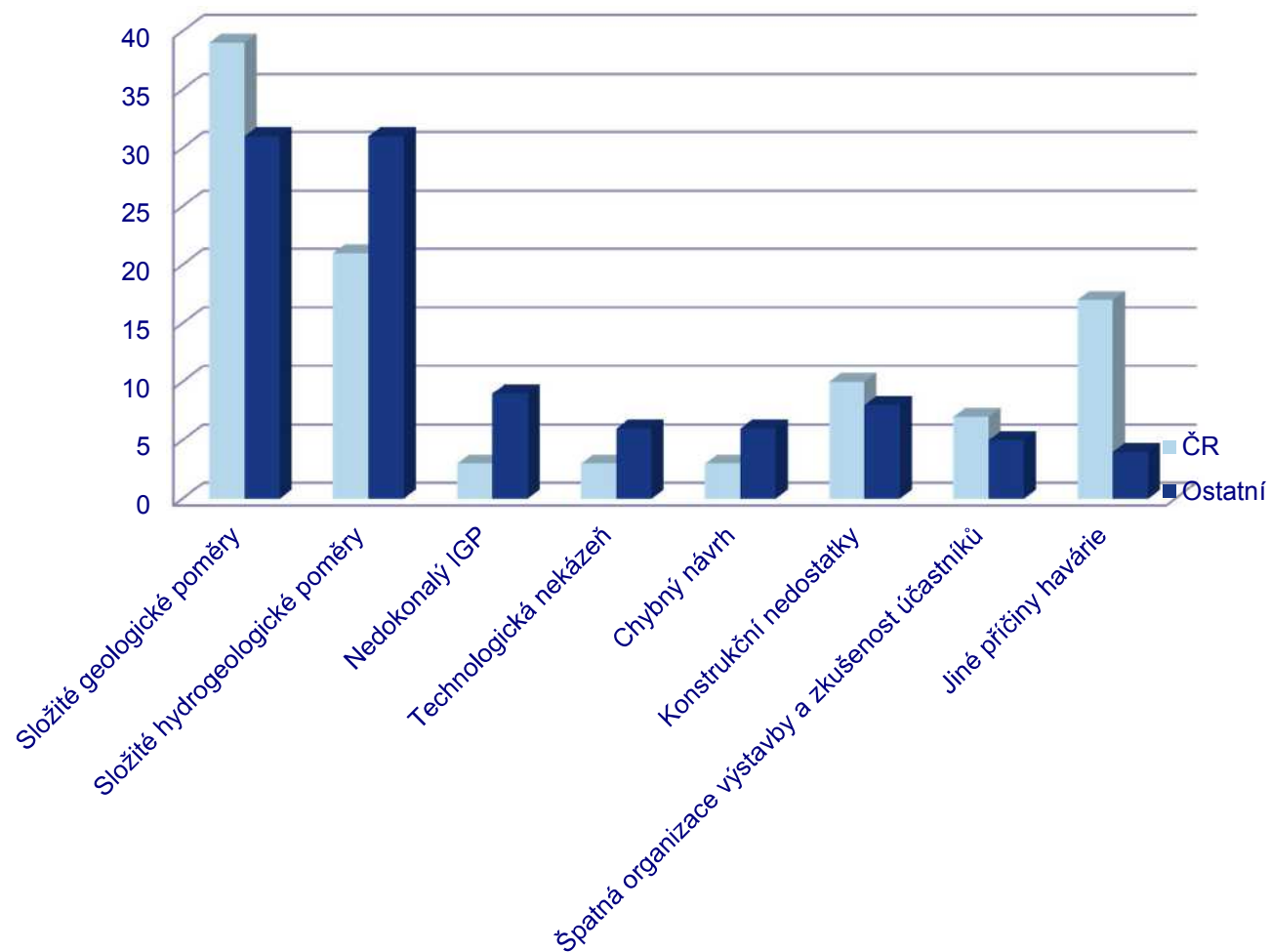
1. Jednotná metodika pro expertní posouzení úrovně celkových rizik projektu tunelu

Základem je posuzování rizik jednotlivých přispívajících faktorů a jejich závažnosti

- geologické prostředí a jeho znalost
- systém přípravy (investor, délka přípravy, kontrola přípravy, náklady přípravy,.....)
- stavební řešení (typ tunelu, tvar, zvolená technologie a její reference)
- zúčastněné subjekty a jejich reference (zhotovitel, investor, projektant, zhotovitel monitoringu, experti,.....)
- prostředí projektu a jeho citlivost (intravilán / extravilán, kulturní a přírodní hodnoty, topografie, dopravní obslužnost,.....)



