

RAKOUSKÁ SMĚRNICE PRO GEOTECHNICKÝ NÁVRH KONVENČNĚ RAŽENÝCH PODZEMNÍCH STAVEB

(Český překlad)



Česká tunelářská asociace ITA-AITES

EDICE: DOKUMENTY ČESKÉ TUNELÁŘSKÉ ASOCIACE ITA-AITES

Svazek 5: Směrnice pro geotechnický návrh konvenčně ražených
podzemních staveb

Vydání 1.

Přeloženo z německého originálu verze 2.1 z r. 2008 a z anglické verze 2.1 z r. 2010

Překlad: Ing. Karel Scharf

Korektura: Ing. Martin Srb (D2 Consult Prague s.r.o.)
Mgr. Zdislava Novotná

Vydala: Česká tunelářská asociace ITA-AITES pro vlastní potřebu v roce 2011

V edici Dokumenty CzTA ITA-AITES vydává Česká tunelářská asociace texty zaměřené na problematiku podzemních staveb. Jedná se o dokumenty zpracované pracovními skupinami CzTA nebo převzaté ze zahraničí, především od mezinárodní tunelářské asociace ITA-AITES a jejích pracovních skupin (Working Groups) nebo od zahraničních národních asociací ITA-AITES. Dokumenty mají charakter informací nebo doporučení a vycházejí ze současné světové úrovně znalostí a zkušeností v oboru podzemního stavitelství.

V edici dosud vyšlo:

Svazek 1: **Bezpečnost práce při výstavbě tunelů**

Svazek 2: **Zásady a principy NRTM jako převažující metody konvenčního tunelování v ČR**

Svazek 3: **Stříkaný beton v podzemním stavitelství**

Svazek 4: **Přehled terminologie podzemního stavitelství**

Svazek 5: **Směrnice pro geotechnický návrh konvenčně ražených podzemních staveb**

Vydané svazky lze obdržet do vyčerpání zásob v sekretariátu CzTA na adrese:



Česká tunelářská asociace ITA-AITES

Dělnická 12
170 00 Praha 7

e-mail: ita-aites@metrostav.cz

ISBN 978-80-260-0111-9

Rakouská společnost pro geomechaniku

SMĚRNICE PRO GEOTECHNICKÝ NÁVRH KONVENČNĚ RAŽENÝCH PODZEMNÍCH STAVEB

Charakterizace horninového masivu
a přehledný postup pro určování
metody ražby a zajištění výrubu při projektování a v průběhu ražby

Vydavatel:

Rakouská společnost pro geomechaniku

A-5020 Salzburg, Bayerhamerstrasse 14

Tel.: +43 (0)662 875519, Fax: +43 (0)662 886748

E-mail: salzburg@oegg.at

<http://www.oegg.at>

Autorská práva

© ÖGG Salzburg, 2010

Překlad z německého originálu verze 2.1 z r. 2008 a z anglické verze 2.1 z r. 2010
zajistila Česká tunelářská asociace ITA-AITES
s laskavým souhlasem Rakouské společnosti pro geomechaniku.



Rakouská směrnice pro geotechnický návrh konvenčně ražených podzemních staveb

1	Úvod	5
2	Stanovení cílů	7
3	Definice	9
4	Fáze 1 – Návrh	11
4.1	Základní postup	11
4.2	Stanovení typů horninového masivu (Ground Type – GT)	14
	4.2.1 Metoda	14
	4.2.2 Záznamy	16
4.3	Určení chování horninového masivu	16
	4.3.1 Metoda	16
	4.3.2 Záznamy	18
4.4	Volba / výběr koncepce ražby a vyhodnocení chování zajištěného výrubu v oblasti čelby a výrubu (SB)	19
4.5	Podrobné stanovení stavebních opatření a hodnocení chování systému v zajištěné oblasti	19
	4.5.1 Ovlivňující faktory	19
	4.5.2 Metoda	20
	4.5.3 Analýzy a důkazy	20
	4.5.4 Záznamy	20
4.6	Stanovení tříd ražby	21
4.7	Geotechnická zpráva	21
	4.7.1 Obsah	21
	4.7.2 Obsah projektu ražeb	21
5	Fáze 2 – Stavba	24
5.1	Základní postup	24
5.2	Stanovení skutečného zastiženého typu horninového masivu	25
	5.2.1 Příprava a metoda	25
	5.2.2 Sběr parametrů na stavbě a určení typu horninového masivu	25
5.3	Hodnocení chování systému v oblasti čelby	26
	5.3.1 Metoda	26
5.4	Stanovení metody ražby a zajištění výrubu a předpovídání chování zajištěného výrubu	26
	5.4.1 Porovnání skutečného chování s předpoklady návrhu	26
	5.4.2 Rozhodování na stavbě	27
	5.4.3 Zpřesňování kritérií	27
	5.4.4 Zpřesňování předpovědi chování zajištěného výrubu	27
5.5	Kontrola chování systému	27
5.6	Aktualizace návrhu	28
6	Literatura	29

Příloha: Parametry zeminy, skalní horniny a horninového masivu

Rakouská *Směrnice pro geotechnický návrh konvenčně ražených podzemních staveb (Richtlinie fuer geotechnische Planung von Untertagbauten mit zyklischen Vortrieb)*, se ve svém druhém, přepracovaném vydání z roku 2008 dožívá letos desátého výročí svého vzniku a zároveň prvního kompletního českého překladu. Během své dosavadní existence se stala metodickým podkladem a inspirací pro přípravu a provádění tunelových staveb na celém světě. Její použití není vázáno na striktní předpisové požadavky jednotlivých zemí a její přínos spočívá v definování požadavků na přehledně strukturovaný a kontrolovatelný proces přípravy a realizace.

Chtěli bychom poděkovat Rakouské geotechnické společnosti OEGG za umožnění překladu a publikování v České republice. Věříme, že se tato směrnice a její zásady stanou používaným podkladem a přispějí ke zvyšování technické a ekonomické úrovně českého tunelářství.

Austrian Guideline for Geotechnical Design of Underground Structures with Conventional Excavation in its revised version 2.1 is celebrating 10th anniversary of its origin. It has become a document used on tunnel projects worldwide defining general requirements on systematic and trackable approach to tunnel project preparation and construction.

We would like to express our appreciation to Austrian Society for Geomechanics for possibility to translate and publish this guideline in Czech republic and we do hope that it will contribute to further development of Czech tunnelling industry.



Ing. Ivan Hrdina

předseda České tunelářské asociace ITA-AITES
Chairman of the Czech Tunnelling Association ITA-AITES



1. ÚVOD

Jedním z cílů Rakouské společnosti pro geomechaniku (Oesterreichische Gesellschaft fuer Geomechanik – OEGG – www.oegg.at) je zlepšování komunikace mezi investory, projektanty, geology a dodavateli v oblasti geotechnického inženýrství a zlepšování přípravy a realizace geotechnických staveb.

V roce 2001 byla vydána první verze Směrnice pro geotechnický návrh konvenčně ražených podzemních staveb (Richtlinie fuer geotechnische Planung von Untertagbauten mit zyklischen Vortrieb). Tato směrnice byla vydána současně s novým vydáním rakouské normy ÖNORM B2203-1 [1]. Tato norma se zabývá smluvními podmínkami pro provádění podzemních staveb konvenčními metodami. Všechna ustanovení týkající se charakterizace hornin a hodnocení jejich chování byly z normy ÖNORM B2203-1 (2001) odstraněny a jsou shrnuty v této směrnici, na kterou se norma odvolává. Směrnice byla revidována v roce 2008 a nahrazuje vydání z roku 2001.

Stabilita podzemních konstrukcí je zásadním problémem navrhování a provádění těchto staveb. Podle geotechnických podmínek a ovlivňujících faktorů existují různé způsoby porušení stability. Konkrétní stavební opatření k zajištění stability se musí volit podle možných způsobů porušení stability, požadavků stanovených pro danou stavbu a okrajových podmínek.

Z důvodu proměnlivosti geotechnických podmínek se navrhování podzemních konstrukcí nedá srovnávat s jinými inženýrskými stavbami, u kterých jsou statický systém, zatížení a vlastnosti použitých materiálů relativně přesně určitelné.

Vzhledem k nejistotě geotechnického modelu není možné rizika spojená se stavbou přesně odhadnout. Tato okolnost vyžaduje trvalé přizpůsobování stavební metody skutečným horninovým poměrům (observační metoda) a zavedení systému řízení bezpečnosti [2, 3].

Systém řízení bezpečnosti dle Eurokódu 7 musí zahrnovat následující témata:

- Koncepce návrhu pro stanovení ražby a zajištění výrubu.
- Kritéria pro posuzování stability, založená na znalosti horninových poměrů v průběhu projektování.
- Koncepce monitoringu se všemi technickými a organizačními opatřeními k umožnění průběžného porovnávání očekávaných a skutečných poměrů.
- Koncepce řízení pro případy, kdy se skutečné poměry odchylně od očekávaného rozsahu, ať již nepříznivým nebo příznivým směrem.

V podzemním stavitelství existují dva hlavní aspekty, které se musí řešit ve fázi navrhování. První z nich, ten nejdůležitější, je vytvoření reálného odhadu očekávaných horninových poměrů a možných způsobů chování výrubu v reakci na ražbu. Druhým

aspektem je to, aby se navrhla hospodárná a bezpečná ražba a metoda zajištění výrubu pro stanovená chování výrubu a horninového masivu. Příprava (projektování) začíná studií proveditelnosti a může pokračovat přípravnou dokumentací (DUR), projektem stavby (DSP), zadávací dokumentací (DZS) a realizační dokumentací (RDS). Projekt je trvale aktualizován a upřesňován v každé z fází, souběžně se získáváním nových informací. To vyžaduje zapojení odborníků z oblasti geologie a geotechniky ve všech fázích přípravy a realizace stavby.

Základním vztahem je vzájemné působení horninového masivu s jeho danou proměnlivostí a vlastní provádění výrubu. Ten zahrnuje nejen konečný stav, ale i přechodné účinky stavebního procesu včetně prostorového spolupůsobení horninového masivu, výrubu a vlastností horniny závislých na čase a namáhání.

Z důvodu komplexnosti závislostí jednotlivých faktorů a faktické nemožnosti přesného určení vlastností horninového masivu je cílem geotechnického návrhu stále zpřesňování předpokladů a rozhodovacích podkladů. Kromě vysoké technické úrovně má rozhodující důležitost systematická procesy a přehlednost závěrů a provedených rozhodnutí. V návrhu se musí brát v úvahu nejistoty modelu horninového masivu.

Souvislost geotechnického návrhu a statického a konstrukčního řešení bude pro určení stability a bezpečnosti konstrukce velmi různá a ovlivněná především okrajovými podmínkami projektu a vlastnostmi horninového masivu. Požadavky na statický návrh mohou být dány předpisy jednotlivých států, například rakouská směrnice RVS 09.01.42 se týká tunelových staveb v zeminách pod zástavbou a může sloužit jako příklad.

Tato směrnice obsahuje popis obecného postupu, který se má dodržovat při tvorbě geotechnického návrhu. Týká se všech subjektů, které se účastní přípravy a realizace (investor, projektant, zhotovitel, experti a další). Má přispět k zajištění včasných organizačních a odborných předpokladů pro geotechnický návrh ve všech jeho fázích. Obsahuje proto celkový popis procesu rozděleného do několika podstatných částí, které jsou řazeny časově i obsahově. Jako technická směrnice se vědomě nezabývá otázkami rozdělení rizik, odpovědností a kompetencí. Směrnice také neobsahuje jednoznačná ustanovení pro zadání inženýrských výkonů.

