

PRŮZKUMNÉ PRÁCE V TRASE PROJEKTOVANÉHO TUNELU DĚTŘICHOV

EXPLORATORY OPERATIONS ALONG THE DĚTŘICHOV TUNNEL ROUTE UNDER DESIGN

PETR MAZÁČ, PAVEL KLÍMA, PETRA JAKUBOVÁ

ABSTRAKT

Článek přibližuje problematiku průzkumu pro vedení tunelu Dětrichov přes Hřebečský hřbet, tvořený chemicky zvětralými permjskými horninami a třemi křídovými souvrstvími s výskytem uhelných vrstev i specifickým kostičkovým rozpadem slínovců jizerského souvrství. V článku jsou popsány základní projektované parametry tunelu Dětrichov, stručně charakterizována jednotlivá zastížená souvrství a objasněna potřeba geotechnického rozdělení tunelu na třináct kvazihomogenních celků a šestnáct dílčích úseků. V některých částech se článek zabývá také geotechnickými vlastnostmi hornin a celého horninového masivu, včetně hydrogeologické problematiky. Pro ni mají velký význam hlavně úložné poměry sedimentů, charakter puklinové sítě, a především pak přítomnost zlomových struktur. Poznatky vycházejí z doplňujícího průzkumu, který pro projektovaný tunel Dětrichov realizovala společnost SG Geotechnika a.s. v letech 2021 až 2023.

ABSTRACT

The paper presents the problems of exploration for the Dětrichov tunnel through the Hřebeč ridge, formed by chemically weathered Permian rock and three Cretaceous formations with the occurrence of coal seams and specific cubic disintegration of the Iser River formation marlite. The paper describes the basic design parameters of the Dětrichov tunnel, briefly characterises the individual formations encountered and explains the need for geotechnical division of the tunnel into thirteen quasi-homogeneous units and sixteen sub-sections. In parts, the paper also deals with the geotechnical properties of rock types and the whole rock massif, including hydrogeological issues. The mode of sediment deposition conditions, the nature of the joint network, and especially the presence of fault structures are of great importance. The findings are based on a supplementary survey carried out by SG Geotechnika a.s. for the Dětrichov tunnel under design between 2021 and 2023.

1. ÚVOD

Dálnice D35 bude po svém dokončení tvořit severní spojení Čech a Moravy a poskytne (spolu s dálnicí D11) alternativu k dálnici D1, v současnosti přetížen. Jedním z úseků D35 je také projektovaný úsek Opatovec – Staré Město s tunelem Dětrichov. Tunel klesá z 514 m n. m. směrem na východ do 439 m n. m. s nejvyšší výškou nadloží 173 m v oblasti komplexu lesních porostů Mladějovského vrchu (647 m n. m.), který je součástí tzv. Hřebečského hřbetu. Jedná se morfologicky o kuestu (asymetrický vrchol hory nebo hřebenu, tvořeného mírně ukloněnými vrstvami odolných hornin), se strmým svahem obráceným k východu a v týlové části kuesty s mírně ukloněným svahem orientovaným k západu. V čele kuesty vystupují křídové sedimenty turonu a cenomanu, na jejím úpatí pak sedimenty permu orlické pánve. Týlová část kuesty přesně kopíruje úklon křídových vrstev.

Jedná se o dálniční tunel o délce 3987,5 m obsahující dvě tunelové trouby, každou o šířce vozovky 8 m se směrově rozděleným provozem. Kategorie tunelu dle ČSN 73 7507, čl. 4.2.5, příp. TP98 kap. 2 je TA a návrhová kategorie dálnice D26,0/130 (ve smyslu ČSN 73 6101, Tabulka 4). Metoda výstavby tunelu je kombinovaná. Skládá se z úseku raženého, prováděného konvenční cyklickou ražbou Novou rakouskou tunelovací metodou (NRTM), a navazujících hloubených portálových částí.

Ražená část tunelu bude realizována dle zásad NRTM ve složitých geologických a geotechnických podmínkách (tektonické poruchy, nízké nadloží v připořálových oblastech, přítomnost málo únosných hornin). Hloubené úseky tunelu, o celkové délce cca 250 m, navazují z obou stran na raženou část tunelu a končí vyústěním do Pardubického portálu (s přílehlým hloubeným úsekem

1. INTRODUCTION

When completed, the D35 motorway will form the northern link between Bohemia and Moravia and will provide (together with the D11 motorway) an alternative to the D1 motorway, which is currently congested. One of the D35 sections is also the planned Opatovec – Staré Město section containing the Dětrichov tunnel. The tunnel descends from 514m a.s.l. towards the east to 439m a.s.l. with the greatest overburden height of 173m in the area of the Mladějovský Hill forest complex (647m a.s.l.), which is part of the so-called Hřebeč ridge. It is morphologically a cuesta (asymmetrical mountain peak or ridge formed by slightly inclined layers of resistant rock), with a steep slope facing east and a slightly inclined slope in the rear part of the west-facing cuesta.

At the head of the cuesta there are the Cretaceous sediments of the Turonian and Cenomanian periods, and at its foot, the Permian sediments of the Adler River Basin. The tail part of the cuesta exactly follows the dip of the Cretaceous strata.

The tunnel is a 3987.5m long motorway structure containing two tunnel tubes, each 8m wide, with directionally divided traffic. The tunnel category according to ČSN 73 7507 standard, Article 4.2.5, or Technical Specifications TP98, Chapter 2, is the TA and the design category of the motorway is D26.0/130 (according to ČSN 73 6101, Table 4). The tunnel construction method is combined. It consists of a mined section, carried out by conventional cyclic system using the New Austrian Tunnelling Method (NATM), and subsequent cut-and-cover portal sections.

The mined part of the tunnel will be constructed according to the NATM principles in complex geological and geotechnical conditions (tectonic faults, low overburden in the near-portal areas, presence of low bearing capacity rock types). The cut-and-cover sections of

délky 162,5 m HT2), resp. do olomouckého portálu (s hloubeným úsekem délky 87,5 m HT16).

Tunel Dětrichov je projektován na patkách, s otevřeným (deštníkovým) hydroizolačním systémem a podélnou drenáží. Tunel je v převážné délce navržen podkovovitě tvaru, tzn. bez spodní klenby; spodní klenba je navržena pouze v silně zvětralých nebo tektonicky porušených oblastech.

Ražba tunelů je navržena od obou portálů. Protože ražba na olomouckém portálu bude prováděna proti směru staničení, je zavedeno pojmenování „severní“ a „jižní“ tunelová trouba.

2. PROJEKTOVANÉ PARAMETRY TUNELU

2.1 Ražená část

Výška průjezdního profilu je navržena 4,80 m (dle ČSN 73 7507, kap. 8.2.2), světlá podjezdná výška v tunelu min. 4,95 m. V převážné délce tunelu je příčný profil výrubu podkovovitý a v kritických oblastech s protiklenbou (např. ve zvětralých a tektonicky porušených oblastech). Světlá plocha typického průřezu výrubu TT je cca cca 93 m².

