

OBSAH

Úvod (František Klepsatel)	11
1 Historický vývoj podzemního stavitelství (František Klepsatel)	13
1.1 Starověk	13
1.2 Vývoj výstavby dopravních tunelů do konce druhé světové války	13
1.2.1 Plavební tunely	13
1.2.2 Železniční tunely	14
1.2.3 Silniční tunely	17
1.3 Vývoj technologických výstavby tunelů	17
1.3.1 Beztrhavinové ražení	17
1.3.2 Trhavinové ražení	18
1.3.3 Strojní ražení	19
1.3.4 Zajišťování výrubů	19
1.4 Vývoj výstavby dopravních tunelů po druhé světové válce	20
1.4.1 Silniční a dálniční tunely	20
1.4.2 Železniční tunely	24
1.5 Porovnání klasických a moderních metod výstavby tunelů	28
1.6 Perspektivy další výstavby	29
1.6.1 Transalpské projekty	29
1.6.2 Další významné projekty	29
2 Základní projekční prvky (František Klepsatel)	31
2.1 Příčný průřez	31
2.1.1 Příčný průřez železničních tunelů	31
2.1.2 Příčný průřez silničních a dálničních tunelů	32
2.2 Výškové řešení	34
2.2.1 Podélný sklon železničních tunelů	34
2.2.2 Podélný sklon silničních tunelů	35
2.3 Směrové řešení	35
2.3.1 Železniční tunely	35
2.3.2 Silniční tunely	35
3 Vliv geologických podmínek na realizaci výstavby (František Klepsatel)	36
3.1 Všeobecně	36
3.2 Průzkum pro výstavbu	36
3.2.1 Etapy průzkumu	36
3.2.1.1 Orientační průzkum	36
3.2.1.2 Předběžný průzkum	37
3.2.1.3 Podrobný průzkum	37
3.2.1.4 Doplňující průzkum	37
3.2.1.5 Geotechnické sledování a hodnocení zjištěných geologických podmínek v průběhu ražení	37
3.2.2 Předmět průzkumu	37
3.2.2.1 Průzkum hornin	38
3.2.2.2 Průzkum horninového masivu	38
3.2.3 Metody průzkumu	41
3.2.3.1 Studium archivních materiálů, odborné literatury a map	42
3.2.3.2 Inženýrsko-geologické a hydrogeologické mapování	43
3.2.3.3 Geofyzikální metody průzkumu	43
3.2.3.4 Vrtný průzkum	45
3.2.3.5 Průzkumné štolky a šachty	45
3.2.3.6 Laboratorní zkoušky	46
3.2.3.7 Terénní zkoušky	46
3.2.3.8 Závěry	47
3.3 Umístění tunelu v horninovém masivu	48
3.3.1 Generální řešení	48
3.3.2 Vliv hydrogeologických poměrů	50
3.3.3 Situování portálů tunelů	51
3.4 Napjatost v horninovém masivu	51

3.4.1 Primární stav napjatosti	51
3.4.2 Sekundární napjatost v masivu	52
3.5 Klasifikace horninových prostředí pro tunelování	53
3.5.1 Klasifikace podle Protodjakonova	53
3.5.2 Klasifikace podle indexu kvality hornin (RQD)	53
3.5.3 Klasifikace podle doby stability výrubu	53
3.5.4 Klasifikace podle Bieniawského	54
3.5.5 Klasifikace podle Norského geotechnického institutu (NGI)	54
3.5.6 Klasifikace podle Tesáře	54
3.5.7 Klasifikace podle ÖNORM B 2203	55
4 Konvenční metody výstavby (František Klepsatel)	56
4.1 Zásady konvenčních metod výstavby	56
4.1.1 Všeobecně	56
4.1.2 Fenner-Pacherovy křivky	58
4.1.3 Volba optimální organizace prací při ražení	60
4.2 Cyklické ražení tunelů	61
4.2.1 Pracovní postup a způsob zajišťování výrubů	61