2 STANOVENÍ CÍLŮ

Hlavním úkolem geotechnického návrhu je ekonomická optimalizace stavby, přihlížející k horninovým poměrům, ale i bezpečnosti, dlouhodobé stabilitě a environmentálním požadavkům.

Proměnlivost geologické stavby, včetně místní struktury horninového masivu, parametrů hornin a zemín, napjatosti a vlivu podzemní vody, vyžaduje, aby se v průběhu procesu projektování používaly konzistentní a specifické postupy. Zásadní vlivy, kterými se geotechnický návrh řídí, jsou horninové poměry a chování hornin.

Existující schematické klasifikační systémy a jejich doporučení pro ražbu a zajištění výrubu byly vyvinuty ze zkušeností za specifických podmínek. Zevšeobecnění na jiné horninové a okrajové podmínky často vede k nevhodnému návrhu [4]. Technicky správného a úsporného návrhu a stavby se tudíž dá dosáhnout pouze s použitím postupu specifického pro danou stavbu a horninu.

Přes všechny nejistoty v popisu horninových poměrů podzemní stavitelství vyžaduje strategii umožňující konzistentní a přehledný proces navrhování, který je sledovatelný po celou dobu výstavby, a optimální přizpůsobování stavby skutečným horninovým poměrům zastíženým na stavbě.

Dají se rozlišit dvě hlavní fáze.

Fáze 1: Návrh

Tato fáze zahrnuje určení očekávaných geologických poměrů, zařazení do tříd typů horniny (GT – ground type), posouzení chování horniny, jeho zařídění podle typů chování horniny (BT – behaviour type), stejně jako stanovení stavebních opatření odvozených z chování horniny, při respektování okrajových podmínek specifických pro danou stavbu. Na tomto základě se předpovídá očekávané chování systému*. Dále se určují třídy ražby podle pravidel stanovených v normě ÖNORM B2203-1.

Výsledky všech fází geotechnického návrhu se shrnou v geotechnické zprávě. Geotechnická zpráva musí jasně ukázat na základě jakých geologických poměrů, okrajových podmínek a dalších předpokladů byla vypracována. Součástí geotechnické zprávy je projekt ražeb, tj. předpoklad provádění ražby a zajištění. Musí být uvedena jasná kritéria pro to, která stavebně-technická opatření je možné upravovat pouze se souhlasem projektanta a které úpravy jsou možné podle určených kritérií a zastížených podmínek na čelbě.

* Systémem se zde rozumí interakce horninového masivu, ražby a zajištění výrubu.

Fáze 2: Provádění stavby

V průběhu provádění stavby se musí shromažďovat, zaznamenávat a hodnotit relevantní parametry horniny, aby se stanovil typ horniny. Skutečné chování systému v oblasti ražby se hodnotí, při uvážení ovlivňujících faktorů, podle ustanovení projektu. Způsob ražby a zajištění výrubu se stanoví na základě kritérií uvedených v projektu ražeb.

Geotechnický návrh a projekt ražeb se musí průběžně aktualizovat na základě zjištění učiněných na stavbě. Zvýšená kvalita geotechnického modelu umožňuje optimalizaci stavby při dodržení všech požadavků na bezpečnost a ekologii.

V obou fázích se relevantní data a předpoklady pro všechna rozhodnutí v průběhu projektování a stavby musí zaznamenávat a dokladovat. Kromě toho se musí stále shromažďovat, vyhodnocovat a analyzovat všechny použitelné informace související s vlastnostmi horninového masivu, chováním horniny a systému.

Tato směrnice slouží jako vodítko pro uplatňování systematického a kontrolovatelného procesu rozhodování a přístupu při určení konceptu ražby a má zajistit přehlednost všech úvah a rozhodnutí o provádění ražby a zajištění výrubu.

3 DEFINICE

HORNINOVÝ MASIV	<i>Část zemské kůry složená ze skalních hornin anebo zemin, s často anizotropními vlastnostmi včetně nespojitostí a dutin vyplněných kapalina- mi nebo plyny</i>
HORNINA	<i>Agregát složený z minerálních složek, vzniklý při přírodních procesech, charakterizovaný typy a množstvím minerálů a zrnitostí strukturou</i>
SKALNÍ HORNINA	<i>Minerální agregát jehož vlastnosti jsou hlavně určovány fyzikálně-chemickými vazbami</i>
ZEMINA	<i>Akumulace anorganických pevných, nestejno- zrných částic s občasnými organickými příměs- mi. Vlastnosti se hlavně řídí granulometrickým složením, ulehlostí a obsahem vody</i>
DISKONTINUITA	<i>Obecný termín pro jakékoli mechanické diskon- tinuity v skalním horninovém masivu s nulovou nebo nízkou pevností v tahu. Společný termín pro většinu typů puklin, oslabených vrstevných ploch, oslabených ploch břidličnatosti, oslabe- ných zón a poruch</i>
TYP HORNINOVÉHO MASIVU GROUND TYPE (GT)	<i>Zemina nebo skalní hornina s podobnými vlast- nostmi</i>
CHOVÁNÍ HORNINOVÉHO MASIVU GROUND BEHAVIOUR	<i>Reakce horninového masivu na výrub celého profilu bez uvažování členění a zajištění výrubu</i>
TYP CHOVÁNÍ HORNINOVÉHO MASIVU BEHAVIOUR TYPE (BT)	<i>Kategorie popisující podobná chování hornino- vého masivu ve vztahu k mechanismu porušení a charakteristikám deformací</i>
CHOVÁNÍ ZAJIŠTĚNÉHO VÝRUBU (CHOVÁNÍ SYSTÉMU) SYSTEM BEHAVIOUR (SB)	<i>Chování vyplývající ze vzájemného působení mezi horninovým masivem, ražbou a zajištěním výrubu, rozdělené do:</i> <ul style="list-style-type: none"> – chování v oblasti ražby – chování v zajištěné oblasti – chování v konečném stavu

OKRAJOVÉ PODMÍNKY

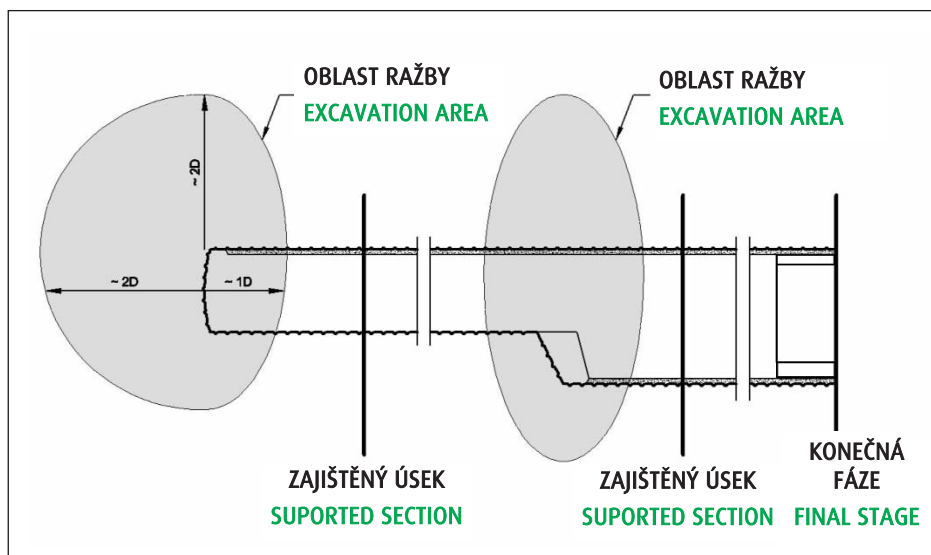
Podmínky, které ovlivňují proces výstavby a metody z jiných než geotechnických důvodů

PROJEKT RAŽEB

Shrnutí geotechnického návrhu včetně relevantních parametrů použitých při návrhu a aplikační kritéria pro přiřazování metod ražby a zajišťování výrubu

POŽADAVKY

Definice požadovaných parametrů k zajištění použitelnosti, bezpečnosti a environmentálních otázek



Obrázek 1 Zatřídění chování systému pro různé úseky

4 FÁZE 1 – NÁVRH

4.1 Základní postup

Geotechnický návrh jako součást projekční dokumentace tunelu slouží jako základ pro schvalovací procedury, zadávací dokumentaci (stanovení tříd ražby a jejich rozdělení) a určení metod ražby a zajištění výrubu použité na stavbě [5].

Vývojový graf (obrázek 2) ukazuje základní postup tvorby geotechnického návrhu, začínajícího stanovením typů horninového masivu a končícího definováním tříd ražby. Pro započítání proměnlivosti a nejistoty v hodnotách parametrů a ovlivňujících faktorech a také pro jejich rozdělení po trase stavby by se měly používat statistické nebo pravděpodobnostní analýzy. Tyto analýzy mohou sloužit jako základ analýzy rizik.

Tento postup se skládá z následujících kroků:

Krok 1 – Stanovení typů horninového masivu / Determination of Ground Types

První krok začíná popisem základního geologického modelu a pokračuje definováním geotechnicky relevantních parametrů pro každý typ horninového masivu. Hodnoty rozhodujících parametrů a rozdělení se určují z existujících informací nebo se odhadují inženýrským a geologickým úsudkem. Horninový masiv s podobnými vlastnostmi se zařadí do typů horninového masivu. Počet vypracovaných typů horninového masivu závisí na geologických podmínkách a je specifický pro danou stavbu.

Krok 2 – Stanovení chování horninového masivu a přiřazení typů chování horninového masivu / Determination of Ground Behaviour and Assignment to Ground Behaviour Types

