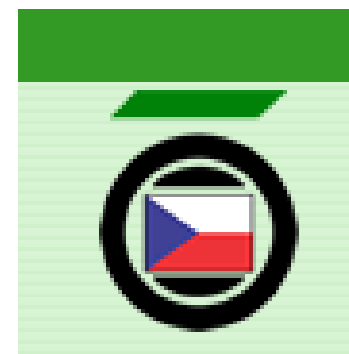


# Úvodní komentář k problematice havárií podzemních staveb

Josef Aldorf

Lukáš Ďuriš

VŠB-TU Ostrava



## ÚVOD

Ačkoli podzemní stavitelství datuje své prvopočátky až do starověku, jeho prudký rozvoj nastal až s rozvojem železniční a později také automobilové dopravy.

Zcela jistě docházelo při ražbě těchto podzemních staveb k nejrůznějším haváriím, bohužel informací o nich však se dochovalo jen velmi málo.


Jednou z prvních zdokumentovaných a dodnes zachovalých zpráv o havárii podzemní stavby byla o zhroucení klenby tunelu v Los Angeles v lednu roku 1900



Tento rozvoj podzemního stavitelství trvá až dodnes, ale nyní je již spjatý především se zastavěností povrchu a v některých případech také s ochranou životního prostředí.

Hlavně u tunelů má vliv na jejich realizaci také tvar zemského povrchu, který nedovoluje rozvinutí povrchové trasy, nebo by udržování takové komunikace bylo nepřiměřeně ekonomicky náročné.

Tento neustálý rozvoj vede samozřejmě k postupnému zdokonalování technologií ražení a vystrojování podzemních staveb. I přes tuto skutečnost se však není možné zcela vyvarovat vzniku havárií, což je dáno především neopakovatelností horninového prostředí.



S ohledem na charakteristiku jednotlivých havárií nebo přehledu havárií je možno rozdělit havárie do různých kategorií. Ty můžou být uspořádány podle různých faktorů jako např. místa, rozsahu, následků, účinku, příčin atd.

Podle těchto faktorů je můžeme rozdělit do 5 hlavních kategorií:


- havárie, které propagovaly až na povrch
- havárie v podzemí
- skalní zřícení
- průvaly podzemní vody
- havárie portálu



## HAVÁRIE, KTERÉ PROPAGOVALY AŽ NA POVRCH

Havárie patřící do této kategorie mívají z pravidla nejhorší následky, protože u nich dochází k projevům havárie i na povrchu, a to hlavně zásluhou eroze horninového prostředí dynamickým účinkem proudění podzemní vody.

Propagace havárie až na povrch může být velmi rychlá, stejně jako tomu bylo např. při havárii metra v Mnichově v roce 1994, kdy se v době vzniku havárie nacházel přímo nad tímto místem autobus.





Mnichov v roce 1994

# HAVÁRIE V PODZEMÍ

Do této kategorie řadíme ty havárie, které se odehrály přímo v podzemním díle.

Byly spojeny především s vlastní ražbou a jejichž následkem nedošlo k ovlivnění poměrů na povrchu.

Tato kategorie se dále dělí na havárie:

- klenby,
- havárie opěrové části ostění,
- havárie čelby.







## HAVÁRIE ČELBY

Do tohoto typu havárií řadíme ty, při nichž dojde ke kolapsu přímo v místě provádění ražby.

Pokud se nachází čelba v místech se špatnými geologickými poměry, přistupuje se často k její stabilizaci pomocí jehlování nebo stabilizačním nástřikem.

V některých případech však dochází k havárii čelby i přes tyto opatření.