U tunelů je navrženo dvouplášťové ostění (primární a sekundární), s mezilehlou foliovou izolací (deštníkový systém). Primární ostění bude standardně prováděno ze stříkaného betonu vyztuženého ocelovými svařovanými sítěmi a příhradovými oblouky z betonářské výztuže a systémovým kotvením horninovými svorníky. Zajištění kaloty v TTV 5b je doplněno o rozšířené paty opěří kaloty a deštníky z IBO svorníků (v portálové variantě označované jako TTV 5b-P s mikropilotovým deštníkem). TTV 5a a TTV 5b je navíc řešena ve variantě s protiklenbou (označena jako TTV 5a-O, resp. TTV 5b-O).

Sekundární ostění je navrženo z monolitického železobetonu (eventuálně může být provedeno z prostého betonu, pokud se prokáže dostatečná únosnost ve skutečně zastíženém geologickém prostředí). Ostění bude betonováno do ocelového posuvného bednění (bednicího vozu) po jednotlivých blocích. Každý blok bude betonován ve dvou krocích, nejprve základové patky (eventuálně spodní klenba) a až poté vlastní klenba tunelu.

2.2 Hloubené části

Vnitřní líc ostění hloubených úseků plynule navazuje na raženou část tunelu. Ostění je železobetonové (ŽB) monolitické, podkovovitě tvaru, v obou úsecích uložené na základových pasech. Předpokládá se betonáž s využitím posuvného ocelového bednění (bednicího vozu) po jednotlivých blocích. Betonáž probíhá ve dvou krocích, nejprve se vybetonují průběžné základové patky a až poté vlastní klenba tunelu.

Tloušťka ostění ve vrcholu klenby je 600 mm a směrem k základovým patkám se postupně rozšiřuje. Základové patky jsou vysoké 700 mm.

Vodonepropustnost hloubených úseků je primárně zajištěna hydroizolační fólií uloženou na vnějším líci tunelového ostění. Mimo to jsou příčné spáry mezi ŽB bloky těsněny vnitřními spárovými pásy instalovanými do styčných ploch, přibližně 300 mm od vnitřního líce ostění [4].

2.3 Tunelové propojky

V SO 09-601 Tunel Dětrichov jsou navrženy tři typy propojek. Jedná se o tunelové propojky pro pěší (9 ks), tunelové propojky průjezdné (4 ks) a tunelové propojky technologické (2 ks).

Průchozí prostor tunelové propojky pro pěší je široký min. 2,0 m s výškou min. 2,4 m. Tunelová propojka průjezdná je min. 6,0 m široká s vyznačenými nouzovými pruhy po obou stranách min. šířky 0,75 m. Technologické tunelové propojky jsou navrženy ve stejném profilu jako ty průjezdné [4].

the tunnel, with a total length of approx. 250m, connect on both sides to the mined part of the tunnel and end at the Pardubice portal with an adjacent 162.5m long cut-and-cover section (HT2), or at the Olomouc portal with an 87.5m long cut-and-cover section (HT16).

The Dětrichov tunnel is designed to be founded on footings, with an open (umbrella) waterproofing system and longitudinal drainage. The horseshoe shape is designed for the majority of the tunnel length, i.e. without an invert; the invert is designed only in heavily weathered or tectonically faulted areas.

Tunnelling is proposed to proceed from both portals. Since the excavation at the Olomouc portal will proceed against the direction of the chainage, the names „north“ and „south“ tunnel tubes are introduced.

2. TUNNEL DESIGN PARAMETERS

2.1 Mined part

The clearance profile is designed to be 4.80m high (according to ČSN 73 7507, ch. 8.2.2), the vertical clearance in the tunnel is at least 4.95m high. In majority of the tunnel length, the cross-section of the excavation is horseshoe-shaped and in critical areas with an invert (e.g. in weathered and tectonically faulted areas). The clearance area of a typical TT excavation cross-section is approximately 93m².

The tunnels are designed with double-shell lining (primary and secondary liners), with intermediate waterproofing membrane (an umbrella system). The primary lining will be carried out in a standard way using shotcrete reinforced with welded steel mesh and lattice girders made from concrete reinforcement and an anchoring system with rock bolts. The top heading support in the TTV 5b rock mass class is supplemented by the extended width of the bench abutment and umbrellas made using IBO rockbolts (in the portal variant referred to as TTV 5b-P with the micropile umbrella). In the TTV 5a and TTV 5b classes it is in addition solved in a variant with an invert (marked as TTV 5a-O, resp. TTV 5b-O).

The monolithic reinforced concrete is proposed for the secondary lining (it can be made of plain concrete if sufficient load-bearing capacity is proven in the actually encountered geological environment). The lining will be concreted using steel sliding formwork (formwork traveller) in individual concrete blocks. Each block will be concreted in two steps, first the footings (possibly the invert) and then the tunnel vault itself.

2.2 Cut-and-cover parts

The inner face of the lining of the cut-and-cover sections is smoothly connected to the mined part of the tunnel. The horseshoe-shaped lining is made of monolithic reinforced concrete (RC), in both sections placed on strip footings. Sliding formwork (formwork traveller) is planned for individual blocks. The concreting is carried out in two steps, first the continuous footings are concreted and then the tunnel vault itself.

The lining at the top of the vault is 600mm thick and thickness gradually increases towards the footings. The footings are 700mm high.

The waterproofing capacity of the cut-and-cover sections is primarily ensured by a waterproofing membrane installed on the outer face of the tunnel lining. In addition, the transverse joints between the reinforced concrete blocks are sealed with internal waterstops installed on the contact surfaces, approximately 300mm from the inner face of the lining [4].

2.4 Nouzové zálivy

V tunelu Dětrichov jsou navrženy nouzové zálivy splňující požadavky ČSN 73 7507. Jsou vždy řešeny v rámci pěti 12,5 m dlouhých betonážních bloků sekundárního ostění s tím, že vždy ve třetím betonážním bloku je umístěn vstup do průjezdné tunelové propojky [4].

3. VYMEZENÍ GEOTYPŮ V TRASE TUNELU

V rámci podrobného geotechnického průzkumu bylo provedeno 22 ks jádrových vrtů do hloubky 40 až 185 m. U olomouckého portálu byly realizovány čtyři nové inklinometrické a dva vsakovací vrty. Hydrogeologických vrtů s odizolovanými kolektory vod bylo vystrojeno celkem 16 ks o hloubce 30 až 140 m s výstrojí o průměru 125 mm. Ve vybraných inženýrskogeologických vrtech byl proveden soubor karotážních měření a v hydrogeologických vrtech byly realizovány hydrodynamické zkoušky. Doplňkovou informací tvořilo 10 ks příčných a jeden podélný geofyzikální profil.

Tímto průzkumem bylo potvrzeno, že trasa tunelu povede sedimentárními horninami permu a svrchní křídý překrytými směrem do nadloží mladšími kvartérními uloženinami.

Vymezení jednotlivých geotechnických typů je převzaté z výsledků podrobného geotechnického průzkumu [3] a respektuje systém názvosloví ČSN 73 6133, ale v zásadě se opírá o stratigrafické a genetické hledisko. Prvotní rozdělení stratigrafické vymezuje skupinu kvartérních zemin, křídových a permských hornin

2.3 Tunnel cross passages

Three types of cross passages are designed for the SO 09-601 Dětrichov tunnel. There will be pedestrian cross passages there, vehicular cross passages and service cross passages.