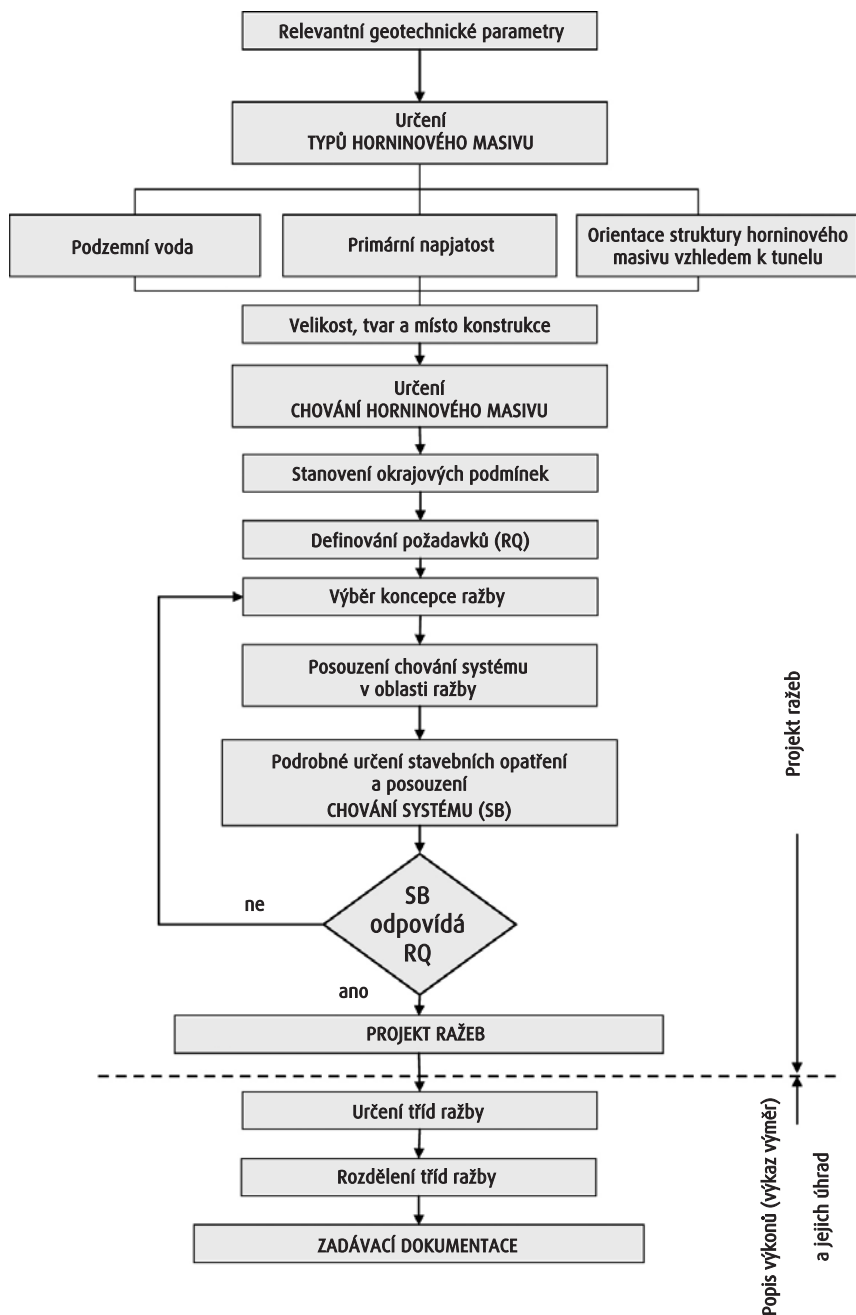
Druhý krok se skládá z hodnocení potenciálního chování horninového masivu s tím, že se bere v úvahu každý typ horninového masivu (GT) a místní ovlivňující faktory, včetně relativní orientace relevantních diskontinuit k výrubu, hydrogeologické poměry, stav napjatosti apod. Chování horninového masivu se analyzuje pro každý úsek s podobnými vlastnostmi a ovlivňujícími faktory.

Chování horninového masivu se musí hodnotit pro plochu plného profilu, bez uvažování jakýchkoli změn včetně metody ražby nebo členění a zajištění výrubu nebo jiných doplňujících opatření.

Vyhodnocená chování horninového masivu specifická pro danou stavbu se musí zařadit do základních typů chování horninového masivu (GT) – tabulka 2. Specifické podmínky dané stavby mohou vyžadovat další podrobnější dělení typů chování horninového masivu a podrobný popis jednotlivých očekávaných typů chování.

Krok 3 – Volba koncepce stavby

Na základě charakteristik horninového masivu a určeného chování horninového masivu se pro každou charakteristickou situaci vybere realizovatelná koncepce stavby, obsahující metodu ražby, členění ražby, zajištění výrubu a doplňující metody.



Obrázek 2 Schéma procesu tvorby geotechnického návrhu (projektu ražeb)

Krok 4 – Posouzení chování systému v oblasti ražby

Chování systému v oblasti ražby se posoudí s tím, že se vezme v úvahu koncepce stavby včetně členění ražby, stability čela výrubu a obvodu výrubu a rozdělení prostorové napjatosti.

Krok 5 – Podrobné určení metod ražby a zajišťování výrubu a hodnocení chování systému v zajištěné oblasti

Metody ražby a zajišťování výrubu jsou stanoveny s přihlédnutím k dalšímu pokračování ražby a budoucím stavebním krokům a stavům. Na tomto základě je určeno chování systému a srovnání s předpoklady a požadavky.

Krok 6 – Geotechnická zpráva – projekt ražeb

Na základě kroků 1 až 5 se trasa rozdělí do úseků s podobnými požadavky na ražbu a zajištění výrubu. Projekt ražeb ukazuje metody ražby a zajištění pro každý úsek a obsahuje limity a kritéria pro možné varianty nebo úpravy na stavbě.

Krok 7 – Určení tříd výrubu

V posledním kroku procesu navrhování se definují třídy ražby/výrubu na základě způsobu ražby a zajištění výrubu. Třídy ražby/výrubu tvoří základ pro ocenění v zadávací dokumentaci a při vypracování nabídky. V Rakousku je definice tříd ražby/výrubu určena normou pro zadávání a oceňování tunelových staveb ÖNORM B2203-1.

4.2 Stanovení typů horninového masivu (Ground Type – GT)

Typ horninového masivu je definován jako geotechnicky relevantní velikost horninového masivu tvořeného matricí, diskontinuitami a tektonických strukturami, který je podobný z hlediska následujících vlastností:

- ve skalní hornině: mechanické a fyzikální vlastnosti (neporušená hornina – horninový masiv, charakteristiky a vlastnosti diskontinuit, typ horniny, hydraulické vlastnosti horniny a horninového masivu,
- v zemině: mechanické a fyzikální vlastnosti, zrnitostní složení, hustota, minerální složení, parametry složek zeminy, parametry matrice, obsah vody a hydraulické vlastnosti.

Různé typy horninového masivu mají různé charakteristické parametry, které ovlivňují jejich mechanické chování. Pro stanovení různých typů horninového masivu se musí posoudit a definovat relevantní rozhodující parametry. Různé horninové masivy s podobnými kombinacemi relevantních parametrů se definují jako jeden typ horninového masivu (Ground Type – GT).

Definování typů horninového masivu musí vycházet ze znalostí v každé etapě přípravy stavby. Počet definovaných typů horninového masivu je specifický pro každou stavbu a závisí na fázi projektu i na složitosti geologických poměrů v oblasti stavby. Obecně v počáteční fázi projektování je hrubé rozlišení dostačující s tím, že v následujících fázích se vzrůstajícím množstvím informací budou a musí být rozlišení mezi jednotlivými typy horninového masivu (GT) přesnější.

Konečným úkolem v tomto kroku je přiřadit typy horninového masivu (GT) k trase tunelu.

4.2.1 Metoda

Vybrané klíčové parametry popisují geotechnicky relevantní vlastnosti horniny [6]. Tabulka 1 má pomoci při výběru relevantních parametrů pro různé typy hornin. Podle okrajových podmínek specifických pro danou stavbu může být potřebné určení dalších dodatečných parametrů. V každém případě se musí zkontrolovat, zda vybrané parametry postačují pro popis horninových vlastností [7, 8].

Příloha A obsahuje seznam parametrů a relevantních odkazů pro zeminy, horniny, diskontinuity a horninový masiv.

Určení různých parametrů má být založeno na místních předpisech, normách a standardech. Důvody pro použití jiných norem nebo postupů musí být posouzeny.

Ve všech fázích přípravy projektu/stavby se musí pořizovat seznamy použitých dat, metod hodnocení a rozsahu parametrů.

Podle typu a použití podzemní stavby mohou být požadovány jiné klíčové parametry. Počet parametrů použitých k definování typů horninového masivu a způsobu zařídování

Tabulka 1 Příklad vybraných klíčových parametrů pro různé typy hornin; výběr klíčových parametrů se může lišit podle konkrétních podmínek projektu a dalších požadavků

UKAZATEL		KLÍČOVÉ PARAMETRY																			
		VLASTNOSTI INTAKTNÍ HORNINY										DISKONTINUITY									
		Mineralogické složení	Mineralogické složení jílu (kvalitativní)	Mineralogické složení jílu (kvantitativní)	Cementace	Velikost zrn	Struktura	Poměr základní hmoty k fragmentům	Pórovitost	Alterace/Zvětrání	Rozpustnost	Objemová stabilita (bobtnání, smršťování)	Pevnost	Anizotropie	Tvar bloků	Velikost bloků	Průběžnost puklin	Otevířenost puklin	Smyková pevnost/drsnost	Výplň	
SKALNÍ HORNINY	Hlubinné vyvřeliny	■				■	■			□			■		■	■	□	■	□	□	
	Masivní vulkanity	□					□		■	■	■		■		■	■	□	■	□	■	
	Vulkano-klastické horniny	□	□		□	□		■	■	■		□	□								
	Hrubozrnné klastické horniny (masivní)	□		□	■	■	□	■	□	□			■		□	□	□	□			
	Jemnozrnné klastické horniny (masivní)		■	■	■	■				□			■	□	□	□					
	Hrubozrnné klastické horniny (vrstevnaté)	□		□	■	■		■	□	□			■	■						■	
	Jemnozrnné klastické horniny (vrstevnaté)		■	■	■	■				□			■	■						■	□
	Karbonátové horniny (masivní)	■									■		■		□	■	□	■			□
	Karbonátové horniny (vrstevnaté)	■									■		■		■					□	□
	Sulfátové horniny	■									■	■	□								
	Metamorfované horniny (masivní)	■				■	■			□			■		■	■	□	■			
	Metamorfované horniny (vrstevnaté)	■				■	■			□			■	■	■	■	□			■	■
Porušené horniny	□	■	■	■	■		■		□		■	■		■	■						
ZEMINY	Hrubozrnné zeminy (štěrk)					■		■	□			■									
	Hrubozrnné zeminy (písek)					■		□	□			■									
	Směsi hrubozrnných zemin	□		■	■	■		■	□			□	■								
	Jemnozrnné zeminy (silt)					■			□			■									
	Jemnozrnné zeminy (íl)	□		■	■				□			■	■								

Legenda:

■ Důležitý parametr

□ Méně důležitý parametr

se mohou měnit v průběhu projektu. Pro určení typů horninového masivu se musí stanovit mechanické a hydraulické vlastnosti hornin.

Sběr relevantních geotechnických parametrů a ovlivňujících faktorů by se měl provádět ve fázi úvodního projektu (přípravná dokumentace – DUR, projekt stavby – DSP). Průzkumy při zpracování projektu pro výběrové řízení (DZS) by se měly soustředit na zmenšování nejistoty nebo rizika v geotechnicky kritických oblastech.

V počátečních fázích projektování (studie proveditelnosti, úvodní projekt) se mohou použít jednoduché klasifikační metody [9, 10]. V těchto fázích se z důvodu nedostatku údajů z oblasti stavby musí často použít parametry z literatury nebo z předchozích zkušeností. Původ použitých dat se musí uvádět.

V pozdějších fázích přípravy stavby (DSP, DZS) se pro určení vlastností horninového masivu mohou použít empirické [11, 12, 13, 14] a numerické metody [15, 16] a polní zkoušky.

V dokumentaci se musí posoudit a uvést pevnost horninového masivu, deformační charakteristiky, hydraulické vlastnosti a další specifické vlastnosti, například výrazná anizotropie [17], malé tření na diskontinuitách, časově závislé chování, existence proplásků jiných typů hornin apod.

4.2.2 Záznamy

Všechny parametry použité pro určení typů horninového masivu se musí popsat a uvést v dokumentaci v tabulkové formě.

4.3 Určení chování horninového masivu

Chování horninového masivu popisuje reakci horninového masivu na vyrazení celého profilu, s uvážením typu horninového masivu a ovlivňujících faktorů, bez vlivu zajištění výrubu, členění výrubu nebo doplňujících opatření.

Nejdříve se musí určit orientace relevantních systémů diskontinuit vzhledem k ose podzemní konstrukce, musí se definovat podmínky napjatosti a poloha hladiny podzemní vody pro každý úsek na trase tunelu. Po přidělení všech relevantních vlastností a ovlivňujících faktorů každému úseku se posoudí chování horninového masivu pro každý úsek podzemní konstrukce. Očekávané chování horninového masivu se pak zatřídí do obecných typů, uvedených v tabulce 2, a určí se jejich rozdělení na trase.