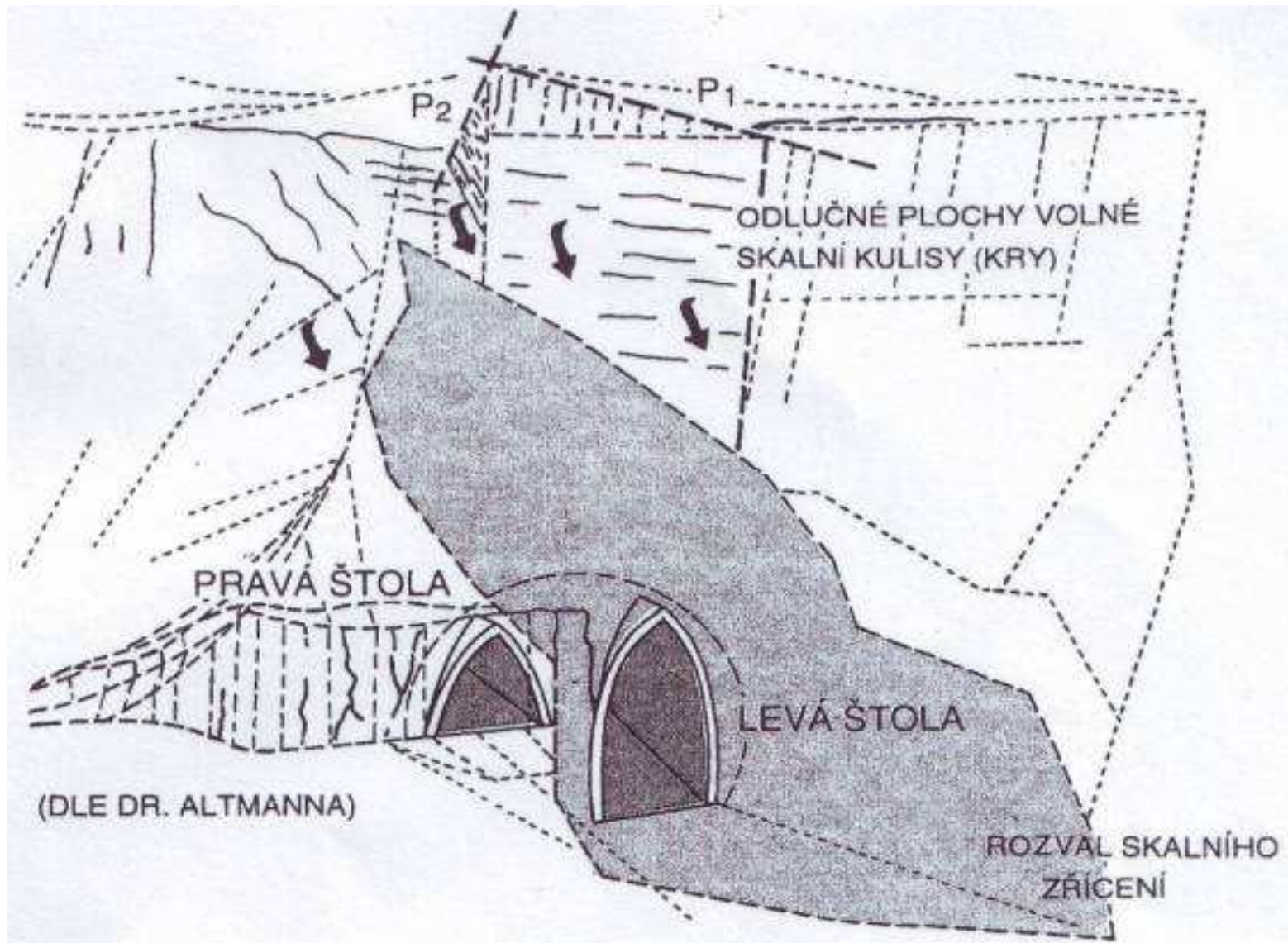
# SKALNÍ ZŘÍCENÍ

Tato kategorie havárií přímo souvisí s geologickými poměry v okolí podzemní stavby.

Při těchto haváriích dochází k uvolnění části horninového masivu, a to jak v důsledku již existujících ploch nespojitosti, tak i v důsledku vysokých tlaků ve spojitosti s křehkostí horniny.

Z důvodu předcházení tomuto typu havárie je nutná především dokonalá znalost geologických poměrů v dané lokalitě, ale také použití vhodných stabilizačních opatření.





## PRŮVALY PODZEMNÍ VODY

Průval podzemní vody je ve většině případů spojen s nedokonalou znalostí hydrogeologických poměrů a může mít fatální následky především v případě, kdy se ražení svahuje směrem k čelbě.

K tomuto typu havárie dochází převážně následkem působení tlaku podzemní vody, který je z nějakého důvodu vyšší, než jakému je ostění schopno odolat.