The minimum space of a cross passage passable for pedestrians is 2.0m wide and 2.4m high. The tunnel cross passage for vehicles is 6.0m wide as a minimum, with emergency lanes marked on both sides. The service cross passage profile design is identical with that of the vehicular ones.

2.4 Emergency lay-bys

Emergency lay-bys meeting requirements of the ČSN 73 7507 standard are proposed for the Dětrichov tunnel. They are always designed within the framework of five 12.5m long concreting blocks of the secondary lining, with the entrance to the vehicular cross passage placed in the third concreting block.

3. DEFINITION OF GEOTYPES ON THE TUNNEL ROUTE

As part of the detailed geotechnical survey, 22 cored boreholes were drilled to a depth of 40 to 185m. Four new inclinometer boreholes and two absorbing holes were drilled at the Olomouc portal. A total of 16 boreholes with isolated aquifers were drilled down to the depth of 30 to 140m, with a 125mm-diameter casing. A set of logging measurements was performed in selected engineering geological boreholes and hydrodynamic tests were carried

Tab. 1 Rozdělení zastížených souvrství v návaznosti na geotechnické typy

Souvrství	Stratigrafické zařazení	Litologická charakteristika	Geneze	Symbol geotypu	Zařazení geotypu dle tříd (x)
Jizerské	křída – střední turon	<ul style="list-style-type: none"> vápnité glaukonitické pískovce a vápnité prachovce na bázi tmavě-šedé, kostkově rozpadavé slínovce (mocnost vrstvy 30–40 m) 	marinní/ lagunární sedimenty	Kj	5.x(p, s) 6.x(j)
Bělohorské	křída – spodní – střední turon	<ul style="list-style-type: none"> jílovec/prachovec – spongilitický slínovec/prachovec – vápnitý pískovec (mocnost vrstvy 60–70 m) 	marinní/ lagunární sedimenty	Kb	5.x(p, s)
Korycanské	křída – cenoman	<ul style="list-style-type: none"> glaukonitické jílovitoprachovité pískovce (středně až hrubozrné) (mocnost 5–10 m) na bázi jemnozrné křemenné pískovce (mocnost 1–5 m) 	mělkomořské prostředí	Kp	7.x(p)
Perucké	křída – cenoman	<ul style="list-style-type: none"> pisčitojílovité sedimenty polohy uhelných slojek 	lagunární/ estuáriové prostředí	Kp	5.x(s) 6.x(j)
Permské uložení	perm – saxonské stáří	<ul style="list-style-type: none"> pod bázi křídý arkózoové pískovce odbarvené do běla až bělošeda (důsledek kaolinického zvětrávání) červenohnědé, středně-hrubozrné pískovce 	suchozemské marinní sedimenty	Ps Pc	7.x 7.x

Poznámka: x = 1 (eluvium; tř. R6 dle ČSN 73 6133); x = 2: tř. R5; x = 3: tř. R4; x = 4: tř. R3; x = 5: tř. R2; symbol za třídou = p – pískovce; s – prachovce; j – jílovec, slínovec

Table 1 Distribution of encountered strata in relation to geotechnical types

Formation	Stratigraphical classification	Lithological characteristics	Genesis	Geotype Symbol	Geotype classification (x)
Iser	Cretaceous – Middle Turonian	<ul style="list-style-type: none"> calcareous glauconitic sandstone and calcareous siltstone on dark grey base, cubically breaking marlite (30–40m thick strata) 	marina/ lagoonal sediments	Kj	5.x(p, s) 6.x(j)
Bílá Hora	Cretaceous – Lower – Middle Turonian	<ul style="list-style-type: none"> claystone/siltstone – spongolitic marlite/siltstone – calcareous sandstone (60–70m thick strata) 	marina/ lagoonal sediments	Kb	5.x(p, s)
Korycany	Cretaceous – Cenomanian	<ul style="list-style-type: none"> glauconitic clayey-silty sandstone (medium to coarse grained) (5–10m thick) on finely grained quartzose sandstone base (1–5m thick) 	shallow sea environment	Kp	7.x(p)
Peruc	Cretaceous – Cenomanian	<ul style="list-style-type: none"> sandy clayey sediments coal interbeds 	lagoonal/estuarine environment	Kp	5.x(s) 6.x(j)
Permian deposits	Permian – Saxon age	<ul style="list-style-type: none"> arcose sandstone decoloured to white to white-grey under Cretaceous base (consequence of kaolinic weathering) reddish brown, medium-coarse grained sandstone 	terrestrial marina sediments	Ps Pc	7.x 7.x

Note: x = 1 (eluvium; class R6 according to ČSN 73 6133); x = 2: class R5; x = 3: class R4; x = 4: class R3; x = 5: class R2; symbol behind class = p – sandstone; s – siltstone; j – claystone, marlite

(viz symbol geotypu v tab. 1). Podrobnější rozčlenění do geotechnických podtypů se pak opírá i o fyzikálně-mechanické vlastnosti zemin a hornin. U zemin se jedná především o zrnitost a u hornin pak o litologii, genezi (5.X – jemnozrnné pískovce a prachovce; 6.X – slínovce a jílovce; 7.X – středně až hrubozrnné pískovce) a pevnost horniny (X.1 až X.5, odpovídá tř. R6 až R2).

Skalní podloží zájmové oblasti je křídového a permského stáří. Jednotlivá souvrství jsou popsána v tab. 1, a to ve sledu od nejmladších (vrchních) vrstev po nejstarší (spodní) vrstvy. Souvrství vykazují mírný sklon k západu.

4. ROZDĚLENÍ TRASY DO KVAZIHOMOGENNÍCH CELKŮ

Celá trasa tunelu Dětrichov byla v rámci zpracování doplňujícího geotechnického průzkumu rozčleněna na základě získaných poznatků do zcela nových třinácti kvazihomogenních celků, viz tab. 2. Jedenáct z nich spadá do ražené části tunelu (členění dle podrobného průzkumu na úseky označené RT3 až RT15) a dva náleží hloubeným úsekům tunelu (označeny HT2 a HT16).

Každý kvazihomogenní celek zahrnuje jeden až dva úseky (RT) z podrobného průzkumu, přičemž hranice úseků buď odpovídají podrobnému průzkumu, nebo jsou mírně posunuté (obr. 1). Pouze samotný úsek RT6 byl rozdělen na dvě části kvůli začlenění celku KHC-4 mezi dvě části celku KHC-3.

Z tab. 2 vyplývá, že dle indexu RMR je horninový masiv hodnocen v celé délce jako uspokojivý (III. třída klasifikace podle Bieniawského, 1989).

Horniny třídy IV. (slabé horniny, index RMR 32 až 40) se vyskytují v kvazihomogenních celcích KHC-7, KHC-8 a KHC-11. Jedná se o horniny peruckých vrstev (geotyp Kp6j), kaoliniticky zvětralou svrchní část permu pod uhelnými peruckými vrstevy (Ps7.0) a zvětralé horniny permských pískovců tř. R5, dle ČSN 73 6133 (Ps7.2 a Pc7.2).

Nejllepší kvalitu hornin dle indexu RMR vykazují křídové horniny

out in hydrogeological boreholes. Additional information consisted of 10 transverse profiles and one longitudinal geophysical profile.

This survey confirmed that the tunnel route will run through sedimentary rock types of the Permian and Upper Cretaceous periods, overlain by younger Quaternary deposits towards the overburden.