4.3.1 Metoda

Při zvažování liniových podzemních staveb (tunelů) se musí uvažovat nezajištěný výrub bez stabilizačního vlivu čelby. V této fázi se nebere v úvahu členění výrubu.

Obvykle se pro hodnocení chování horninového masivu berou v úvahu následující ovlivňující faktory:

- Typ horninového masivu (Ground Type – GT).
- Původní stav napjatosti.

- Tvar a velikost podzemní konstrukce (konečný tvar a velikost).
- Umístění podzemní konstrukce ve vztahu k povrchu nebo stávajícím konstrukcím.
- Relativní orientace podzemní konstrukce a diskontinuit jako základ pro kinematické analýzy a stanovení přerozdělení napjatosti.
- Hranice mezi různými typy horninových masivů.
- Podzemní voda, hydraulický tlak, průsaková síla.

Tabulka 2 Kategorie typů chování

Základní kategorie typů chování Behaviour Types (BT)	Popis možných způsobů/mechanismů porušení při ražbě v nezajištěném horninovém masivu
1 Stabilní	Stabilní horninový masiv s možností malého lokálního vypadávání nebo vyjždění bloků v důsledku gravitace
2 Možnost vyjždění bloků podél diskontinuit	Větší vypadávání a vyjždění bloků řízené podél diskontinuit způsobené gravitací; občasná místní smyková porušení na diskontinuitách
3 Mělké porušení	Porušení vyvolané stavem napjatosti v blízkém okolí výrubu v kombinaci s diskontinuitami a gravitací vyvolaným porušením horninového masivu
4 Rozsáhlé, hluboké porušení	Porucha vyvolaná stavem napjatosti (překročením pevnosti) zasahujícím do velké vzdálenosti od výrubu a zahrnujícím velké objemy horninového masivu a velké deformace
5 Odprisky	Náhlá a prudká porucha masivu skalní horniny způsobená velkým napětím v křehké skalní hornině a prudkým uvolněním energie nahromaděného napětí
6 Boulení	Boulení skalní horniny s tence vrstevnatým systémem diskontinuit, často spojené se smykovým porušením
7 Porucha stropu	Rozsáhlé nadvýlomy v koruně/ v přístropí s postupným/progresivním smykovým porušením
8 Drolivá hornina	Drolení suché nebo vlhké, intenzivně rozpukané, málo propojené skalní horniny nebo zeminy s nízkou soudržností
9 Tekoucí hornina	Tok intenzivně rozpukaných, málo propojených skalních hornin nebo zemín s vysokým obsahem vody
10 Bobtnavá hornina	Časově závislý nárůst objemu horninového masivu způsobený fyzikálně-chemickou reakcí horniny a vody, v kombinaci s uvolněním napětí
11 Hornina s často se měnícími deformačními charakteristikami	Kombinace několika typů chování s velkými lokálními změnami napětí a deformací v delším úseku z důvodu heterogenního horninového masivu (heterogenní poruchové zóny; bloky skalní horniny v měkčí matrici, mylonit)

Pro určení chování horninového masivu se doporučují následující hodnocení a postupy:

- Kinematika: kinematické analýzy pro stanovení diskontinuitami řízených nadvýmřomů a vyjždění klínů.

Metody: teorie klíčových bloků [18], analýzy pomocí stereografické projekce [19, 20].

- Využití horninového masivu: vyhodnocení poměru mezi pevností horninového masivu a prostorovou napjatostí v okolí výrubu.

Metody: analytické a numerické metody [21, 22, 23, 24].

- Mechanismus porušení: musí se analyzovat a popsat přinejmenším kvalitativně možné mechanismy porušení horninového masivu (například odprsky, posuny podél diskontinuit jako výsledek uvolňování napětí, porušení účinkem smykových napětí aj.).

Metody: fyzikální modely, analytické analýzy, numerické analýzy, které umožňují modelování diskontinuit v masivu, srovnatelné příklady (case studies).

Není-li možné ovlivňující faktory určit s dostatečnou přesností, musí se provést parametrická studie s uvážením rozptylu parametrů.

Mají se používat analytické anebo numerické metody, které umožňují vhodné modelování pro charakteristiky typů horninového masivu za daných okrajových podmínek.

Chování horninového masivu (Ground Behavior – GB) vyplývající z analýz se musí zařadit do jedné z kategorií uvedených v tabulce 2. V případě, že se zjistí/identifikuje/definuje více než jeden typ chování pro jednu z obecných kategorií, musí se použít podtypy (například 2/1, 2/2 pro horninový masiv s různým potenciálem nadvýmřomů pro různé kombinace systémů ploch odlučnosti/diskontinuit a jejich orientace-mi). Zjistí-li se ve stejném úseku kombinace typů chování, musí se uvést všechny z nich. Přiřazení k obecné kategorii se provádí podle dominantního typu horninového masivu, například diskontinuitami řízený nadvýmřom a bobtnání dna (BT) 2 + 10). Horninovému masivu s často se měnícími pevnostními a deformačními vlastnostmi (například poruchová pásma), se přiřazuje obecná kategorie chování 11. Charakteristiky/vlastnosti a typy chování musí být popsány specificky pro každý projekt.

4.3.2 Záznamy

Popis každého typu chování horninového masivu (BT) musí obsahovat přinejmenším toto:

- Typ/typy horninového masivu.
- Orientaci relevantních diskontinuit vzhledem k podzemní konstrukci.
- Využití pevnosti horniny na obvodu výrubu a v jeho okolí.
- Podzemní voda, limity množství/tlaku podzemní vody, za kterých platí příslušný typ horninového masivu.
- Náčrt očekávané struktury horninového masivu.
- Popis chování horninového masivu (typ mechanismu porušení, dlouhodobé chování apod.).
- Deformace, odhad velikosti, orientace a vývoje v čase.

4.4 Volba/výběr koncepce ražby a vyhodnocení chování zajištěného výrubu v oblasti čelby a výrubu (SB)

Po určení typů horninového masivu a typů chování se vybere vhodná koncepce ražby pro každou charakteristickou situaci.

Koncepce ražby obecně obsahuje:

- metody zlepšování horninového masivu,
- metody odvádění vody,
- metody rozpojování,
- členění výrubu,
- předstihové zajišťování výrubu,
- koncepce zajišťování výrubu,
- možné délky záběru (ražby).

Na základě koncepce ražby se určí chování horninového masivu při působení ovlivňujících faktorů.

Ovlivňující faktory jsou:

- chování horninového masivu,
- tvar a velikost výrubu s uvažováním členění výrubu,
- délka záběru,
- metoda rozpojování,
- prostorová napjatost horninového masivu,
- podzemní voda,
- další dělení provádění ražby/členění výrubu,
- prvky zajištění výrubu, pokud ovlivňují chování zajištěného výrubu v oblasti ražby.

Chování zajištěného výrubu v oblasti ražby musí být uvedeno v grafickém znázornění s vyznačením možných způsobů porušení.

4.5 Podrobné stanovení stavebních opatření a hodnocení chování systému v zajištěné oblasti

Po ohodnocení chování systému v oblasti ražby se detailně navrhnu stavební opatření. Musí se přihlížet ke stabilitě čela a obvodu výrubu, následným stavebním krokům a okrajovým podmínkám.

Další krok obsahuje zhodnocení chování systému (spolupůsobení horninového masivu, zajištění výrubu, doplňujících opatření a členění ražby) a jeho porovnání s předpoklady projektu.

4.5.1 Ovlivňující faktory

Jako doplnění výše uvedených ovlivňujících faktorů se pro účely zhodnocení chování systému v zajištěné oblasti musí uvažovat následující faktory:

- Čas/doba provedení a umístění prostředků zajištění výrubu a časově závislá funkce;
- Časově závislé vlastnosti horninového masivu;
- Následné kroky ražby.

4.5.2 Metoda

Metoda analýzy závisí na konkrétních okrajových podmínkách podzemní konstrukce. Dají se použít následující metody:

- Analytické metody;
- Numerické simulace;
- Zkušenosti s podobnými konstrukcemi ve srovnatelných podmínkách.

4.5.3 Analýzy a důkazy

Chování systému se musí analyzovat a porovnávat s požadavky.

Musí se prokázat následující:

- Stabilita ve všech fázích stavby a použitelnost v konečné fázi.
- Soulad s environmentálními požadavky (sedání povrchu, vibrace, narušení režimu podzemních vod atd.).
- Deformace jsou v přijatelných mezích (dovolená posunutí, použitelnost, kompatibilita systému atd.).

Všechny analýzy se musí dokumentovat v sledovatelné a auditovatelné formě.

Musí se zvážit rozsah ovlivňujících faktorů i vliv stavby na životní prostředí. Obecně nejsou ovlivňující faktory k dispozici jako deterministické hodnoty, ale spíše mají formu rozsahů nebo rozdělení. Vliv rozsahu rozhodujících parametrů na chování systému se musí analyzovat pomocí parametrických studie/í (analýz).

Jelikož zvolená stavební opatření a jejich provádění silně ovlivňují chování systému, je zjevné, že optimální výběr posloupnosti/postupu stavebních činností a opatření k zajištění výrubu je výjimkou. Obecně se musí posloupnost stavebních prací a opatření k zajištění výrubu upravovat, dokud se nenalezne bezpečný a hospodárný postup výstavby.

Pokud nelze požadované parametry určit s dostatečnou přesností předem, musí se vytvořit geotechnický plán řízení bezpečnosti. Tento plán musí předepsat metody a postupy ověřování předpokladů pro posuzování stability, pro posuzování souladu s environmentálními požadavky a pro stanovování vhodných metod provádění stavby a zajišťování výrubu.

4.5.4 Záznamy

Pro charakteristické podmínky (například horninové poměry, úsek tunelu, různá členění, metody zajištění výrubu apod.) se musí chování systému popsat takovým způsobem, aby se dalo ověřovat v průběhu stavby.

Popis obsahuje zejména následující:

- Velikost, orientaci a vývoj deformací v čase a s měnící se vzdáleností od čela výrubu ve všech fázích stavby.

- Požadované zajištění čelby výrubu.
- Sedání v případě mělce uložených tunelů.
- Chování prvků zajištění výrubu (využití ostění, deformace roznášecích desek svorníků, deformačních prvků apod.).

4.6 Stanovení tříd ražby

Třídy ražby pro charakteristické kombinace opatření k zajištění výrubu a sledy postupů stavebních prací se stanoví v souladu s rakouskou normou ÖNORM B2203-1.

Pro vytvoření výkazu výměr je potřebná předpověď rozdělení tříd ražby. Toto rozdělení se musí vypracovat pro nejpravděpodobnější případ a dále i pro rozsah rozdělení vyplývající z rozsahu parametrů horninového masivu a ovlivňujících faktorů. Při určování rozdělení tříd ražby po trase se musí brát v úvahu nejen geologické a geotechnické poměry, ale i heterogenita horninového masivu. Ve velmi heterogenním horninovém masivu bude v mnoha případech technicky a ekonomicky nevhodné často měnit metody ražby a zajištění výrubu. Jestliže se rozdělení tříd výrubu „homogenizuje“, musí se důvodově vysvětlit.

4.7 Geotechnická zpráva

Výsledky geotechnického návrhu se musí shrnout v geotechnické zprávě. V této zprávě se musí popsat jednotlivé kroky popsané v této směrnici srozumitelnou a kontrolovatelnou formou.