Příčinou však může být i nedokonale provedená hydroizolace.

Průval podzemní vody bývá často doprovodným jevem jiných typů havárií podzemních děl.





# HAVÁRIE PORTÁLU

Prostor portálu představuje jeden z nejvíce problematictějších bodů během celé výstavby podzemní stavby.

Ve většině havárií portálu hrají velkou roli geologické poměry horninového masivu a neočekávaný výskyt diskontinuit.


Prevenčí proti tomuto typu havárií je výběr vhodného místa, které by danému účelu vyhovovalo. Bohužel je však ve většině případů tento výběr podřízen směrovému řešení případně environmentálním omezením nebo jiným požadavkům.

Proto bývá portál tunelu často umístěn i v místech, kde je horninový masiv zvětralý, popřípadě jinak poškozen. Tam, kde je horninový masiv v oblasti portálu zcela odkryt, používá se ve většině případů výztuž, která zamezuje případnému uvolňování horniny.





## NEJVÝZNAMNĚJŠÍ HAVÁRIE PODZEMNÍCH STAVEB V ČR V POSLEDNÍCH 15 LETECH:

- Havárie silničního tunelu Hřebeč v dubnu 1995, Hřebeč
  - Havárie jámy Do-IV Dolu Doubrava v červenci 1998, Orlová
  - Zatopení pražského metra v srpnu 2002, Praha
  - Havárie železničního tunelu Březno v květnu 2003, Březno u Chomutova
  - Havárie kolektoru Vodičkova v lednu 2005, Praha
  - Havárie vodovodního přivaděče Švařec – Běleč I v září 2005, Brno
  - Havárie železničního tunelu v Jablunkově v dubnu 2008, Jablunkov a v listopadu 2009
  - Havárie silničního tunelu Blanka v květnu 2008 , v říjnu 2008 a v květnu 2010, Praha
- 

## NEJVÝZNAMNĚJŠÍ HAVÁRIE PODZEMNÍCH STAVEB VE SVĚTĚ V POSLEDNÍCH 15 LETECH:

- Havárie silničního tunelu Montemor v červnu 1994, Montemor (Portugalsko)
- Havárie tunelu Galgenberg v srpnu 1994, Leoben (Rakousko)
- Havárie mnichovského metra v září 1994, Mnichov (Německo)
- Havárie tunelu Heathrow spojujícího Londýn s letištěm v říjnu 1994, Londýn (Velká Británie)
- Havárie dálničního tunelu Hsuehshan v roce 1994, Taipei (Taiwan)
- Havárie tunelu Vereina v roce 1994, Klosters (Švýcarsko)
- Havárie železničního tunelu Adler v roce 1994, Basilej (Švýcarsko)
- Havárie železničního tunelu Oenzberg v roce 1994, Bolken (Švýcarsko)
- Havárie metra v Los Angeles v červnu 1995, Los Angeles (USA)
- Havárie tunelu Toyohama v únoru 1996, Hokkaido (Japonsko)



- Havárie vodovodního přivaděče Paijanne v únoru 1997, Asikkala (Finsko)
  - Havárie silničního tunelu San Pellegrino v roce 1998, Frasnadello (Itálie)
  - Havárie tunelu Flimsenstein v roce 1998, Flims (Švýcarsko)
  - Havárie tunelu Laerdal v červnu 1999, Sogn and Fjordane (Norsko)
  - Havárie kanalizační štoly v Umiray-Angat v listopadu 1999, Umiray-Angat (Filipíny)
  - Havárie vodovodního přivaděče v Hullu v listopadu 1999, Hull (Velká Británie)
  - Havárie silničního tunelu Bolu v listopadu 1999, Bolu (Turecko)
  - Havárie železničního tunelu Strood od prosince 1999 do června 2000, Strood (Velká Británie)
  - Havárie vodovodního přivaděče Dongjiang – Shenzhen v lednu 2000, Shenzhen (Čína)
  - Havárie metra v Taegu v lednu 2000, Taegu (Jižní Korea)
- 