The definition of the individual geotechnical types is taken over from the results of a detailed geotechnical survey [3] and respects the nomenclature system of the ČSN 73 6133 standard, but is essentially based on stratigraphic and genetic aspects. The primary stratigraphic division defines a group of Quaternary soils, Cretaceous and Permian rock types (see the geotype symbol in Table 1). A more detailed division into geotechnical subtypes is also based on the physical-mechanical properties of soils and rock types. For soils it is mainly the grain size, and for rock types it is the character (5.X – fine-grained sandstone and siltstone; 6.X – marlite and claystone; 7.X – medium- to coarse-grained sandstone) and the strength of the rock (X.1 to X.5, corresponding to classes R6 to R2).

The bedrock of the area of interest is from Cretaceous and Permian period. The individual formations are described in the following Table 1, in the sequence running from the youngest (upper) formations to the oldest (lower) formations. The formations show a slight westward dip.

4. DIVISION OF THE ROUTE INTO QUASI-HOMOGENEOUS UNITS

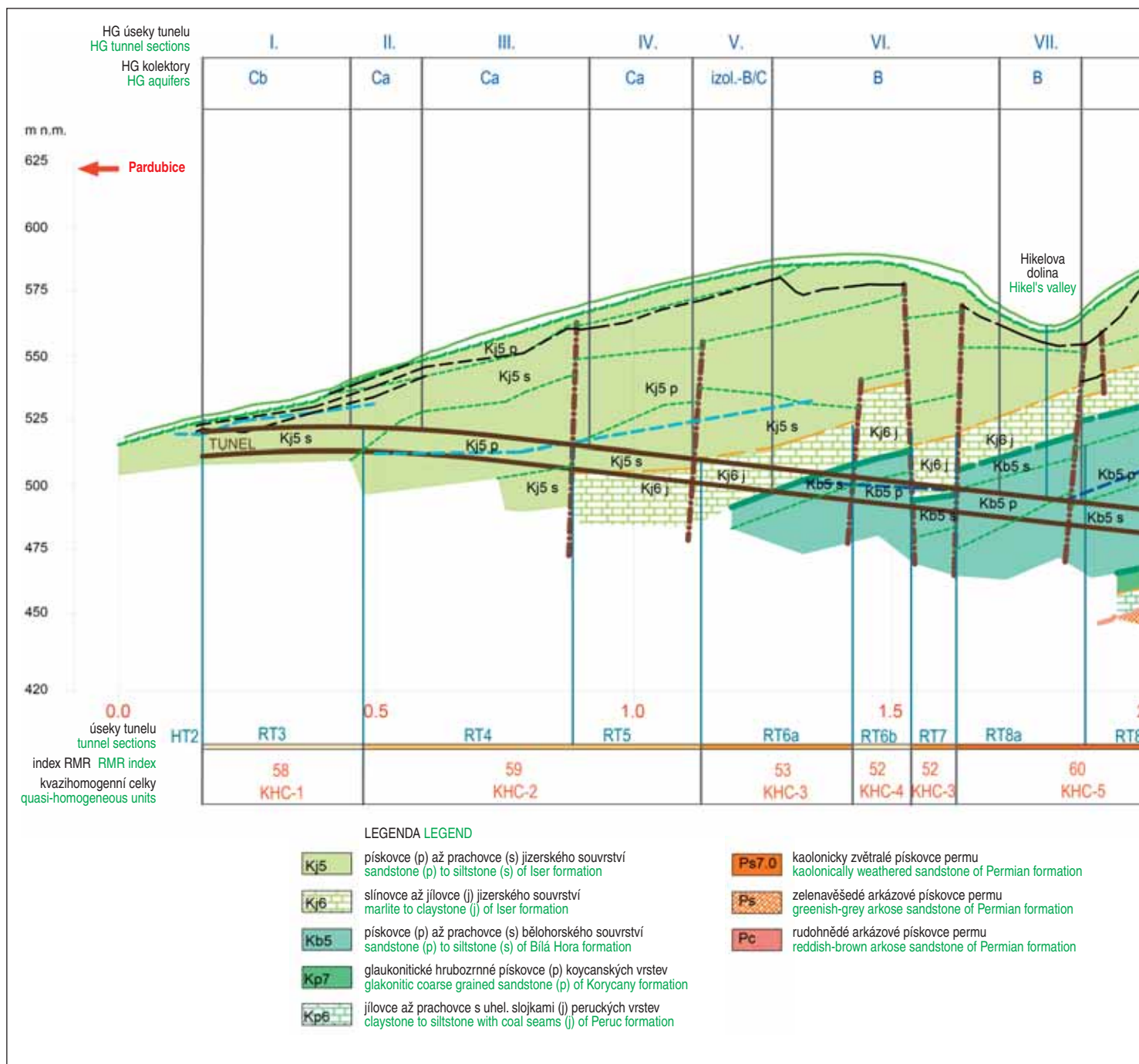
The whole route of the Dětrichov tunnel was divided into thirteen new quasi-homogeneous units based on the obtained knowledge, see Table 2. Eleven of them belong to the mined part of the tunnel (subdivided according to the detailed survey into sections marked RT3 to RT15) and two of them belong to the cut-and-cover sections of the tunnel (marked HT2 and HT16).

Each quasi-homogeneous unit includes one or two sections

Tab. 2 Rozdělení tunelových trub do kvazihomogenních celků podle výsledků geotechnického průzkumu

Table 2 Division of tunnel tubes into quasi-homogeneous units according to the results of the geotechnical survey

Kvazihomogenní celek Quasi-homogeneous unit	Index RMR RMR index (Bieniawski, 1989) (Bieniawski, 1989)	Označení úseku Section marking	STT NTT		JTT STT	
			Délka úseku Section length	Staničení TT Chainage TT	Délka úseku Section length	Staničení TT Chainage TT
			[m]	[m]	[m]	[m]
HT2	–	HT2	162	0–162	162	0–162
KHC-1	58	RT3	312	162–474	300	162–462
KHC-2	59	RT4 RT	406	474–881	400	462–862
		RT5	249	881–1130	226	862–1089
KHC-3	53	RT6a	294	1130–1424	311	1089–1400
KHC-4	52	RT6b	113	1424–1537	142	1400–1542
KHC-3	52	RT7	87	1537–1625	70	1542–1612
KHC-5	60	RT8a	250	1625–1875	262	1612–1875
		RT8b	236	1875–2111	229	1875–2104
		RT9	94	2111–2205	85	2104–2189
KHC-6	53	RT10a	172	2205–2378	162	2189–2352
KHC-7	42	RT10b	201	2378–2579	208	2352–2560
KHC-8	47	RT11	170	2579–2749	189	2560–2749
KHC-9	48	RT12	217	2749–2965	213	2749–2962
KHC-10	51	RT13	308	2965–3274	312	2962–3275
		RT14	459	3274–3733	482	3275–3757
KHC-11	44	RT15	166	3733–3900	143	3757–3900
HT16	–	HT16	87	3900–3987	87	3900–3987



Obr. 1 Podélný geologický řez tunelem Dětrichov s vyznačením geotechnických úseků trasy, kvazi-homogenních celků a hydrogeologických úseků ražené části
Fig. 1 Longitudinal geological section through the Dětrichov tunnel with geotechnical sections of the route, quasi-homogeneous units and hydrogeological sections of the mined part marked in it

v úsecích RT5 (KHC-2; prachovce v jizerském souvrství), RT8b a RT9 (KHC-5; prachovce v bělohorském souvrství), kde jsou horniny hodnoceny jako dobré (II. třída, index RMR 61 až 63).