Geotechnickou zprávu musí sestavovat společně projektant, geolog a geotechnik.

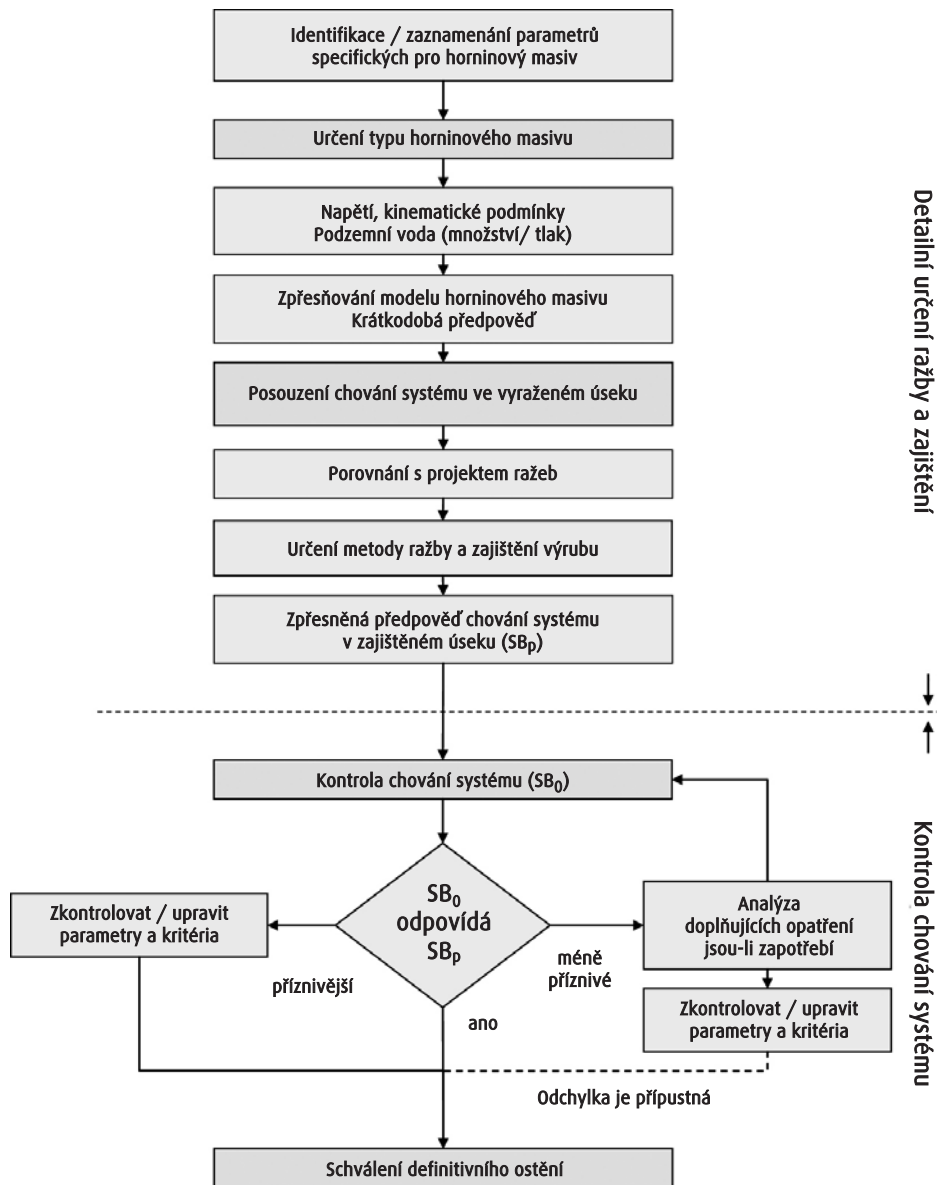
4.7.1 Obsah

- Shrnutí výsledků geologických a geotechnických průzkumů a interpretace výsledků.
- Popis typů horninového masivu a souvisejících klíčových parametrů.
- Popis očekávaných typů chování horninového masivu (GT), relevantních ovlivňujících faktorů, provedených analýz a geotechnických modelů použitých při stanovování těchto typů chování.
- Zpráva o určení způsobu ražby a zajištění výrubu, relevantních scénářích, které se braly v úvahu (například stability nezajištěné oblasti a čela výrubu), provedených analýzách a výsledcích návrhu.
- Definice kritérií pro stanovení metody ražby a zajišťování výrubu pro dané chování systému v oblasti ražby.
- Popis chování zajištěného výrubu ve všech fázích stavby.
- Projekt ražeb.
- Rozdělení tříd ražby po trase.

4.7.2 Obsah projektu ražeb

- Geologický model s očekávaným rozdělením typů horninového masivu v podélném řezu.

- Očekávané chování systému v oblasti ražby pro příslušné typy horninového masivu a ovlivňující faktory (například nadloží, orientace diskontinuit vzhledem ke konstrukci).
- Kritéria pro určování stavebních opatření na stavbě s ohledem na chování systému v oblasti ražby.
- Stanovené typy ražby a prvků zajištění (délka záběru, členění ražby, nadvýrub, vzdálenost uzavírání protiklenby, kvalita a množství prvků zajištění apod.).
- Opatření, která se budou určovat na stavbě (předstihové zajištění, zajištění čela výrubu/čelby, zlepšování vlastností horninového masivu, odvodňování apod.).
- Popis očekávaného chování systému v zajištěném úseku ražby (deformační charakteristiky, využití prvků zajištění apod.).
- Kritéria a úrovně varovných stavů a dodatečná opatření.



Obrázek 3 Základní postup určování stavebních opatření a kontroly zajištěného výrubu během stavby (SB_o = očekávané chování systému / Predicted system behaviour, SB_p = pozorované chování systému / Observed system behaviour)

5 FÁZE 2 – STAVBA

5.1 Základní postup

Vzhledem k tomu, že se v mnoha případech horninové poměry nedají určit s požadovanou přesností před zahájením stavby, je zapotřebí trvale aktualizovat geotechnický model a přizpůsobovat ražbu a zajištění výrubu skutečným horninovým poměrům v průběhu výstavby.

Jako základ pro zpřesňování geotechnického modelu během stavby slouží podrobné analýzy chování systému. Závěry se musí použít pro určování stavebních opatření. U geotechnicky obtížných staveb se musí na stavbě využít/být přítomen/pracovat geotechnik*.

Konečné určení metod ražby i typu a množství prvků zajištění je ve většině případů možné pouze na stavbě. Pro zajištění požadované bezpečnosti je nutné vypracovat projekt dodatečných opatření, která se použijí při dosažení varovných stavů nebo projektem definovaných podmínek.

Na obrázku 3 je schematicky znázorněn základní postup.

Krok 1 – Určení zastíženého typu horninového masivu a předpověď charakteristik horninového masivu

Aby bylo možné určit typ zastíženého horninového masivu, musí se geologická dokumentace v průběhu stavby zaměřit na sběr a zaznamenávání relevantních parametrů specifikovaných v návrhu/projektu. Doplňující pozorování, jako jsou známky překročení únosnosti, deformací a mechanismy porušení, výsledky průzkumu před čelbou a vyhodnocení geotechnického monitoringu se používají pro aktualizaci modelu horninového masivu a předpovídání podmínek před čelbou.

Krok 2 – Posouzení chování systému v oblasti ražby

Na základě předpovídaných horninových/geotechnických poměrů se musí posoudit chování systému v úseku před čelem výrubu/čelbou, s uvažováním ovlivňujících faktorů, a musí se porovnat s projektem ražeb. Zvláštní pozornost se musí věnovat potenciálním způsobům porušení.

Krok 3 – Určení způsobu ražby a zajištění výrubu a předpověď chování systému v zajištěném úseku

Při určování vhodného způsobu ražby a zajištění výrubu se musí používat kritéria uvedená v projektu ražeb. Následně se musí zkontrolovat, zda skutečné horninové poměry (typ horninového masivu, chování systému) odpovídají předpovědi/očekávání.

* V rakouské praxi se jedná o funkci a činnost, která je prováděna na základě smluvního vztahu s investorem.

Doplňující údaje získané během stavby tvoří základ pro určování metody ražby a zajištění výrubu. Cílem je dosažení hospodárné a bezpečné stavby tunelu.

Pro následující úsek ražby se musí předpovědět chování systému s přihlédnutím ke geotechnickým podmínkám a zvolenému zajištění výrubu. Při předpovídání je třeba přihlížet k horninovým poměrům. O tomto postupu se musí vést záznamy.

Poznámka: Jak ražba, tak i zajištění výrubu se musí prakticky určit před zahájením ražby záběru. Po zahájení ražby záběru jsou možné pouze drobné úpravy, jako je přidání svorníků. Tento fakt zdůrazňuje nutnost průběžné krátkodobé předpovědi.

Krok 4 – Ověření chování systému

Monitorováním chování systému (vizuálně a měřeními) se kontroluje soulad s požadavky a kritérii definovanými v projektu ražeb. Když se vyskytnou rozdíly mezi pozorovaným a očekávaným chováním, musí se parametry a kritéria, použitá v průběhu ražby pro určování typu horninového masivu i ražby a zajištění výrubu, revidovat. Jsou-li deformace nebo využití prvků zajištění větší, než se očekávalo, musí se provést podrobné vyšetření příčin odlišného chování systému a je-li to zapotřebí, musí se nařídit dodatečná opatření (jako je zvýšení zajištění výrubu). V případě, že je chování systému příznivější, než se očekávalo, musí se důvody také analyzovat a používané parametry se musí upravit, je-li to vhodné. Tím se zajistí průběžné zlepšování a zpřesňování metody určení způsobu ražby a zajištění výrubu.

5.2 Stanovení skutečného/zastiženého typu horninového masivu

5.2.1 Příprava a metoda

Při zpracování návrhu/projektu byly definovány klíčové parametry pro identifikaci každého typu horninového masivu s tím, že se tyto parametry zaznamenávají/dokumentují v průběhu stavby. Pokud se to ukáže jako potřebné, může být během stavby/ražby požadováno sledování dalších parametrů, relevantních pro chování systému. Použití doplňujících parametrů musí být zdůvodněné a schválené všemi zúčastněnými stranami. Vyžaduje se jejich řádná dokumentace.

Jednotlivé klíčové parametry se rozdělí do kategorií. Tam, kde je to možné, se používají numerické hodnoty, jako je vzdálenost, otevření puklin, pevnost apod., raději než popisná data. Některé z požadovaných parametrů se ale mohou prakticky popsat pouze kvalitativně (například drsnost diskontinuit).

Získané parametry se kombinují a zvažují tak, aby bylo možné definovat příslušné typy horninového masivu. K přiřazení jednotlivých typů horninového masivu k určité kombinaci parametrů se používá korelační matice.

5.2.2 Sběr parametrů na stavbě a určení typu horninového masivu

Sběr dat na stavbě se musí soustředit na sbírání relevantních geologických a geotechnických údajů a na pozorování/sledování a zaznamenávání struktury horninového masivu. Shromážděná data se zaznamenávají do připravených formulářů.

Typ horninového masivu se určí pomocí kritérií definovaných ve fázi zpracování projektu. V podmínkách heterogenního horninového masivu se musí masiv rozdělit do několika částí a příslušné klíčové parametry se musí shromažďovat pro každou část zvlášť.

Geologická a geotechnická data shromážděná a vyhodnocená na stavbě jsou základem pro extrapolaci a předpověď horninových poměrů. Geologické práce tedy nejsou omezeny na zaznamenávání stavu čela výrubu, ale mají také zahrnovat prognózu podmínek v okolí výrubu a před výrubem.