- Havárie vodovodního přivaděče Paijanne v únoru 1997, Asikkala (Finsko)
  - Havárie silničního tunelu San Pellegrino v roce 1998, Frasnadello (Itálie)
  - Havárie tunelu Flimserstein v roce 1998, Flims (Švýcarsko)
  - Havárie tunelu Laerdal v červnu 1999, Sogn and Fjordane (Norsko)
  - Havárie kanalizační štol v Umiray-Angat v listopadu 1999, Umiray-Angat (Filipíny)
  - Havárie vodovodního přivaděče v Hullu v listopadu 1999, Hull (Velká Británie)
  - Havárie silničního tunelu Bolu v listopadu 1999, Bolu (Turecko)
  - Havárie železničního tunelu Strood od prosince 1999 do června 2000, Strood (Velká Británie)
  - Havárie vodovodního přivaděče Dongjiang – Shenzhen v lednu 2000, Shenzhen (Čína)
  - Havárie metra v Taegu v lednu 2000, Tuegu (Jižní Korea)
- 

- Havárie metra v Lisabonu v červnu 2000, Lisabon (Portugalsko)
- Havárie metra v Portu od října 2000 do ledna 2001, Porto (Portugalsko)
- Havárie tunelu spojující Washington s letištěm v listopadu 2000, Washington (USA)
- Havárie vodovodního přivaděče Havant v roce 2000, Portsmouth (Velká Británie)
- Havárie železničního tunelu Egge v roce 2000, Paderborn (Německo)
- Havárie dálničního tunelu Horelica v březnu 2001, Čadca (Slovensko)
- Havárie metra v Istanbulu v září 2001, Istanbul (Turecko)
- Havárie tunelu Haivan v roce 2001, Lang Co (Vietnam)
- Havárie tunelu Chienberg v únoru 2002, Sissach (Švýcarsko)
- Havárie tunelu Gotthard v dubnu 2002, Faido (Švýcarsko)



- Havárie železničního tunelu Hokou v prosinci 2002, Taoyuan (Thaiwan)
- Havárie tunelu Lotschberg v roce 2002, St. German (Švýcarsko)
- Havárie železničního tunelu Lainzer v roce 2002, Vídeň (Rakousko)
- Havárie silničního tunelu Chüebalm v lednu 2003, Iseltwald (Švýcarsko)
- Havárie železničního tunelu v Londýně v únoru 2003, Londýn (Velká Británie)
- Havárie metra v Paříži v únoru 2003, Paříž (Francie)
- Havárie železničního tunelu Guadarrama v červnu 2003, Segovia (Španělsko)
- Havárie metra Shanghai v červenci 2003, Shanghai (Čína)
- Havárie železničního tunelu Liyama v září 2003, Hokoriku (Japonsko)
- Havárie tunelu v Lübecku v roce 2003, Lübeck (Německo)




- Havárie metra v Sao Paulu v lednu 2007, Sao Paulo (Brazílie) Havárie metra v Hangzhou v dubnu 2004, Hangzhou (Čína)
- Havárie tunelu v Singapuru v dubnu 2004, Singapur (Singapur)
- Havárie silničního tunelu Lane Cove v listopadu 2004, Sydney (Austrálie)
- Havárie tunelu v Barceloně v lednu 2004, Barcelona (Španělsko)
- Havárie metra v Lausanne v únoru 2005, Lausanne (Švýcarsko)
- Havárie tunelu Tesco červnu 2005, Gerrards Cross (Velká Británie)
- Havárie silničního tunelu na dálnici Tianjin – Shantou v říjnu 2005, Meizhou (Čína)
- Havárie tunelu Kaohsiung v prosinci 2005, Kaohsiung (Thaiwan)
- Havárie tunelu Wienerwald v roce 2005, Vídeň (Rakousko)
- Havárie silničního Olympijského tunelu v březnu 2007, Beijing (Čína)
- Havárie tunelu Strazevica v listopadu 2007, Bělehrad (Srbsko)
- Havárie metra v Hangzhou v listopadu 2008, Hangzhou (Čína)
- Havárie metra v Singapuru v květnu 2008, Singapur (Singapur)
- Havárie silničního tunelu v Cologne v březnu 2009, Cologne (Německo)
- Havárie metra v Káhiře v září 2009, Káhira (Egypt)



# DO LEGISLATIVNÍHO OŠETŘENÍ PRO PODZEMNÍ STAVBY PATŘÍ PŘEDEVŠÍM DVĚ VYHLÁŠKY ČBÚ:

**1. Vyhláška ČBÚ č. 55/1996 Sb., o požadavcích k zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci a bezpečnosti provozu při činnosti prováděné hornickým způsobem v podzemí, ve znění vyhlášky č. 238/1998 Sb., vyhlášky č. 144/2004 Sb. a vyhlášky č. 298/2005 Sb.**

Tato vyhláška stanovuje požadavky k zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci a bezpečnosti provozu při činnosti prováděné hornickým způsobem v podzemí.