4.2.1.1 Třída výrubu VII	66
4.2.2 Cyklogram prací	66
4.2.3 Vrtání vrtů pro nálož	67
4.2.3.1 Vrtací kladiva	68
4.2.3.2 Vrtací díla a vrtací korunky	69
4.2.3.3 Vrtací vozy	70
4.2.3.4 Vrtná schémata	72
4.2.3.5 Nadvýlomy při trhavinovém ražení	74
4.2.4 Trhavinový a rozněcovadla	75
4.2.4.1 Základní pojmy	75
4.2.4.2 Trhavinový k rozpojování hornin v podzemí	76
4.2.4.3 Rozněcovadla	80
4.2.5 Nakládání a odvoz rubaniny	82
4.2.5.1 Stroje k nakládání a odvozu rubaniny	82
4.2.5.2 Stroje k odvozu rubaniny	84
4.2.5.3 Organizace práce	84
4.2.6 Dočasné zabezpečení výrubu (primární ostění)	84
4.2.6.1 Požadavky na primární ostění	84
4.2.6.2 Stříkaný beton	85
4.2.6.3 Ocelové sítě a stříkaný vláknobeton	88
4.2.6.4 Ocelová obloková výstroj	89
4.2.6.5 Výstroj z kotev (svorníků)	91
4.3 Pomocná opatření při ražení tunelů v obtížných geologických podmínkách	93
4.3.1 Všeobecně	93
4.3.2 Předháněné pažení	93
4.3.2.1 Předháněné jehly a pažnice	93
4.3.2.2 Předháněné kotvy	94
4.3.3 Ochranné deštníky	94
4.3.3.1 Rourové deštníky	94
4.3.3.2 Deštníky vytvořené proudovou injektáží	95
4.3.3.3 Deštníky z velkopřůměrových rour	97
4.3.3.4 Opatření při ražení v silně konvergentních horninách	98
4.3.4 Zlepšování horninového prostředí pro ražení	99
4.3.4.1 Injektování horninového prostředí	99
4.3.4.2 Metody zmrazování	102
4.3.4.3 Závěry	105
4.4 Beztrhavinové cyklické ražení tunelů	106
4.4.1 Všeobecně	106
4.4.2 Hydraulická rýpadla	107
4.4.3 Bourací kladiva (impaktory)	107
4.4.4 Výložníkové frézy	108
4.4.5 Metoda obvodového vrubu	109
4.4.5.1 Ražení ve skalních horninách	110
4.4.5.2 Ražení v zeminách a poloskalních horninách	110
4.5 Náklady na výstavbu	111

5 Výstavba tunelů pomocí plnoprofilových razicích strojů (František Klepsatel)	113	7.5 Hydroizolační systémy tunelů	153
5.1 Základní pojmy a rozdělení	113	7.5.1 Otevřený systém hydroizolace	154
5.2 Výhody a nevýhody ražení tunelů pomocí TBM	114	7.5.2 Uzavřený systém hydroizolace	154
5.2.1 Výhody TBM ražení tunelů	114	7.5.3 Kazetová hydroizolace	155
5.2.2 Nevýhody TBM ražení tunelů	114	7.5.4 Závěry	155
5.3 Požadavky na průzkum pro nasazení TBM	116	8 Zásady statického řešení tunelových ostění (Libor Mařík)	157
5.3.1 Vlastnosti horniny	116	8.1 Všeobecně	157
5.3.1.1 Mechanické vlastnosti horniny	116	8.2 Kritéria určující metodiku výpočtu tunelových ostění	158
5.3.1.2 Obrusnost (abrazivita)	117	8.3 Všeobecné zásady statického řešení	158
5.3.2 Podmínky pro TBM ražení v horninovém masivu	118	8.3.1 Zařazení konstrukce do geotechnické kategorie	158
5.3.3 Klasifikace horninových prostředí pro ražení pomocí TBM	119	8.3.2 Základní funkce tunelových ostění	159
5.4 Konstrukční uspořádání razicích strojů	120	8.3.3 Zásady navrhování a dimenzování ostění	159
5.4.1 Volba typu razicího stroje	120	8.4 Zatížení působící na tunelová ostění	160