5. VLASTNOSTI HORNIN A HORNINOVÉHO MASIVU

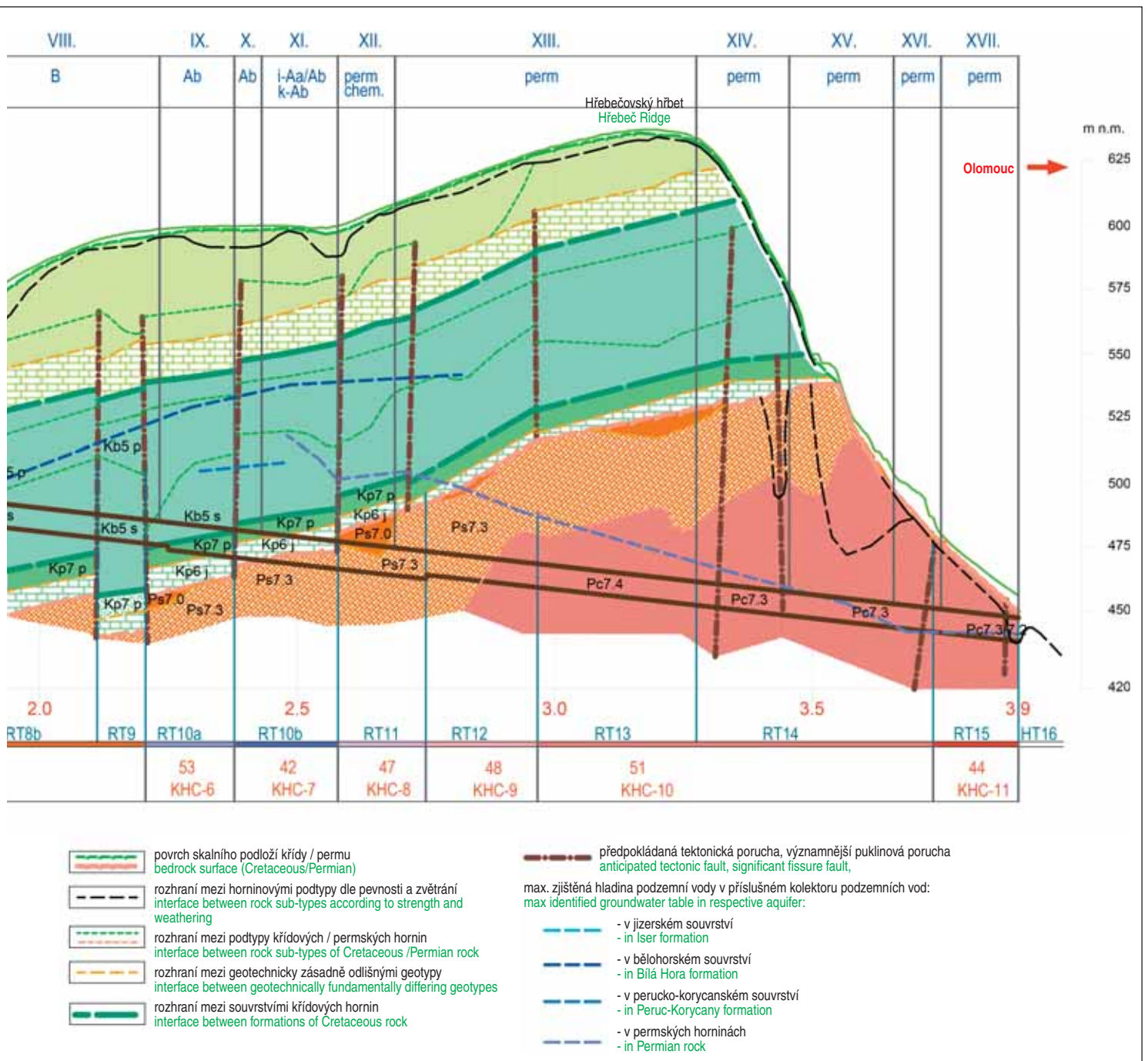
5.1. Rozpojitelnost horninového masivu při ražbě a abrazivnost masivu

Z hlediska rozpojitelnosti hornin bude nejnáročnější část ražby probíhat v křídových prachovcích a pískovcích jizerského a bělohorského souvrství tř. R2 (dle ČSN 73 6133), kterými trasa tunelu prochází ve své západní části přibližně na dvou kilometrech. U těchto hornin se průměrná pevnost v prostém tlaku pohybuje okolo 72 MPa, což je řadí dle ČSN 73 6133 do:

(RTs) from the detailed survey, with section boundaries either corresponding to the detailed survey or slightly offset (see Fig. 1). Only the RT6 section itself has been split into two parts due to the inclusion of the KHC-4 unit between two parts of the KHC-3 unit.

It follows from Table 2 that according to the RMR index, the rock massif is rated as satisfactory throughout its length (Class III according to Bieniawski, 1989).

Class IV rock types (weak rock, RMR index 32 to 40) occur in quasi-homogeneous units KHC-7, KHC-8 and KHC-11. These are the rock types of the Peruc strata (geotype Kp6j), the kaolinic weathered upper part of the Permian formation beneath the coal-bearing Peruc strata (Ps7.0), and the weathered rock types of the Permian sandstone of the class R5, according to ČSN 73 6133 standard (Ps7.2 and Pc7.2).



a. II. třídy rozpojitelosti a těžitelnosti, pokud střední hustota diskontinuit je < 150 mm;

b. III. třídy rozpojitelosti a těžitelnosti, pokud střední hustota diskontinuit je > 150 mm.

Zde se již tedy jedná o velmi obtížné rozpojitelné a těžitelné materiály. Je pravděpodobné, že k rozpojování takto pevných hornin bude místy nezbytné použít trhací práce. Při nutnosti jejich vyloučení je pak třeba počítat s nasazením těžkých rozpojovacích mechanismů (rozcvičovače, těžká rypadla atp.) a zároveň i s velmi vysokou pracností.

Na úseku cca 1,3 km (TT 2600 až 3900) ražených tunelů bude ražba probíhat ve snáze rozpojitelných permských pískovcích ve třídách R4 a R3 s těžitelností ve třídách I–II podle aktuální ČSN 73 6133.

Z hlediska ražby a rozpojitelosti hornin bude specifickým úsekem (RT10b/KHC-7, délky cca 210 m, viz obr. 1 a tab. 3) přechod přes perucko-korycanské souvrství, kde se současně nachází horniny vysokých pevností (Kp5.4p) a také málo únosné uhelné slajky (Kp6.3j).

The best rock quality according to the RMR index is exhibited by the Cretaceous rock types in sections RT5 (KHC-2; siltstone in the Iser Formation), RT8b and RT9 (KHC-5; siltstone in the Bílá Hora Formation), where the rock is rated as good (Class II, RMR index 61 to 63).