5.3 Hodnocení chování systému v oblasti čelby

5.3.1 Metoda

Kromě parametrů požadovaných pro určování typu/typů horninového masivu se musí zaznamenávat ovlivňující faktory, jako jsou stav podzemní vody, struktura horninového masivu, odhadovaný stav napjatosti a kinematické podmínky a zaznamenávat chování zajištěného výrubu v oblasti ražby.

Reakce horninového masivu na ražbu a zajištění výrubu se sledují pomocí vhodného monitorovacího systému.

Průběžné hodnocení mechanických procesů ve vyražených úsecích umožňuje odhad vlastností horninového masivu i mimo vyražený prostor. Kromě geologických předpovědí může při modelování poměrů v horninovém masivu v okolí výrubu pomoci důsledné vyhodnocování údajů monitoringu.

Použitelné metody analýz s využitím výsledků měření deformací jsou tyto:

- Analýza přerozdělení/redistribuce stavu napjatosti pomocí křivek deformací a závislostí [25, 26].
- Extrapolace trendů deformací [27].
- Analýza orientací vektorů posunutí a/nebo poměrů posunutí různých monitorovacích bodů [28, 29, 30, 31, 32].
- Analýza výsledků doplňujících měření (extenzometry, inklinometry atd.) [33].

Projektem předpokládána struktura horninového masivu v kombinaci s pozorováními na stavbě (in situ, při ražbě) a výsledky monitoringu se používají k předpovědi chování horninového masivu při ražbě dalších záběrů.

5.4 Stanovení metody ražby a zajištění výrubu a předpovídání chování zajištěného výrubu

5.4.1 Porovnání skutečného chování s předpoklady návrhu

Pro konečné určení metody ražby a zajišťování výrubu se musí zkontrolovat, zda horninové poměry a chování systému, pozorované na stavbě, odpovídá/ají předpokladům návrhu/projektu ražeb. Jestliže pozorované podmínky odpovídají předpovídaným, musí se při stanovování stavebních opatření dodržovat projekt ražeb. Doplňující,

místně potřebná opatření se musí stanovit, i když nejsou výslovně vyžadována v projektu ražeb.

V případě odchylek přesahujících tolerance určené v projektu musí být informován projektant, aby zapracoval úpravu předpovědi na základě nových zjištění. Projektant musí požadovaná doplňující opatření včas schválit a musí projekt ražeb příslušně aktualizovat.

5.4.2 Rozhodování na stavbě

Konečná rozhodnutí o použitých stavebních opatřeních jsou založena na návrhu projektu a na doplňujících informacích získaných během stavby. Cílem je bezpečná a hospodárná stavba. Rozhodnutí se musí jasně vysvětlit a dokumentovat, například v příloze k záběrovému listu (schématu ražby a zajištění výrubu).

5.4.3 Zpřesňování kritérií

V průběhu prací na návrhu ražeb je ke každému typu chování přiřazen způsob ražby a zajištění výrubu. Díky zvětšení a zpřesnění informací relevantních pro ražbu během stavby je možné zpřesňovat kritéria. Aby se umožnilo přesnější rozhodování na stavbě, mohou se kategorie pro každý parametr zpřesňovat, nebo se mohou definovat doplňující parametry. Změny v kritériích nebo kategoriích parametrů musí být podepřeny údaji ze stavby a jejich posouzeními. Změny v kategoriích parametrů nebo kritériích vyžadují aktualizaci projektu ražby.

5.4.4 Zpřesňování předpovědi chování zajištěného výrubu

S nárůstem v množství existujících informací se dají skutečné chování horninového masivu i chování systému předpovídat přesněji. Předpověď se obecně provádí pro úsek 10 až 20 m před skutečnou polohou čelby.

Předpověď chování systému by měla obsahovat (minimální požadavky):

- Očekávanou velikost a orientaci/směr deformací v tunelu a na povrchu (je-li to relevantní) včetně jejich prostorového a časově závislého vývoje [32, 34, 35].
- Očekávaný součinitel využití zajištění výrubu.

5.5 Kontrola chování systému

Pomocí výsledků porovnání chování systému v průběhu ražby a posouzení a analýzy výsledků měření se skutečné chování systému porovná s předpovídaným chováním a zkontroluje se, zda toto chování je ve stanovených mezích. Mohou se vyžadovat doplňující/dodatečná měření nebo hodnocení například k určení, využití ostění [36, 37].

Rozdíly mezi očekávaným a pozorovaným chováním se musí analyzovat a dokumentovat. Výsledek analýzy je podkladem pro další rozhodnutí.

Rozdíl mezi pozorovaným a předpokládaným chováním systému může mít následující příčiny:

- Odlišné geologické a geotechnické poměry.
- Skutečné chování horninového masivu se liší od předpokládaného.
- Nevhodný výběr parametrů.
- Chybné předpoklady ovlivňujících parametrů.

Důvody odlišnosti chování se musí analyzovat. V případě, že jsou předpoklady týkající se ovlivňujících faktorů nesprávné, musí se parametry upravit. Úpravy musí být podepřeny příslušnými daty a analýzami a musí být dokumentovány v aktualizovaném projektu ražby.

V případě, že je kvalita horninového masivu **lepší**, než se očekávalo, je nutné geotechnický model revidovat. V případě větší odchylky se musí upravit kritéria pro určení metody ražby a zajišťování výrubu.

V případě, že kvalita horninového masivu je **horší**, než se očekávalo, a varovné stavy jsou dosaženy/překročeny, se musí provést doplňující opatření a ražba a zajištění výrubu se musí upravit. To lze provést například přidáním svorníků/kotev, provedením dočasné protiklenby apod. V některých případech může k dosažení cíle postačovat provedení silnějšího zajištění výrubu v následujících záběrech.

V případě velkých odchylek se musí upravit geotechnický model. V případě závažných odchylek se musí upravit kritéria pro stanovení metody ražby a zajištění výrubu. To obecně vyžaduje, aby se aktualizoval projekt ražeb.

5.6 Aktualizace návrhu

Z důvodu omezených informací, které jsou k dispozici ve fázi zpracování projektu, se pro projekt ražeb a pro zadávací dokumentaci musí použít řada předpokladů a zjednodušených modelů.

Aby se dosáhlo cíle, kterým je bezpečná a hospodárná stavba, je třeba průběžně, s rostoucí úrovní informací, aktualizovat geotechnický návrh.

To platí pro určování typů horninového masivu, přisuzování a kalibraci klíčových parametrů a kritérií, stejně jako pro určování chování zajištěného výrubu. Při zlepšování geotechnického modelu pomáhá například zpřesňování kategorií parametrů a zavádění doplňujících kritérií.

Geotechnik na stavbě musí oznamovat projektantovi případy velkých odchylek skutečné geologické a geotechnické situace nebo chování systému od předpokladů, které jsou zhruba popsány v projektu ražby. Musí se připravit a předložit podrobná zpráva, obsahující všechny relevantní informace, která je koordinována s geologem stavby a zástupci investora a dodavatele. Po zvážení faktů musí projektant aktualizovat projekt ražby. To se musí dokumentovat v dodatku geotechnické zprávy.

6 LITERATURA

- [1] ÖNORM B 2203-1. Underground works – works contract. Part 1: Cyclic driving (conventional tunnelling). Österreichisches Normungsinstitut. 2008
- [2] EN 1997; EUROCODE 7 Geotechnical design – Part 1: General rules
- [3] Vavrovsky, G. M., Schubert, P., Ayaydin, N., (2001). Geotechnisches Sicherheitsmanagement im oberflächennahen Tunnelbau, Felsbau 19, Nr. 5
- [4] Riedmüller, G., Schubert, W. (1999). Critical comments on quantitative rock mass classifications. Felsbau 17(3): 164-167
- [5] Schubert, W., Goricki, A., Button, E., Riedmüller, G., Pölsler, P., Steindorfer, A., Vanek, R. (2001). Excavation and Support Determination for the Design and Construction of Tunnels. In P. Särkkä, P. Eloranta (eds.), EUROCK 2001; Proc. intern. symp., Espoo: 383-388. Rotterdam: Balkema
- [6] Riedmüller, G., Schubert, W. (2001). Project and Rock Mass Specific Investigation for Tunnels. In P. Särkkä, P. Eloranta (eds.), EUROCK 2001; Proc. intern. symp., Espoo: 369-376. Rotterdam: Balkema
- [7] Liu, Q., Brosch, F.-J., Klima, K., Riedmüller, G., Schubert, W. (1999). Application of a Data Base System During Tunnelling. Felsbau 17(1): 47-50
- [8] Liu, Q., Riedmüller, G., Klima, K. (2001). Quantification of Parameter Relationship in Tunnelling. In P. Särkkä, P. Eloranta (eds.), EUROCK 2001; Proc. intern. symp., Espoo: 357-362. Rotterdam: Balkema
- [9] Harer, G., Riedmüller, G. (1999). Assessment of ground conditions for the Koralm tunnel during the early stages of planning. Felsbau 17 (5), 374-380
- [10] Goricki, A., Schubert, W., Fuchs, R., Steidl, A. (2001). Geotechnical Assessment of the Route Corridor for the Koralm Base Tunnel. In P. Särkkä, P. Eloranta (eds.), EUROCK 2001; Proc. intern. symp., Espoo: 77-82. Rotterdam: Balkema
- [11] Hoek, E. (1999). Putting numbers to geology – an engineer's viewpoint. Felsbau 17 (3), 139-151
- [12] Marinos, P. Hoek, E. (2000). GSI: A geologically friendly tool for rock mass strength estimation. Proceedings GeoEng 2000
- [13] Cai, M., Kaiser, P. K., Tasaska, Y., Minami, M. (2007). Determination of residual strength parameters of jointed rock masses using the GSI system. Int. J. of Rock Mechanics and Mining Sciences, Volume 44, Issue 2, 247-265. Elsevier
- [14] Hoek, E., Diederichs, M. S. (2006). Empirical estimation of rock mass modulus. Int. J. of Rock Mechanics and Mining Sciences, Volume 43, 203-215. Elsevier
- [15] Amadei, B., Savage, W. Z. (1993). Effects of Joints on Rock Mass Strength and Deformability. Comprehensive Rock Engineering, Volume 1, 331-365. Hsg. Hudson J. A. et al. Pergamon Press, Oxford
- [16] Bashin, R., Høeg, K. (1998). Numerical modelling of block size effects and influence of joint properties in multiply jointed rock. Tunnelling and Underground Space Technology, 13, 181-188