5.4.2 Razicí stroje bez pláště (otevřené TBM)	121	8.4.1 Zatížení horninovým tlakem	161
5.4.3 Razicí stroje s rozšiřováním výrubu	122	8.4.1.1 Teorie Protodjakonova	161
5.4.4 Razicí stroje s jednoduchým (štitovým) pláštěm	122	8.4.1.2 Teorie Bierbaumera	162
5.4.5 Razicí stroje s dvojitým (teleskopickým) pláštěm	123	8.4.1.3 Stanovení horninového tlaku metodami matematického modelování	162
5.5 Rozpojování hornin při TBM ražení	124	8.4.2 Zatížení tlakem podzemní vody	163
5.5.1 Vrtací hlava	124	8.4.3 Zatížení teplotními vlivy	163
5.5.2 Valivá dláta	126	8.4.4 Zatížení konstrukcí železničních tunelů účinky pístového efektu vlakových souprav	164
5.6 Odtěžení rubaniny z čelby	128	8.5 Výpočetní modely	165
5.7 Nasazení TBM ve složitých geologických podmínkách	128	8.5.1 Výpočet tunelového ostění polygonální metodou	166
5.7.1 Všeobecně	128	8.5.2 Výpočet tunelového ostění metodou konečných prvků (MKP)	167
5.7.2 Stabilita čela výrubu	129	8.6 Metodika výpočtu primárního a sekundárního ostění	168
5.7.3 Konvergence výrubu	129	8.6.1 Statický výpočet primárního ostění – obecně	168
5.7.4 Ražení v tlačivých horninách s krátkodobou stabilitou výrubu	130	8.6.2 Redukce prostorového modelu na rovinný model	169
5.7.5 Tlak rozpěrných desek na líc výrubu	131	8.6.2.1 Metoda změkčení jádra	169
5.7.6 Ražení tunelů pod vysokým nadložím	131	8.6.2.2 Metoda podpůrných napětí	169
5.8 Organizace práce, výkony a náklady	132	8.6.3 Příklad fáze výpočtu primárního ostění při ražbě s horizontálním členěním výrubu	171
5.8.1 Organizace práce a výkony	132	8.6.4 Časově závislé parametry stříkaného betonu	172
5.8.2 Náklady na TBM ražení	134	8.6.5 Statický výpočet sekundárního ostění	173
5.8.2.1 Primární náklady	135	8.7 Posouzení vlivu ražby na povrch území	174
5.8.2.2 Provozní náklady	135	8.7.1 Výpočet sedání tunelového nadloží dle Limanova	175
5.8.3 Porovnání nákladů na konvenční ražení, resp. pomocí TBM	136	8.7.2 Výpočet deformací nadloží pomocí matematického modelování	177
5.9 Rizika spojená s nasazením TBM	136	8.8 Závěr	177
5.9.1 Rizika při nasazení nových TBM	136	9 Vnitřní vybavení dopravních tunelů (František Klepsatel)	178
5.9.2 Rizika při nasazení repasovaných TBM	137	9.1 Všeobecně	178
5.9.3 Rizika havárie při TBM ražení	137	9.2 Železniční tunely	178
6 Geotechnický monitoring (František Klepsatel)	139	9.2.1 Železniční svršek v tunelu	178
6.1 Všeobecně	139	9.2.2 Elektrické vybavení tunelů	179
6.2 Metody geotechnického monitoringu	139	9.2.3 Větrání tunelů	180
6.2.1 Geotechnická dokumentace čelby	140	9.2.4 Odvodnění tunelu	180
6.2.2 Měření konverzí výrubu	140	9.2.5 Služební chodník a záchranné výklenky	182
6.2.3 Měření sedání povrchu	142	9.2.6 Požární vodovod	183
6.2.4 Měření deformací horninového prostředí	142	9.2.7 Bezpečnostní opatření a zařízení	183