5. ROCK AND ROCK MASSIF PROPERTIES

5.1 Breaking characteristic of the rock massif during mining and abrasiveness of the massif

In terms of the breaking characteristic of the rock, the most demanding part of the excavation will take place in the class R2 Cretaceous siltstone and sandstone of the Iser and Bílá Hora Formations (according to ČSN 73 6133), through which the tunnel route passes in its western part for approximately two kilometres. The average unconfined compressive strength of these rock types varies around 72MPa, which classifies them according to ČSN 73 6133 as:

Tab. 3 Geotechnické vlastnosti horninového masivu (zpracováno pomocí programu RockLab)
Table 3 Geotechnical properties of the rock mass (processed using RockLab program)

Kvazihomogenní celky Quasihomogeneous units	Úsek tunelu Tunnel section	Geotyp Geotype	Hoek–Brown klasifikace (vstupní parametry) Hoek–Brown classification (entry parameters)							Mohr–Coulomb (výstupní parametry) Mohr–Coulomb (exit parameters)		Parametry horninového prostředí (výstupní parametry) Rock environment parameters (exit parameters)	
			Pevnost v prostém tlaku [MPa] Unconfined compressive strength P [MPa]	Objemová hmotnost [kN/m ³] Density [kN/m ³]	mi pevnostní parametr neporušené horniny (podle Hoeka) mi material parameter (Hoek–Brown)	GSI geologický index pevnosti GSI Geological strength index	D koeficient porušení horninového masivu D disturbance factor	Ei (Youngův modul neporušené horniny) [MPa] Ei (intact modulus) [MPa]	Použití Application	c [kPa]	φ [°]	Pevnost v jednoosém tlaku [MPa] Uniaxial compressive strength [MPa]	Modul deformace [MPa] Modulus of deformation [MPa]
KHC-1	RT3	Kj5s	79	23,9	9	55	0,7	17 775	tunnels	400	57	2,95	2 625
KHC-2	RT4	Kj5p	59	23,1	12	55	0,7	20 355	tunnels	355	54	2,20	3 000
	RT5	Kj5s	70	23,3	9	55	0,7	14 000	tunnels	490	49	2,61	2 070
KHC-3	RT7	Kj6j	30	23,7	7	40	0,7	11 850	tunnels	200	31	0,35	690
	RT6a	Kj6j	42	23,7	7	40	0,7	12 180	tunnels	220	35	0,49	710
	RT6a	Kb5s	61	23,3	9	50	0,7	12 810	tunnels	390	44	1,56	1 375
	RT7	Kb5s	70	23,4	9	50	0,7	14 700	tunnels	435	45	1,79	1 580
KHC-4	RT6b	Kb5p	73	23,0	10	55	0,7	16 790	tunnels	555	48	2,73	2 480
KHC-5	RT8a	Kb5p	64	22,8	11	55	0,7	17 600	tunnels	485	49	2,39	2 600
	RT8b	Kb5s	79	23,6	9	55	0,7	21 330	tunnels	605	47	2,95	3 150
KHC-6	RT10a	Kb5s	74	24,0	9	55	0,7	15 540	tunnels	620	45	2,76	2295
		Kp7p	12	23,5	14	35	0,7	4 080	tunnels	170	26	0,09	185
KHC-7	RT10b	Kp7p	12	23,3	14	35	0,7	3 600	tunnels	180	26	0,09	160
		Kp6j	16	21,7	9	35	0,7	5 840	tunnels	165	25	0,12	260
		Ps7.2	4,7	22,5	16	35	0,7	2 070	tunnels	130	20	0,04	95
KHC-8	RT11	Ps7.0	4,1	23,1	15	30	0,7	1 805	tunnels	110	17	0,02	65
		Ps7.3	8,0	23,3	17	35	0,7	3 520	tunnels	180	24	0,06	160
KHC-9	RT12	Ps7.3	9,4	23,2	17	38	0,7	3 570	tunnels	220	25	0,09	185
KHC-10	RT13	Pc7.3	12,5	22,8	17	43	0,7	3 275	tunnels	295	29	0,19	225
	RT14	Pc7.3	10,5	23,0	17	40	0,7	3 780	tunnels	190	30	0,12	220
KHC-11	RT15	Pc7.3/7.2	7,5	23,0	17	40	0,7	2 100	tunnels	65	39	0,09	125

Z hlediska míry opotřebení pracovního nástroje je důležité zařazení jednotlivých horninových materiálů na trase nejen podle pevnosti horninové hmoty, ale i podle parametrů abrazivnosti. Dle GTP jsou pískovce bělohorského souvrství (Kb) tř. R2 (0,78–1,12) a rudohnědé pískovce permu (Pc) tř. R3 a R4 (0,90–1,49), v nichž se bude převážně razit, klasifikovány podle CAI jako horniny s nízkou až střední abrazivností. Nejnížší abrazivnost (0,72) vykazují slínovce jizerského souvrství (geotyp Kj6) v km cca 1,1 až 1,3 a 1,5 až 1,6 km a nejvyšší (1,13–1,58) pak glaukonitické pískovce korycanských vrstev (geotyp Kp7) v cca km 2,25 až 2,45.

5.2. Diskontinuity horninového masivu a index RQD

V horninovém masivu tvořeném sedimentárními horninami převažují diskontinuity související s vrstevnatostí. Tyto diskontinuity vykazují úhel sklonu obvykle 4 až 20 stupňů. Ostatní sklonové diskontinuity se pohybují převážně od 43° do 82°.

Vzdálenost (rozteč) diskontinuit spojená s vrstevnatostí je podstatně menší než vzdálenost ostatních puklin. Níže uváděné hodnoty platí pro úseky vrtného jádra, kde došlo k prvnímu záznamu o porušení horniny a zahrnuje i vyplněné pukliny. Většinou se

a. Cuttability and workability classes II if the mean spacing of discontinuities is < 150mm;

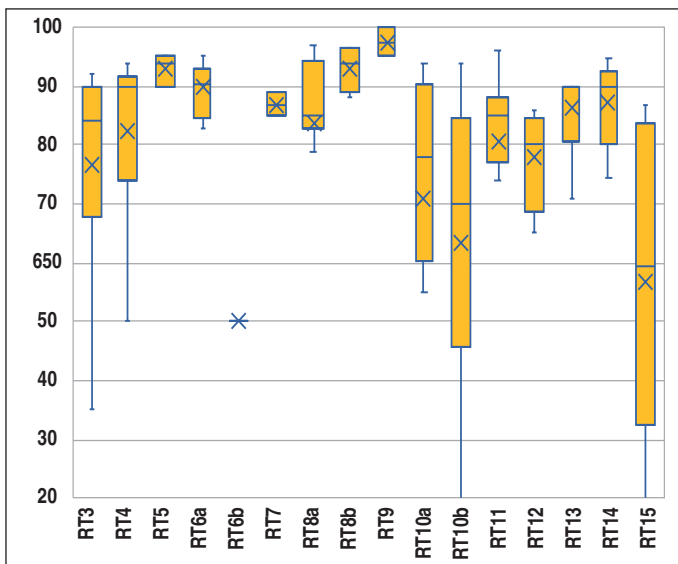
b. Cuttability and workability classes III if the mean spacing of discontinuities is > 150mm.

Here, therefore, we are already dealing with materials very difficult to dissolve and excavate. It is likely that blasting will be necessary in places to dissolve such hard rock types. If it is necessary to exclude it, the use of heavy breaking mechanisms (rippers, heavy excavators, etc.) must be taken into account, as well as very high workload.