2. Obecná analýza – procentuální zastoupení rizik



3. Podrobná analýza – předběžné zhodnocení

- V porovnání se sousedním Rakouskem vychází podstatně větší četnost havárií – vztaženo na km ražby podzemního díla.
- Je nutné dodělat podrobnou analýzu s Velkou Británií, Švýcarskem a Německem. Srovnání s jinými zeměmi (či oblastmi) by dalo pravděpodobně jiné výsledky.
- Na základě obecné analýzy je pravděpodobná možná příčina v četnosti havárií dána jednak složitými geologickými poměry v ČR a jednak větším množstvím realizovaných dopravních tunelů v Alpských zemích (a s tím spojené větší zkušenosti).



3. Ukázka z podrobné analýzy havárie tunelu Jablunkov

Kroky analýzy:

- Zkoumání historických podkladů
- Zhodnocení IG podkladů
- Analýza projektu rekonstrukce
- Zhodnocení použitých technologií a provádění rekonstrukce
- Analýza prováděného monitoringu
- Zjištění „skutečných“ geologických podmínek
- Numerické modelování události
- Vyhodnocení analýzy



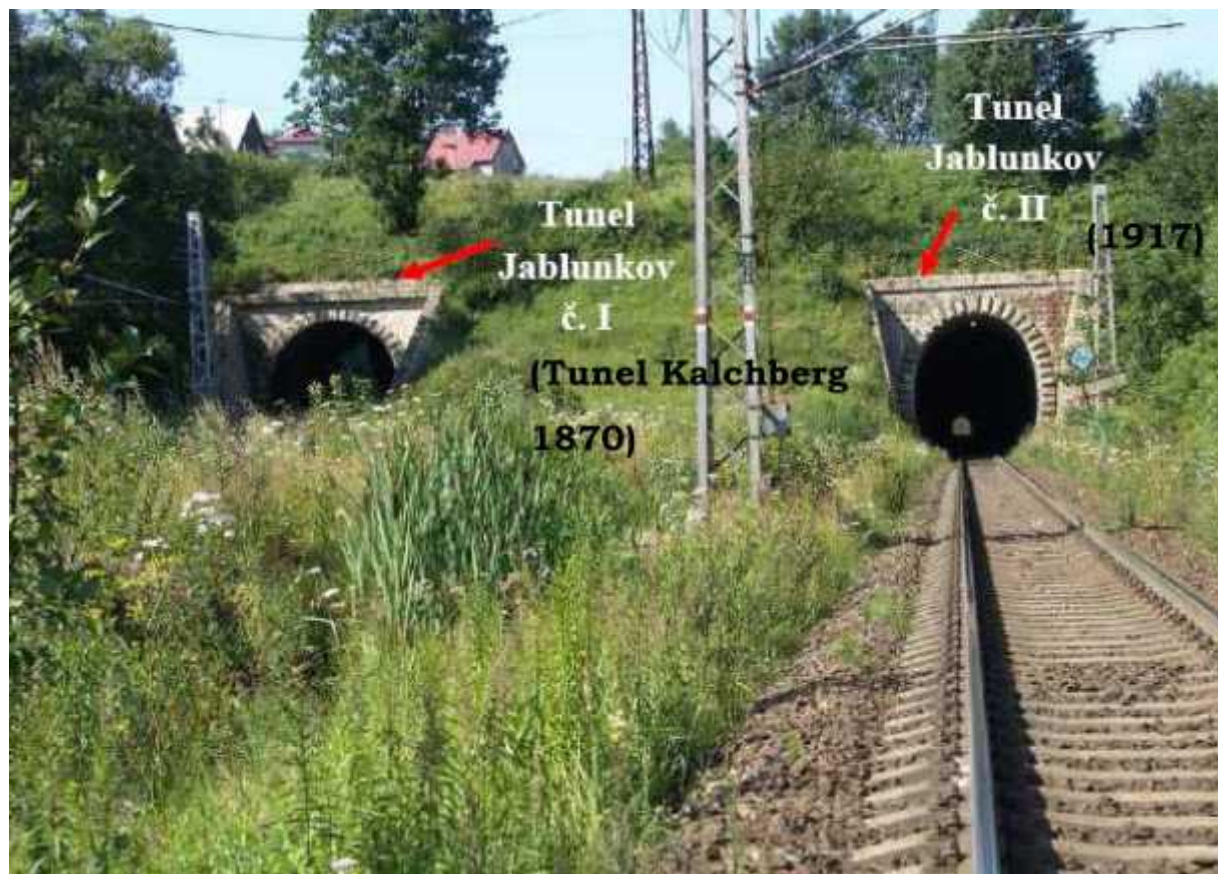
3. Ukázka z podrobné analýzy havárie tunelu Jablunkov