- [17] Blümel, M., Brosch, F.-J., Fasching, A. (1999). Investigations on fabrics and related mechanical properties of a highly anisotropic gneiss. In G. Vouille, P. Berest (eds.), International Congress on Rock Mechanics; Proc. intern. symp., Paris: 1001-1005. Rotterdam: Balkema
- [18] Goodman, R. E., Shi, G. H. (1985). Block theory and its application to rock engineering. Prentice Hall Inc. Englewood Cliffs, New Jersey
- [19] John, K. W., Deutsch, R. (1974). Die Anwendung der Lagenkugel in der Geotechnik. Festschrift Leopold Müller-Salzburg, Karlsruhe
- [20] Hoek, E., Kaiser, P. K., Bawden, W. F. (1995). Support of underground excavations in hard rock. A.A. Balkema, Rotterdam, Brookfield
- [21] Feder, G. (1977). Zum Stabilitätsnachweis für Hohlräume in festem Gebirge bei richtungsbetontem Primärdruck. Berg- und Hüttenmännische Monatshefte 122 (4), 131-140
- [22] Feder, G. (1978). Versuchsergebnisse und analytische Ansätze zum Scherbruchmechanismus im Bereich tiefliegender Tunnel. Rock Mechanics 6, 71-102
- [23] Sulem, J., Panet, M., Guenot, A. (1987). Closure analysis in deep tunnels. Int. Journal of Rock Mechanics and Mining Science (24), 145-154
- [24] Brown, E. T., Bray, J. W., Ladanyi, B., Hoek, E. (1983). Ground response curves for rock tunnels. J. Geotech. Engrg., ASCE, 109(1), 15-39
- [25] Vavrovsky, G. M. (1987) Entspannung, Belastungsentwicklung und Versagensmechanismen bei Tunnelvortrieben mit geringer Überlagerung, Dissertation Montanuniversität Leoben
- [26] Vavrovsky, G. M., Ayaydin N. Bedeutung der vortriebsorientierten Auswertung geotechnischer Messungen im oberflächennahen Tunnelbau. Forschung und Praxis, Band 32
- [27] Schubert, P., Vavrovsky, G. M. (1995) Advanced analysis of monitored displacements opens a new field to continuously understand and control the geotechnical behaviour of tunnels. T. Fuji (ed), Proc. 8th Int. Congress on Rock Mechanics, 1415-1419
- [28] Schubert, W., Steindorfer, A. (1998). Advanced Monitoring Data Evaluation and Display for Tunnels. In A. Negro Jr., A. A. Ferreira (eds.), Tunnels and Metropolises; Proc. intern. symp., Sao Paulo: 1205-1208. Rotterdam: Balkema
- [29] Schubert, W., Steindorfer, A., Vavrovsky, G. M. (1997). Auswertung und Interpretation von Verschiebungsmeßdaten. In Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e. V. (Hsg.), Taschenbuch für den Tunnelbau, 21. Jg.: 137-168. Verlag Glückauf, Essen
- [30] Steindorfer A. (1997). Short Term Prediction of Rock Mass Behaviour in Tunnelling by Advanced Analysis of Displacement Monitoring Data. In Riedmüller, Schubert, Semprich (eds.), Gruppe Geotechnik Graz, Heft 1
- [31] Vavrovsky, G. M. (1994). Gebirgsdruckentwicklung, Hohlraumverformung und Ausbaudimensionierung. Felsbau 12 (5), 312-329

- [32] Grossauer K., Lenz G. (2007). Is it possible to automate the interpretation of Displacement Monitoring Data? *Felsbau* 25 (2007), No. 5: 99-106. Essen: VGE
- [33] Volkmann, G., Schubert, W. (2006) Optimization of Excavation and Support in Pipe Roof Supported Tunnel Sections. *Tunnelling and Underground Space Technology*, Vol. 21. Nos. 3-4; 404 (abstract); CD paper No: PITA06-0165
- [34] Sellner, P. (1999) Prediction of displacements in tunnelling. In Riedmüller, Schubert, Semprich (eds) *Schriftenreihe Gruppe Geotechnik Graz*, Heft 9
- [35] Sellner, P. Grossauer, K. (2002). Prediction of Displacements for Tunnels. *Felsbau* 20 (2002), No. 2: 24-30. Essen: VGE
- [36] Rokahr, R., Zachow, R. (1997) Ein neues Verfahren zur täglichen Kontrolle der Auslastung einer Spritzbetonschale, *Felsbau* 15 (6), 430-434
- [37] Lackner, R., Macht, J., Hellmich, C., Mang, H. A. (2002). Hybrid method for analysis of segmented shotcrete tunnel linings. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering (ASCE)*, 128(4): 298-308

Příloha

Parametry zeminy, skalní horniny a horninového masivu

Obsah

1	Zdravá (nezvětralá) skalní hornina	A-1
1.1	Popis	A-1
1.2	Mikrostruktura	A-1
1.3	Stav skalní horniny a horninového masivu	A-1
1.4	Diskontinuity, makrostruktura	A-1
1.5	Vlastnosti diskontinuit	A-2
1.6	Pevnostní charakteristiky skalní horniny a skalního masivu	A-2
2	Zemina	A-2
2.1	Klasifikace zemin	A-2
2.2	Parametry kompozitu	A-2
2.3	Parametry složek	A-3
2.4	Parametry pojiva	A-3
2.5	Propustnost	A-3
3	Literatura	A-4

Následující přehled parametrů a literatury nemusí být úplný nebo jedině možný. Skutečně rozhodující parametry typů horninového masivu se musí vybírat a posuzovat podle specifických požadavků geotechnického návrhu.

1 Zdravá nezvětralá skalní hornina

1.1 Popis

- Pojmenování skalní horniny
- Použitý klasifikační systém: [1, 2, 3, 4, 5, ÖNORM B 4401/3]
- Geotechnicky relevantní složky, proplástky a varianty by se měly uvádět pomocí objemových procent (obj.-%) a četnosti
- Minerální soubor
hlavní a vedlejší horninotvorné minerály (obj.-%), přidružené minerály; cementace, složení komponentů a pojiva, množství a rozdělení jílovitých materiálů (kvalitativní a kvantitativní); (EN 12407, EN 12470, N 12440, EN ISO 14689, [1, 2, 6, 7, 8, 9,])
- Potenciál pro objemovou nestabilitu (bobtnání) nebo chemickou agresivitu agresivního chování: [9, 10, 11]

1.2 Mikrostruktura

- Textura, mikrostruktura
- Velikost zrn, vzájemné spojení
- Mikrotrhliny [12, 13]
- Poměr komponentů k pojivu, pórovitost, kvantitativní indexy pro zrnovou vnitřní stavbu [2, 4, 5, 14, 15, 16, 17]

1.3 Stav skalní horniny a horninového masivu

- Tektonické nebo hydrotermální alterace, rozpad drcení (katakláze) [18, 19]
- Typ zvětrání
použitý klasifikační systém: změna zabarvení, vliv na pevnost materiálu, na tmelení zrn, účinek na vlastnosti diskontinuit [1, 2, 6, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26]
- Rozpouštění – transformace – neoformace konstituentů nebo částí horninového masivu (tvorba krasových jevů)

1.4 Diskontinuity, makrostruktura

- Makrostruktura
(vrásnění, rozvrstvení: vrstevnatost, břidličnatost, příčná břidličnatost), typ diskontinuity, vztahy ohledně stáří, geneze
- Počet a geometrické uspořádání dominantních systémů diskontinuit, velikost a tvar bloků ohraničených diskontinuitami [1, 2, 6, 17, 22, 26, 27]

1.5 Vlastnosti diskontinuit

- Délkové míry (průběžnost, plocha) vzdálenost systémů, otevření, ukončení [26, 28, 29]
- Alterace na diskontinuitách, výplň, povlak [22]
- Zvlnění – drsnost, úhel dilatace, parametry smykové pevnosti a tuhosti diskontinuit [22, 28, 30, 31, 32]
- Charakteristické dopady míry rozpuštění – objemová hmotnost, propustnost skalního masivu [6, 17, 29, 33, 34, 35, 36]

1.6 Pevnostní charakteristiky skalní horniny a skalního masivu

- Pevnost skalní horniny ve smyku, tlaku a tahu [37, 38]
- Konstanty pružnosti (např. E, ν , G, V)
- Coulomb/Hoek-Brownovy parametry (např. c, ϕ , m_i , s, GSI): [32, 35, 39, 40, 41, 42, 43, 44]
- Hodnoty pevnosti v příčném tahu stanovené bodovou zkouškou a Brazílskou zkouškou, indexu pružného odrazu [26, 45, 46, 47, 48, 49, 50]
- Anizotropie v pevnosti skalní horniny nebo skalního masivu a přetvárnosti [22, 31, 51, 52, 53]
- Abrazivita, řezatelnost, těžitelnost [15, 26, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60]
- Stabilita proti obrusu, změnám teploty, zvětvávání a ponoření [11, 61, 62, 63], EN 1367/1, ÖNORM B 3126/1-2, B 3128

2 Zemina

2.1 Klasifikace zemin

- Definice tříd velikosti zrn
- Zrnitostní složení
- Vlastnosti plasticity
- Příměsy organického původu [64, 65]

2.2 Parametry kompozitu

- Specifická hmotnost, měrná hmotnost, hustota (ÖNORM B4431, B 4414/1/2, DIN 18124, DIN 18125 D1/D2, DIN 18126, ASTM D 854)
- Zrnitostní složení (ÖNORM B 4412/1/2, B 4401/3, B 3120, DIN 8196, DIN 18123 D1/D2, ASTM D 2487, ASTM D 3282, ASTM D 422, EN 932/3/4, EN 933/1-6, [2,] [5], EN ISO 14688)
- Pórovitost, struktura – textura (poměr komponentů k pojivu, druh a uspořádání skeletu složek (EN 1097/3-4, [5])
- Vlastnosti (a potenciální závislost na směru) pevnosti a přetvárnosti (ÖNORM B 4420, B 4416, B 4415, B 4411, DIN 18122 D1/D2, DIN 18127, ASTM 4318, ASTM 2435, ASTM D 2166, ASTM D 2850, ASTM D 3080)

2.3 Parametry složek

- Mineralogické složení hlavních konstituentů, tvar zrn, viz 1.1, 1.2, ÖNORM B 4401/3, ASTM 2488, [5, 66]
- Stav složek (např. zvětrání, alterace): viz kapitola 1.3, EN 1097/1-2, [6], ÖNORM B 3128

2.4 Parametry pojiva

- Mineralogické složení, obsah jílových minerálů a organických materiálů, cementace [5], [9], EN 933/8-10

2.5 Propustnost

- ÖNORM B 4410, B 4422/1/2, DIN18130 D1, ASTM: D 4643, D 4944, D 2434

LITERATURA

- [1] Geol. Society Engin. Group Working Party: The description of rock masses for engineering purposes.- Q. J. Engng. Geol. 10: 355 – 388; 1977
- [2] IAEG Commission on Engin. Geol. Mapping (Matula, M. Chairman): Rock and soil description and classification for engineering geological mapping.- Bull. IAEG 24: 235 – 274; Aachen/Essen 1981
- [3] Buchner, K., Frey, M. Petrogenesis of metamorphic rocks.- Springer 1994
- [4] Wimmenauer, W. Petrographie der magmatischen und metamorphen Gesteine.- Enke 1985
- [5] Müller, G., Füchtbauer, H., Müller, G. Sedimentpetrologie I (1964), II(1970).- Stuttgart (E. Schweizerbart)
- [6] British Standards Institution: BS 5930 Code of practice for site investigations.- BSI 1999
- [7] DIN 4022, T1/T2 Benennen und Beschreiben von Boden und Fels (1981)
- [8] ISRM Commission of Standardisation: Suggested methods of petrographic description of rocks.- Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr. 15/2: 41 – 45; 1978
- [9] Jasmund, K., Lagaly G. (eds.) Tonminerale und Tone. Struktur, Eigenschaften, Anwendungen und Einsatz in Industrie und Umwelt.- Steinkopff (Darmstadt) 1993
- [10] ISRM Commission on testing methods: Suggested methods for laboratory testing of argillaceous swelling rocks.- Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr. 26/5: 415 – 426; 1989
- [11] ISRM Commission on Standardisation: Suggested methods for determining water content, porosity, density, absorption and related properties and swelling and slake durability index properties.-Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr. 16/2: 141 – 156; 1997
- [12] Kranz, R. L., Microcracks in rock – a review.- Tectonophysics 100: 449 – 480; 1983
- [13] Simmons, G., Richter, D. Microcracks in rocks.- In: Strens, R. G. J. (ed.): The physics and chemistry of minerals and rocks.- London (Wiley & Sons); 1976
- [14] Tsidsi, K. E. N. A quantitative petrofabric characterisation of metamorphic rocks.- Bull. IAEG 33: 2 – 12; 1986
- [15] Howarth, D. F., Rowlands, J. C. Quantitative assessment of rock texture and correlation with drillability and strength properties.- Rock Mech. Rock Engin. 20: 57 – 85; 1987
- [16] Montoto, M., Petrophysics – the petrographic interpretation of the physical properties of rocks.- Proc. 5th Int. Cong. ISRM Melbourne B93 – B98; 1983
- [17] Fecker, E., Reik, G. Baugeologie.- Stuttgart (Enke), 2. Auflage 1996