In the approx. 1.3km section (TT 2600 to 3900) of the mined tunnels, the tunnels will be driven through easily dissolvable Permian sandstone in classes R4 and R3 with the workability in classes I-II according to the current ČSN 73 6133 standard.

A specific section (RT10b/KHC-7, length approx. 210m, see Fig.1 and Table 3) will be a transition through the Peruc-Korycany Formation, where high strength rock types (Kp5.4p) and low bearing capacity coal seams (Kp6.3j) are found at the same time.

From the point of view of the degree of the wear of the working tool, it is important to classify the individual rock materials on the route not only according to the strength of the rock mass, but

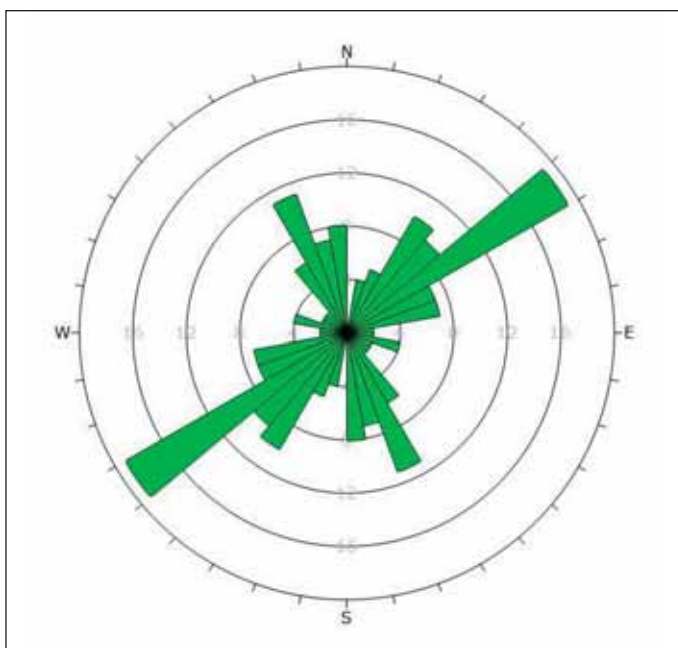


Obr. 2 Rozsah hodnot indexu RQD (%) zjištěných v jednotlivých úsecích
Fig. 2 The range of RQD index values (%) found in individual sections

vzdálenost diskontinuit pohybuje v rozmezí hodnot 9 až 110 cm, v místech výraznějšího porušení pak 5 až 35 cm.

Dokumentované vrtné jádro bylo hodnoceno dle indexu RQD. V křídových horninách se RQD pohybovalo obvykle od 74 do 95 %, v perucko-korycanském souvrství se RQD od 65 do 94 %, v permských horninách od 71 až 90 %, přičemž v porušených zónách 10 až 45 %.

Na krabicovém grafu (obr. 2) je vidět rozložení indexu RQD v jednotlivých úsecích tunelu. Nejmenší porušení horniny bylo zaznamenáno v úsecích RT5 (KHC-2), RT8b a RT9 (oba v kvazihomogenním celku KHC-5) a největší pak v úsecích RT6b (KHC-4), RT10b (KHC-7) a RT15 (KHC-11), tj. při prostupu perucko-korycanským souvrstvím a na konci ražené části tunelu v permských horninách. Lehce podprůměrné jsou pak úseky RT10a (KHC-6; perucko-korycanské a báze bělohorského souvrství), RT3 (KHC-1; začátek ražené části tunelu) a RT12 (KHC-9) v permu.



Obr. 3 Růžicový diagram směrů puklin v jizerském souvrství (KHC-1 až 3)
Fig. 3 Rose plot diagram of the directions of fissures in the Iser Formation (KHC-1 to 3)

also according to the abrasiveness parameters. According to the GTP, the sandstone of the Bílá Hora Formation (Kb) is of class R2 (0.78–1.12) and reddish-brown sandstone from Permian period (Pc) cl. R3 and R4 (0.90–1.49), which will be predominantly excavated, are classified according to CAI as rock with low to medium abrasiveness. The lowest abrasiveness (0.72) is exhibited by the Iser formation claystone (geotype Kj6) at km 1.1 to 1.3 and 1.5 to 1.6 and the highest (1.13 to 1.58) by the glauconitic sandstone of the Korycany strata (geotype Kp7) at km 2.25 to 2.45.

5.2 Discontinuities of rock massif and RQD index

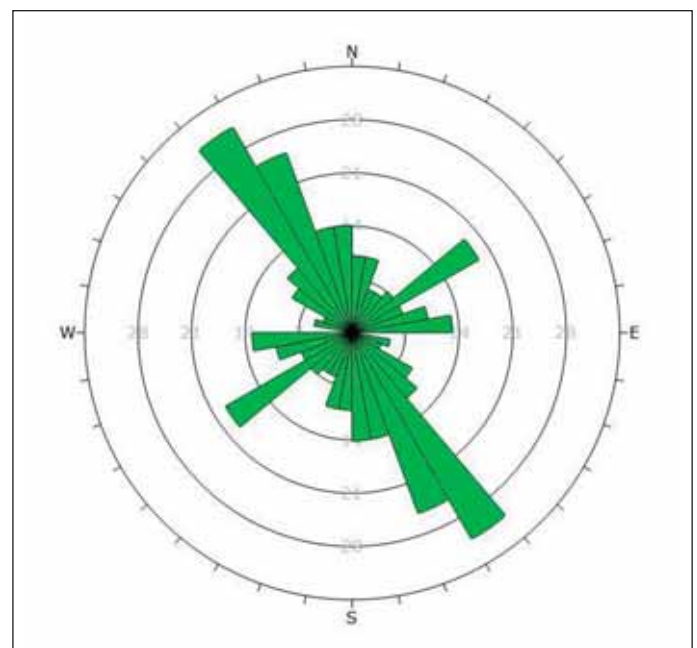
In the rock massif composed of sedimentary rock types, discontinuities related to the layering predominate. These discontinuities exhibit a dip angle of 4 to 20 degrees. The other dipping angles of the discontinuities range mainly from 43° to 82°.

The distance (spacing) between the discontinuities associated with the layering is much smaller than the spacing of the other fissures. The values reported below are for the sections of the drill core where the first record of rock faulting occurred and include also filled fissures. In most cases, the spacing between discontinuities ranges from 9 to 110cm, and from 5 to 35cm in areas of more pronounced faulting.

The documented drill core was evaluated according to the RQD index. In Cretaceous rock types, RQD typically ranged from 74 to 95%, with RQD ranging from 65 to 94% in the Peruc-Korycany Formation and 71 to 90% in Permian rock types, with 10 to 45% in faulted zones.

The box plot (Fig. 2) shows the distribution of the RQD index in each tunnel section. The smallest degree of rock faulting was recorded in sections RT5 (KHC-2), RT8b and RT9 (both in the quasi-homogeneous unit KHC-5) and the largest in sections RT6b (KHC-4), RT10b (KHC-7) and RT15 (KHC-11), i.e. at the permeation through the Peruc-Korycany Formation and at the end of the mined part of the tunnel in Permian rock. Slightly below average are sections RT10a (KHC-6; Peruc-Korycany and base of the Bílá Hora Formations), RT3 (KHC-1; the beginning of the mined part of the tunnel) and RT12 (KHC-9) in the Permian Formation.