- Na dané téma je zaměřena především hlava čtvrtá, ve které se pojednává o závažných provozních nehodách (haváriích) a nebezpečných stavech. Je v ní upřesněno, kdy a jaké provozní nehody je nutné obvodnímu báňskému úřadu bezodkladně hlásit. Dále jsou zde informace vztahující se k plánu zdolávání závažné provozní nehody a obsahu havarijního plánu.
- V této vyhlášce jsou také přesné instrukce, jak se zachovat při zdolávání havárie. Je zde předepsáno, že práce na záchranu osob a zdolávání havárie řídí vedoucí likvidace havárie, kterým je vedoucí pracovník, který může ustanovit zástupcem jiného zaměstnance, tento však musí splňovat odbornou způsobilost vedoucího pracovníka. Zástupce vedoucího likvidace havárie plní povinnosti vedoucího likvidace havárie po dobu jeho nepřítomnosti.



## **2. Vyhláška č. 49/2008 Sb., o požadavcích k zajištění bezpečného stavu podzemních objektů**

Tato vyhláška stanovuje lhůty prohlídek podzemních objektů a způsob ověřování jejich bezpečného stavu. Nevztahuje se na hornickou činnost ani na činnost prováděnou hornickým způsobem.



# HLAVNÍ FAKTORY DETERMINUJÍCÍ PORUCHY PODZEMNÍCH STAVEB A JEJICH ZASTOUPENÍ U JEDNOTLIVÝCH HAVÁRIÍ

Ve většině případů havárií podzemních staveb je poměrně obtížné určit její hlavní příčinu.

Příčiny havárie totiž obvykle spočívají v synergickém působení více faktorů. Tyto faktory mohou být jak přírodního, technického, technologického, tak i legislativně smluvního charakteru.

Nejvyšší zastoupení mezi faktory zapříčiňující havárie podzemních staveb mají samozřejmě **složitě geologické a hydrogeologické poměry**.

Nedokonale provedený inženýrsko-geologický průzkum, nevhodné vedení razících a vyztužovacích prací, chybný návrh, konstrukční nedostatky, špatná organizace výstavby a nedostatečná zkušenost účastníků výstavby jsou také poměrně obvyklými faktory, které se v nejednom případě podílely na havárii podzemní stavby.



**Složitými geologickými poměry** je míněn nekvalitní, silně tektonicky porušený horninový masiv, popřípadě jinak oslabený horninový masiv.

Toto oslabení může být způsobeno např. prostoupením horninového masivu velmi tenkými vrstvami jílu, velmi rychlým střídáním horninových vrstev a rozdílných hodnot napětí během jednoho typu horniny.

Stabilita v takovém horninovém masivu je také závislá na četnosti, ale především na orientaci a stavu ploch nespojitosti.



Za složité **hydrogeologické poměry** horninového masivu je považováno horninové prostředí, kde je vysoké zvodnění horninového masivu.

Výskyt štěrkopískových lavic s vysokou hladinou podzemní vody, popřípadě zvýšený výskyt maloprostorových izolovaných kolektorů.

Rychlost pronikání povrchových vod do hlubších zvodní je velmi vysoká, nebo kdy hladina podzemní vody komunikuje s blízkou řekou, či jiným vodním zdrojem.



**Nedokonale provedený inženýrsko-geologický průzkum** může být zapříčiněn skutečností, že průzkumné vrty jsou prováděny ve větších vzdálenostech než by bylo pro danou oblast příhodné.

Je-li při průzkumu opomenuta některá z důležitých vlastností horninového masivu. I z dostatečně provedeného inženýrsko-geologického průzkumu však lze dojít k chybným závěrům, a to především nevhodným vyhodnocením získaných dat.