- Rekonstrukce jednokolejného tunelu z roku 1917
- Tunel vyražen anglickou modifikovanou metodou
- Kamenné ostění (místní kámen)
- Délka tunelu 576 m
- Rozšíření na dvoukolejný tunel ražbou NRTM, plocha výrubu 91 m²



3. Ukázka z podrobné analýzy havárie tunelu Jablunkov

Návrh rekonstrukce



3. Ukázka z podrobné analýzy havárie tunelu Jablunkov

Havárie

- květen 2008 nestabilita na čelbě upraven postup ražby
- duben 2009 nestabilita na čelbě



listopad 2009 mimořádná událost, zavalení 96 m díla



3. Ukázka z podrobné analýzy havárie tunelu Jablunkov

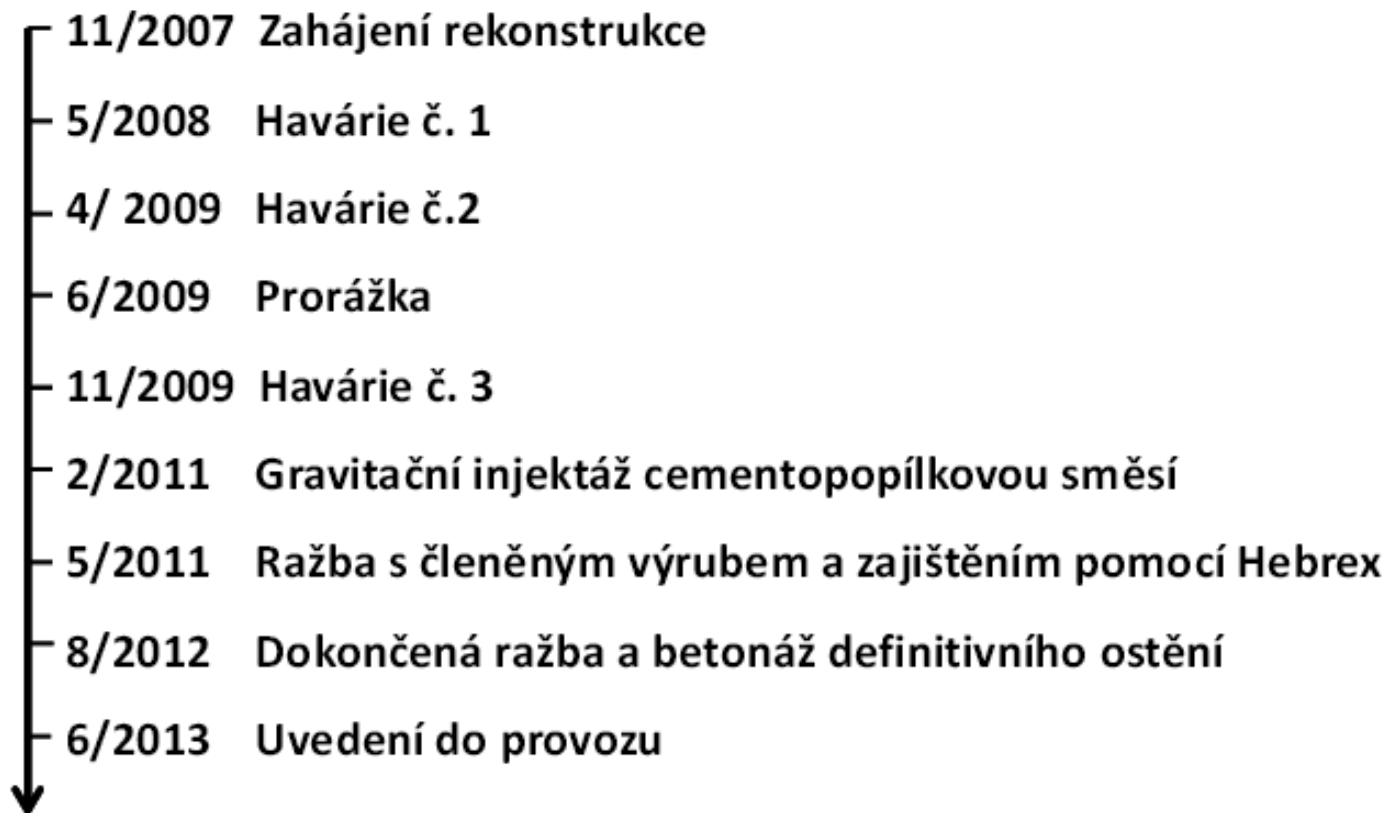
Vybraná historická fakta

- 1939 byla v obou tunelech odpálena nálož s následným Prolomením nadloží (až 24 m) a propad silnice nad tunelem
- 1940 zasypán kráter a opraveno ostění
- 1971 přestavba železničního svršku – zabetonované pražce
- 1987 nový svršek – štěrkové lože a dřevěné pražce
- v historii díla několik rekonstrukcí, poslední 1999 – přestavba některých pasů



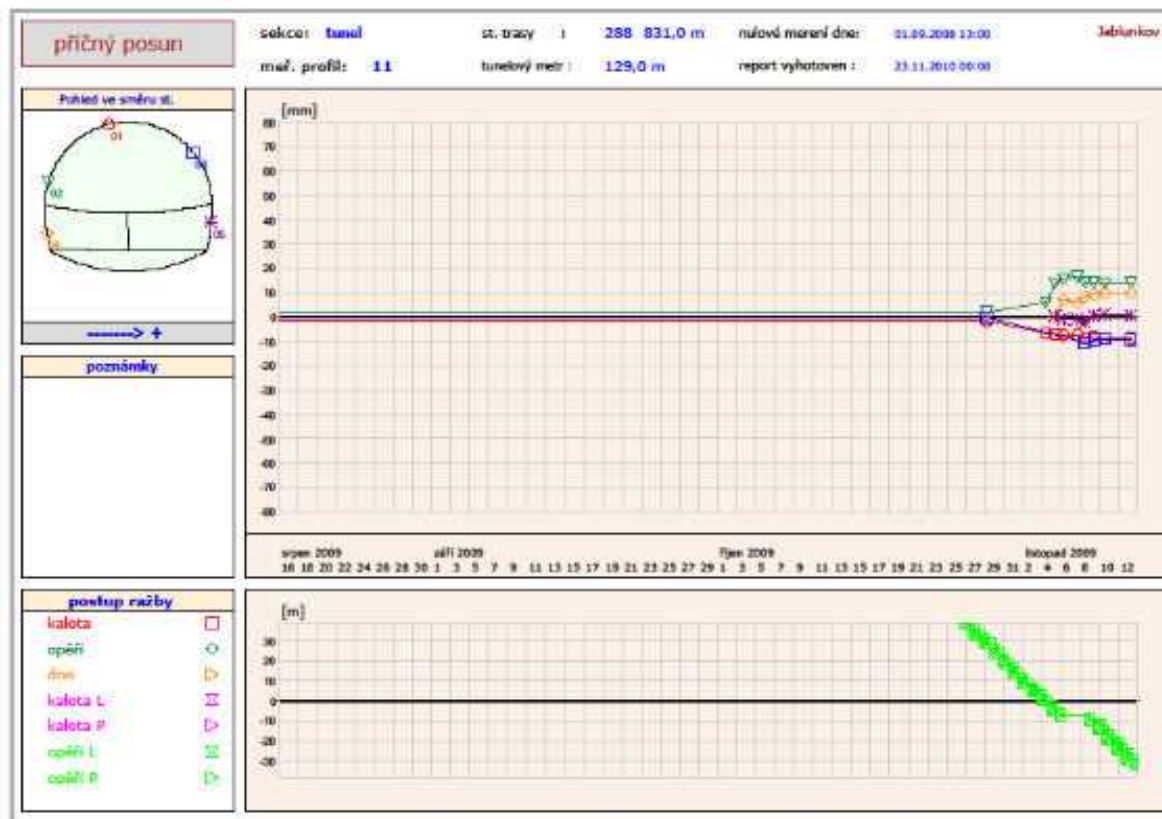
3. Ukázka z podrobné analýzy havárie tunelu Jablunkov