6.2.5 Měření kontaktních napětí a napjatosti v ostění tunelu	144	9.2.8 Závěry	185
6.2.6 Monitoring podzemních vod	145	9.3 Silniční tunely	185
6.2.7 Využití výsledků geotechnického monitoringu	145	9.3.1 Bezpečnostní stavební úpravy	185
6.3 Geotechnický monitoring při strojním ražení (TBM)	145	9.3.2 Technické vybavení tunelu	187
6.4 Monitoring po ukončení stavby	146	9.3.3 Dopravní systém v tunelu	188
7 Sekundární ostění tunelů (František Klepsatel)	147	9.3.3.1 Řízení dopravy v tunelu	188
7.1 Funkce ostění	147	9.3.3.2 Registrace vozidel	189
7.2 Konstrukční uspořádání	148	9.3.3.3 Identifikace nehody v tunelu	189
7.2.1 Ostění cyklicky ražených tunelů	148	9.3.4 Osvětlení tunelů	189
7.2.2 Ostění tunelů ražených pomocí TBM	149	9.3.4.1 Cíle a požadavky	189
7.3 Kvalitativní požadavky	149	9.3.4.2 Náhradní osvětlení	190
7.4 Zřizování sekundárního ostění	150	9.3.4.3 Nouzové osvětlení	191
7.4.1 Přípravné práce	150	9.3.4.4 Požadavky na svítidla	191
7.4.2 Podklad pod hydroizolaci	150	9.3.5 Větrání tunelů	191
7.4.3 Hydroizolační plášť	151	9.3.5.1 Požadavky na větrání za provozu tunelu	191
7.4.4 Postup při betonáži sekundárního ostění	151	9.3.5.2 Požadavky na větrání při požáru v tunelu	193

9.3.5.3	Rozptýlení imisních škodlivin z tunelů	194	10.3	Zadávání tunelových staveb	201
9.3.5.4	Větrací systémy	194	10.3.1	Výběr dodavatele (zhotovitele)	202
9.3.5.5	Řízení ventilace	195	10.3.2	Řešení sporů v průběhu výstavby	204
9.3.6	Spojovací a dorozumívací zařízení	195	10.4	Zařízení staveniště	204
9.3.6.1	Rádiové spojení	195	10.4.1	Výrobní část	204
9.3.6.2	Ozvučovací zařízení	196	10.4.2	Kancelářské a jiné pracovní prostory	205
9.3.7	Požární zabezpečení	196	10.4.3	Prostory pro manuální pracovníky	205
9.3.7.1	Hlásiče požáru	196	10.5	Organizace prací při výstavbě	205
9.3.7.2	Hasicí zařízení	196	10.5.1	Cyklické ražení podle zásad NRTM	206
9.3.8	Systém videodohledu	196	10.5.2	Kontinuální ražení pomocí TBM	206
9.3.9	Zásobování elektrickou energií	197	10.5.3	Odvodnění tunelů v průběhu výstavby	207
9.3.9.1	Všeobecné zásady	197	10.5.4	Větrání tunelů v průběhu výstavby	207
9.3.9.2	Ochrana proti bludným proudům	197	10.5.4.1	Snižování produkce škodlivin	207
9.4	Závěry	197	10.5.4.2	Snižování koncentrace škodlivin a prachu v ovzduší	208
10 Organizace výstavby tunelů			10.5.4.3	Větrací systémy	208
(František Klepsatel a Pavol Kusý)			10.6	Dozor na stavbě	209
10.1	Příprava výstavby	198	10.6.1	Orgány stavebního dozoru	209
10.1.1	Všeobecně	198	10.6.2	Geotechnický dozor	209
10.1.2	Plánování výstavby	198	10.6.3	Kontrola kvality	210
10.1.3	Komunikace s odbornou a laickou veřejností	199	10.6.4	Závěr	210
10.2	Projektování tunelových staveb	200	Literatura		
10.2.1	Legislativa	200	211		
10.2.2	Stupně projektové dokumentace	201			