Za **nevhodné vedení razících a vyztužovacích prací** lze označit situaci, při které dojde překročení návrhové hodnoty maximální vzdálenosti provádění počvy za výlomem čelby.

Funkce plošné stabilizace výlomu je snížena zaostáváním druhé vrstvy nástřiku stříkaného betonu za výlomem čelby.

Pokud dynamika provádění razících a vyztužovacích prací výrazně zaostává za předpokladem návrhu.



Při provádění návrhu může dojít **k velkému množství chyb**. Mezi ty nejpodstatnější, ke kterým však již v minulosti došlo, patří např.:

- nesprávně provedený matematický model horninového prostředí použitým posléze v projektové dokumentaci,
- nedokonalé vyložení zahraniční normy, které může mít za následek podstatné snížení statické bezpečnosti projektu,
- nevhodný výběr použité technologie ražení a vyztužování do daných geologických a hydrogeologických poměrů,
- návrh nevyhovujícího monitorovacího systému a také množství jiných projektantských chyb.

V případě **konstrukčních nedostatků** podzemních staveb se může jednat o přítomnost nedokonale ošetřených pracovních spár, nedokonale provedené hydroizolaci, injektáži za ostěním a v krajním případě i použití nekvalitních materiálů.



Špatná **organizace výstavby** je ve většině případů dána především faktem, že nad technickými kritérii převáží kritéria ekonomická a politická.

Dále může být zapříčiněna také nestandardním smluvním vztahem mezi účastníky výstavby, který každému přesně nevymezuje jeho kompetence a povinnosti.

**Zkušenost účastníků** výstavby někdy není na úrovni potřeb rychlé a účinné reakce na změny podmínek ražení a vyztužování.

Na vzniku havárie se mohou podílet i jiné faktory, mezi které patří např. vliv účinku seismického zatížení, vliv extrémních srážek nebo extrémně zvýšená hladina řeky.



# PŘEHLED FAKTORŮ ZPŮSOBUJÍCÍCH JEDNOTLIVÉ HAVÁRIE V ČR A VE SVĚTĚ

V následující části jsou uvedeny jednotlivé havárie a faktory, které se na jejich vzniku významně podílely.

Pokud se na vzniku havárie podílelo synergické působení více faktorů, jsou tyto označeny symbolem [X], pokud je však zřejmé, že některý faktor výrazně převyšoval nad ostatními je označen symbolem [XX].

Jsou-li z nějakého důvodu faktory způsobující havárii neznámé, je v následující tabulce použito symbolu [?].