Časový postup rekonstrukce



3. Ukázka z podrobné analýzy havárie tunelu Jablunkov

Ukázka monitoringu



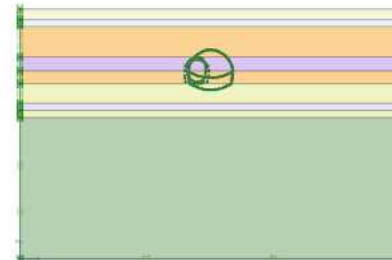
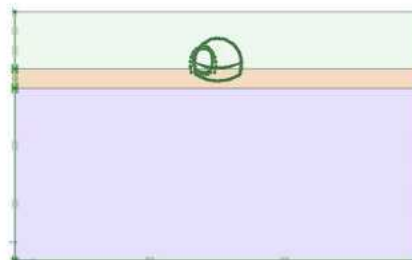
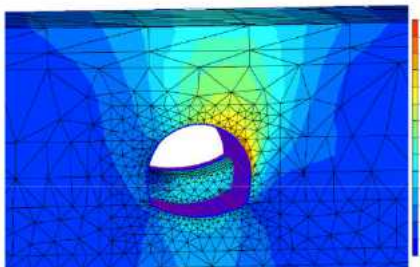
Created by Baret s.r.o. 2003 D5 Pte s.r.o. 2003 D5 Ovesticbka s.r.o.



3. Ukázka z podrobné analýzy havárie tunelu Jablunkov

Numerické modelování

- 2D MKP Plaxis 8.2
- 3D MKP Plaxis 3D tunnel
- Sestaveny 2 numerické modely zohledňující různé IG průzkumy
- Simulace postupů ražby, vyhodnocení vnitřních sil, mechanismu porušení



3. Ukázka z podrobné analýzy havárie tunelu Jablunkov

Závěr analýzy havárie

- Degradace zemin vlivem dlouhodobého působení vody, což vedlo k významnému snížení pevnostních a přetvárných charakteristik
- Říjen 2009 srážkově nadprůměrný (nárůst srážek o 200%)
- Iniciací havárie bylo s největší pravděpodobností zvýšení pórových napětí v měkkých jílovcích a ztráta jejich pevnosti



4. Popis rizik hloubených a ražených tunelů z hlediska projektantů.

Rizika spojená s výstavbou hloubených tunelů

číslo	Příčina rizika	Pro danou lokalitu není aktuální	Omezená pravděpodobnost výskytu	Vysoká pravděpodobnost výskytu	Návaznost na jiný jev
1	Nedostatečně podrobný IG průzkum				
2	Chybná interpretace parametrů zemin IG průzkumem – zeminy rozbředavé, bobtnavé				
3	Nepřesná interpretace geotechnického profilu, nevhodný, málo výstižný výpočetní model, nízké rezervy spolehlivosti návrhu				
4	Stavba ve svahu, sesuvném území				

Komentář k jednotlivým případům

Rozbředání – (pokles indexu konzistence) je typický pro objemově nestálé zeminy, tedy zeminy třídy F, S3, S4, S5, G3, G4, G5 (směsné zeminy) a poloskalní horniny (jílovce, prachovce, slínovce nebo jílovité a prachovitojílovité břidlice). Nastává z různých příčin - promrznutím a následným



ZÁVĚR

Havárie jsou velmi těžce předvídatelné, mohou znamenat velké škody na majetku a bohužel i ztrátu lidských životů.



Havárie stavební jámy
a zničený historický archiv
Kolín nad Rýnem, 2009

Děkuji za pozornost a **ZDAŘ BŮH**