- [18] Heitzmann, P. Kakirite, Kataklasite, Mylonite – Zur Nomenklatur der Metamorphite mit Verformungsgefügen.- *Ecl. Helv.* 78: 273 – 286; 1985 [19] Wise, D. U., Dunn, D. E., Engelder, J. T., Geiser, P. A., Hatcher, R. D., Kish, S. A., Odom, A. L., Schamel, S. Fault-related rocks: Suggestions for terminology.- *Geology* 12: 391–394; 1984
- [20] Geol. Soc. Engin. Group Working Party: The description and classification of weathered rocks for engineering purposes.- *Q. J. Engng. Geol.* 28: 207 – 242; 1995
- [21] Forschungsgesellschaft f. d. Straßenwesen: Merkblatt über Felsgruppenbeschreibung für bautechnische Zwecke im Straßenbau.- In DGEG (Hg.) Taschenbuch für den Tunnelbau.- Essen (Glück Auf Verlag) 1981
- [22] ISRM Commission on standardisation: Suggested methods for quantitative description of discontinuities in rock masses.- *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr.* 15/6: 319 – 368
- [23] Cragg, D. J., Ingman, J. Rock weathering descriptions – current difficulties.- *Q. J. Engng. Geol.* 28: 277 – 286; 1995 [24] Price, D. G. A suggested method for the description of rock mass weathering by a rating system.- *Q. J. Engng. Geol.* 26: 68 – 76; 1993
- [25] Dearman, W. R. State of weathering: the search for a rational approach.- *Geol Soc. Engin. Geol. Spec. Publ.* 2: 193 – 198; 1986
- [26] Schwingenschlögl, R., Rockenschaub, M. Ingenieurgeologische Charakterisierung zur Felsklassifizierung, Straßenforschung, Heft 380; (Hg.: BM f. Wirtschaftliche Angelegenheiten), Wien 1990
- [27] Bridges, M. C. Identification and characterisation of sets of fractures and faults in rock.- *Proc. Int. Symp Rock Joints*, Loen, Norway Rotterdam, (Balkema): 19 – 26; 1990
- [28] Priest, S. D. Discontinuity analysis for rock engineering.- London (Chapman & Hall) 1993 [29] Dershowitz, W. S., Herda, H. H. Interpretation of fracture spacing and intensity.- *Rock Mechanics (Tillerson & Waversik, eds.):* 757 – 766; Rotterdam (Balkema) 1992
- [30] Aydan, Ö., Shimizu, Y., Kawamoto, T. The anisotropy of surface morphology characteristics of rock discontinuities.- *Rock Mech. Rock Engin* 29/1: 47 – 59; 1996
- [31] Barton, N. Deformation phenomena in jointed rock.- *Geotechnique* 36/2: 147 – 167; 1986
- [32] Barton, N., Choubey, V. The shear strength of rock joints in theory and practice.- *Rock Mech (Felsmech. u. Ingenieurgeologie)* 10: 1- 54; 1977
- [33] Barton, N., Bandis, S. C., Bakhtar, K. Strength, deformation and conductivity of rock joints.- *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr.* 22/3: 121 – 140; 1985

- [34] Bandis, S. C. Engineering properties and characterisation of rock discontinuities.- In Hudson, J. A. (ed.): Comprehensive rock engineering.- Vol. 1: 155 – 183; Pergamon Press 1993 [35] Hudson, J. A. (ed): Comprehensive rock engineering, Vol. 3: Rock testing and site characterisation, Oxford (Pergamon Press); 1993
- [36] Anon. Rock fractures and fluid flow – National Academy Press Washington 1996
- [37] Blümel, M. Improved procedures for laboratory rock testing.- Proc. ISRM Symp. EUROCK 2000 (Aachen), 573 – 578
- [38] Blümel, M., Bezar, F. A. Advanced control techniques for direct shear testing of jointed rock specimens.- In: Marr, W. A., Fairhurst, C. E. (eds.): Nondestructive and automated testing for soil and rock properties, ASTM STP 1350; 1998
- [39] Hawkins, A. B. Aspects of rock strength.- Bull. IAEG 57/1: 17 – 30; 1998
- [40] Hoek, E., Brown, E. T. Practical estimates of rock mass.- Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr. 34/8: 1165 – 1186; 1997
- [41] ISRM Commission on Standardisation: Suggested methods of determining the Uniaxial Compressive Strength and deformability of rock materials.- Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr. 16/2: 135 – 140; 1979
- [42] ISRM Commission on Standardisation: Suggested methods for determining the strength of rock masses in triaxial compression.- Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr. 26/6: 283 – 290; 1983
- [43] ISRM Commission on Standardisation: Suggested methods for determining shear strength.- In Brown, E. T. (ed.) Rock characterisation Testing and monitoring: 129 – 140; Pergamon Press 1981
- [44] ÖNORM B 3124/9: Prüfung von Naturstein, mechanische Gesteinseigenschaften.
- [45] ISRM Commission on Testing Methods: Suggested methods for determining point load strength.-Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr. 22/2: 51 – 60, 1985
- [46] Turk, N., Dearman, W. R. A new procedure for determination of point load strength in site investigation.- Geol. Soc. Engin. Geol. Spec. Publ. 2: 405 – 411; 1986 [47] Panek, L. A., Fannon, T. A. Size and shape effects in point load tests of irregular rock fragments. – Rock Mech. Rock Engin. 25: 109 – 140; 1992
- [48] Chau, K. T., Wong, R. H. C. Uniaxial compressive strength and point load strength of rocks.- Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr.33/2, 183 – 188; 1996
- [49] Göktan, R. M., Ayday, C. A suggested improvement of the Schmidt rebound hardness.- Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr. 30/3, 321 – 322; 1993
- [50] Reddish, D. J., Yasar, E. A new portable rock strength index test based on specific energy of drilling.- Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr. 33/5, 543 – 548; 1996
- [51] Shea, W. T., Kronenberg, A. K. Strength and anisotropy of foliated rocks with varied mica contents.- J. Struct. Geol 15/9-19: 1096 – 1121; 1993

- [52] Gottschalk, R., Kronenberg, A. K., Russel, J. E., Handin, J. Mechanical anisotropy of gneiss: Failure criterion and textural sources of directional behaviour.- J. Geophys. Res. 95/B13: 613 – 634
- [53] ISRM Commission on Standardisation: Suggested methods for large-scale sampling and triaxial testing on jointed rock.- Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr. 26/5: 427 – 434; 1989
- [54] Thuro, K., Spaun, G. Introducing the “destruction work” as a new rock property of toughness referring to drillability in conventional drill-and-blast tunnelling.- EUROCK'96 (Barla, ed.): 707 – 713; Rotterdam (Balkema); 1996 [55] Univ. of Trondheim, Norwegian Institute of Technology, Division of Construction Engineering (ed.): Drillability, drilling rate index catalogue.- Report 13/88; 1988
- [56] Schimazek, J., Knatz, H. Die Beurteilung der Bearbeitbarkeit von Gesteinen durch Schneid- und Rollenwerkzeuge.- Erzmetall 29: 113 – 119; 1976
- [57] Lens, W., Thum, W. Ermittlung und Beurteilung der Sprengbarkeit von Gestein auf der Grundlage des spezifischen Sprengenergieaufwandes.- Forsch.-Ber. d. Landes Nordrhein-Westfalen, 2118; 1970
- [58] Caterpillar Tractor. Co. Handbook of ripping.- Peoria, Ill.; 1983
- [59] Association Française de Normalisation: Normalisation française P 18 – 579, Essai d'abrasivité et de broyabilité.- Afnor 1990
- [60] West, G. Rock abrasiveness testing for tunneling.- Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr. 36/2: 151 – 160; 1989
- [61] DIN 52 106: Prüfung von Naturstein, Beurteilungsgrundlagen für die Verwitterungsbeständigkeit (1972)
- [62] ISRM Commission on Standardisation: Suggested methods for determining hardness and abrasiveness of rocks. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr. 15/3: 89 – 97; 1978
- [63] ÖNORM B 3120/1/2: Natürliche Gesteine, Probennahme: Grundlagen/Festgesteine [64] ÖNORM B 4400: Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke und Methoden zur Erkennung von Bodengruppen.
- [65] DIN 18 196: Erd- und Grundbau; Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke
- [66] American Geological Institute: AGI Data sheets (J. T. Dutro, R. V. Dietrich, R. M. Foose, compilers)

TUNEL

ČASOPIS ČESKÉ TUNELÁŘSKÉ ASOCIACE A SLOVENSKEJ TUNELÁRSKEJ ASOCIÁCIE ITA-AITES
MAGAZINE OF THE CZECH TUNNELLING ASSOCIATION AND SLOVAK TUNNELLING ASSOCIATION ITA-AITES



Odebírejte, inzerujte
a přispívejte
do časopisu TUNEL!

Časopis vydávají společně Česká tunelářská asociace ITA-AITES a Slovenská tunelárska asociácia ITA-AITES. Je zaměřen na podzemní stavby z hlediska jejich výzkumu, vývoje, projektování a realizace.

Vychází čtvrtletně v českém/slovenském a anglickém jazyce v rozsahu 64 celobarevných stran nákladem 1200 výtisků.

Více informací na: www.ita-aites.cz



Česká tunelářská asociace ITA-AITES (CzTA)

je národním členem Mezinárodní tunelářské asociace ITA-AITES se sídlem v Lausanne, Švýcarsko.

CzTA sdružuje organizace, vysokoškolská a vědecká pracoviště, firmy i jednotlivce zainteresované v podzemním stavitelství v České republice.

CzTA vydává spolu se Slovenskou tunelářskou asociáciou čtvrtletně nákladem 1200 výtisků pro své členy a další zájemce časopis TUNEL, který od roku 1999 vychází v česko/slovenské a anglické jazykové mutaci.

CzTA pořádá v tříletých cyklech odborné konference s mezinárodní účastí pod názvem „Podzemní stavby Praha“.

CzTA organizuje vlastní pracovní skupiny, jejichž činnost je zaměřena na problematiku oboru aktuální v České republice.

Více informací na: www.ita-aites.cz



ASSOCIATION
INTERNATIONALE DES TUNNELS
ET DE L'ESPACE SOUTERRAIN
AITES

ITA
INTERNATIONAL TUNNELLING
AND UNDERGROUND
SPACE ASSOCIATION

INTERNATIONAL TUNNELLING ASSOCIATION ITA-AITES

Mezinárodní tunelářská asociace ITA-AITES byla založena v roce 1974 a má 53 národních a 281 přidružených členů.

Cílem asociace je podporovat využití podzemí k prospěchu veřejnosti, životního prostředí a udržitelného rozvoje.

Více informací na: www.ita-aites.org