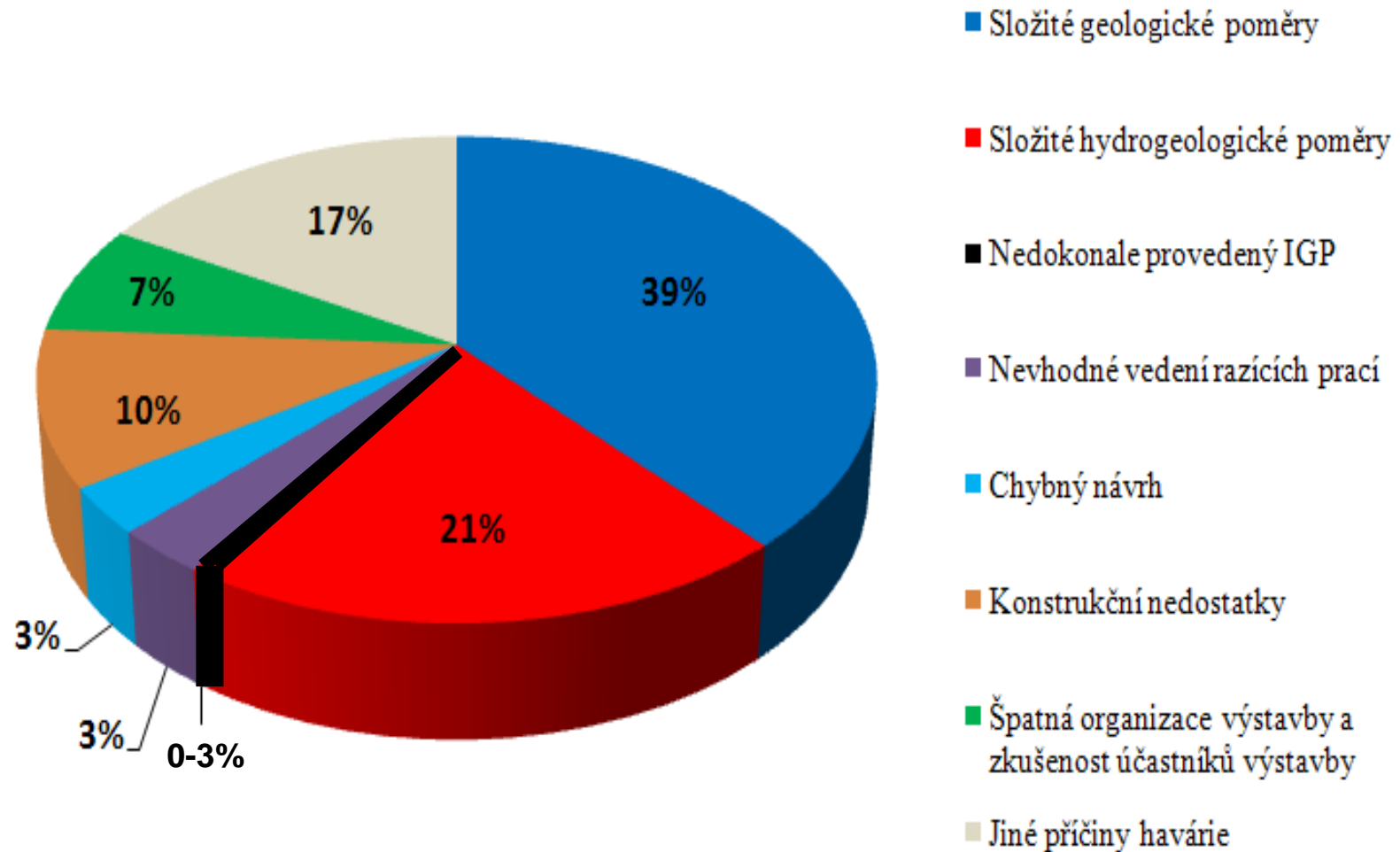
Jednotlivé havárie	Příčiny havárie							
	Složité geologické poměry	Složité hydro-geologické poměry	Nedokonale provedený IGP	Nevhodné vedení razících prací	Chybný návrh	Konstrukční nedostatky	Špatná organizace výstavby a zkušenost účastníků výstavby	Jiné příčiny havárie
Havárie silničního tunelu Hřebeč v dubnu 1995, Hřebeč	XX						X	
Havárie jámy Do-IV Dolu Doubrava v červenci 1998, Orlová	X	X						X <sup>1)</sup>
Zatopení pražského metra v srpnu 2002, Praha						X		XX <sup>2)</sup>
Havárie železničního tunelu Březno v květnu 2003, Březno u Chomutova	X			X	X		X	
Havárie kolektoru Vodičkova v lednu 2005, Praha	?	?	?	?	?	?	?	?
Havárie vodovodního přivaděče Švařec – Běleč I v září 2005, Bmo		X				X		
Havárie železničního tunelu v Jablunkově v dubnu 2008, Jablunkov	XX							
Havárie silničního tunelu Blanka v květnu 2008, Praha	X	X						
Havárie silničního tunelu Blanka v říjnu 2008, Praha	X	X						X <sup>3)</sup>



1. Mezi příčiny této havárie patří i narušení struktury horninového masivu v důsledku vlivu předchozí havárie jámy, která proběhla v roce 1986 a také vliv extrémních srážek v červenci 1997.
2. Hlavní příčinou této havárie byla úroveň hladiny řeky Vltavy, která dosáhla cca 2 m nad úroveň hladiny stoleté vody.
3. Příčinou této havárie mohlo být i zemětřesení s epicentrem v západních Čechách, které se těsně před samotnou havárií projevilo v pražském regionu intenzitou, která zde nebyla zaznamenána v průběhu posledních 26 let.



## Procentuální zastoupení jednotlivých faktorů v ČR



## Procentuální zastoupení jednotlivých faktorů ve světě