The Cretaceous formations are dominated by sub-horizontal discontinuities (layering) dipping generally ca 30° to the west.



Obr. 4 Růžicový diagram směrů puklin v bělohorském souvrství (KHC-5)
Obr. 4 Rose plot diagram of the directions of fissures in the Bílá Hora Formation (KHC-5)

V křídových souvrstvích převažují subhorizontální diskontinuity (vrstevnatost) s úklonem do cca 30° upadající generálně k západu. Hlavní systém ostatních diskontinuit (puklin) upadá na JV (140–153°) pod úhly 70–82°, druhý na SZ (298–313°) pod úhly 48–70° a třetí rozptýlený k VSV (58–88°) pod úhly 64–84° (obr. 3).

V bělohorském souvrství hlavní systém puklin (obr. 4) upadá na SV až VSV (48–82°) pod úhly 50–82°, druhý podružný na SSZ (320–331°) pod úhly 72–89° a třetí na ZJZ (226–247°) pod úhly 69–80°.

V perucko-korycanském souvrství hlavní systém puklin upadá na SZ (309–336°) pod úhly 63–89°, druhý na J až JV (140–171°) pod úhly 54–87°.

V permských horninách převažují subhorizontální diskontinuity (vrstevnatost) bez zjevně převažujícího směru úklonu. Hlavní systém puklin upadá na SV až VSV (37–74°) pod úhly 32–53°. Další systémy puklin jsou široce rozptýlené upadající na JV (129–138°) pod úhly 43–70° a upadající na J až JZ (182–212°) pod úhly 52–61°.

5.3 Tektonické porušení masivu

Na základě provedených vrtů a geofyzikálního průzkumu se předpokládá, že souvislý průběh litologických rozhraní je v několika úsecích přerušeno tektonickými poruchami. Tyto úseky jsou znázorněny v podélném řezu (obr. 1). V rámci doplňujícího průzkumu bylo v oblasti Hikelovy doliny ve staničení cca TT 1473 až 1898 m interpretováno porušené pásmo, které je v úseku 1448 až 1673 m doprovázeno sníženými seismickými rychlostmi z měření mělké refrakční seismiky (MRS). U ústí Hikelovy doliny jsou v Děřichově hojné pramenné vývěry. Největší porušení hornin (seismické rychlosti kolem 1000 m·s⁻¹), které by mohlo odpovídat tektonickým poruchám, bylo zaznamenáno kolem staničení stavby TT 1453 m, 1498 m; 1608 m; 1653 m, 1883 m a kolem 2148 m. Mezi staničením TT 2110 až 2200 m, která odpovídají úseku RT9, se nachází kra křídových hornin (obr. 1).

Projevy křehké tektoniky jsou časté v rigidních křídových vrstvách, zejména ve spongilitických vápničitých prachovcích a vápničitých pískovcích turonu. Jsou tu patrné mikropukliny, pukliny mineralizované kalcitem a limonitem i pukliny otevřené (trhliny). V několika vrtech byly zjištěny projevy drčení, tektonické brekcie tmelené kalcitem (vrty v TT 1900 m, 2020 m, 2300 m a TT 2555 m).

5.4 Geotechnické parametry hornin

Na grafu (obr. 5) je vyneseno tzv. modulový poměr (Deere–Miler, 1966) – poměr deformačních modulů a pevností v jednoosém tlaku u zkoušených hornin. Z grafu vyplývá, že u křídových jílovců/slínovců jizerského souvrství (geotyp K_{j6}) leží vynesené body v oblasti plastického charakteru porušení hornin (poměr je pod hranicí hodnoty 1 : 200).

Zastižené křídové prachovce (především z bělohorského souvrství) lze charakterizovat jako horniny středně plastické až plastické (poměr je v intervalu většinou mezi 1 : 150 až 1 : 410) s místními výkyvy do křehkého chování.

Pískovce perucko-korycanského souvrství a hornin z permu jsou na pomezí středně plastického a plastického charakteru porušení hornin (poměr je na hranici hodnoty 1 : 200, 1 : 140 až 1 : 290).

U jílovců a prachovců perucko-korycanského souvrství pak ukazují výsledky zkoušek na křehký způsob porušení (poměr je 1 : 560 až 1 : 1200).

Doporučené charakteristické hodnoty geomechanických parametrů, které jsou uvedeny v pasportech doplňujícího průzkumu pro jednotlivé kvazihomogenní celky, vychází z Hoek–Brownových kritérií porušení (z roku 2002) pro skalní masivy. Výsledné geomechanické parametry horninového masivu E_{det} , c_{ef} , ϕ_{ef} byly získány pomocí programu RockLab V1.031. Vstupními parametry tohoto programu jsou

The main system of other discontinuities (fissures) dips to the SE (140–153°) at angles of 70–82°, the second one dips to the NW (298–313°) at angles of 48–70°, and the third one is dispersed to the ENE (58–88°) at angles of 64–84° (Fig. 3).

In the Bílá Hora Formation, the main fissure system (Fig. 4) dips to the NE to ENE (48–82°) at angles of 50–82°, the second minor system to the NNW (320–331°) at angles of 72–89°, and the third one to the WSW (226–247°) at angles of 69–80°.

In the Peruc-Korycany Formation, the main fissure system dips to the NW (309–336°) at angles of 63–89°, the second one to the S up to SE (140–171°) at angles of 54–87°.

Sub-horizontal discontinuities (layering) prevail in the Permian rock types without an apparently predominant dip direction. The main fissure system dips to the NE to ENE (37–74°) at angles of 32–53°. Other fracture systems are widely scattered, dipping to the SE (129–138°) at angles of 43–70° and to the SW (182–212°) at angles of 52–61°. Other fissure systems are widely scattered, dipping to the SE (129–138°) at angles of 43–70° and to the S up to SW (182–212°) at angles of 52–61°.

5.3 Tectonic faulting of the massif

Based on the drilling and geophysical survey, it is assumed that the continuous course of the lithological interfaces is interrupted in several sections by tectonic faults. These sections are shown in the longitudinal section (Fig. 1). As part of the supplementary survey, a faulted zone was interpreted in the Hikel Valley area at approximately TT 1473 to 1898m, which is accompanied by reduced seismic velocities from shallow refraction seismic survey (SRS) measurements in the section between 1448 and 1673m. At the mouth of the Hikel Valley there are abundant spring boils in Děřichov. The largest rock faulting (seismic velocities around 1000ms⁻¹), which could correspond to tectonic faults, were recorded around the TT 1453m, 1498m; 1608m; 1653m, 1883m and around 2148m. Between chainages TT 2110 and 2200m, which correspond to section RT9, there is a block of Cretaceous rock (Fig.1).

Manifestations of brittle tectonics are frequent in the rigid Cretaceous formation, especially in the spongolitic calcareous siltstone and calcareous sandstone of the Turonian Period. Micro-fissures, fissures mineralised with calcite and limonite and open fissures (fractures) are visible. Several boreholes showed evidence of crushing and tectonic breccias cemented by calcite (boreholes at TT 1900m, 2020m, 2300m and TT 2555m).

5.4 Geotechnical parameters of rock types

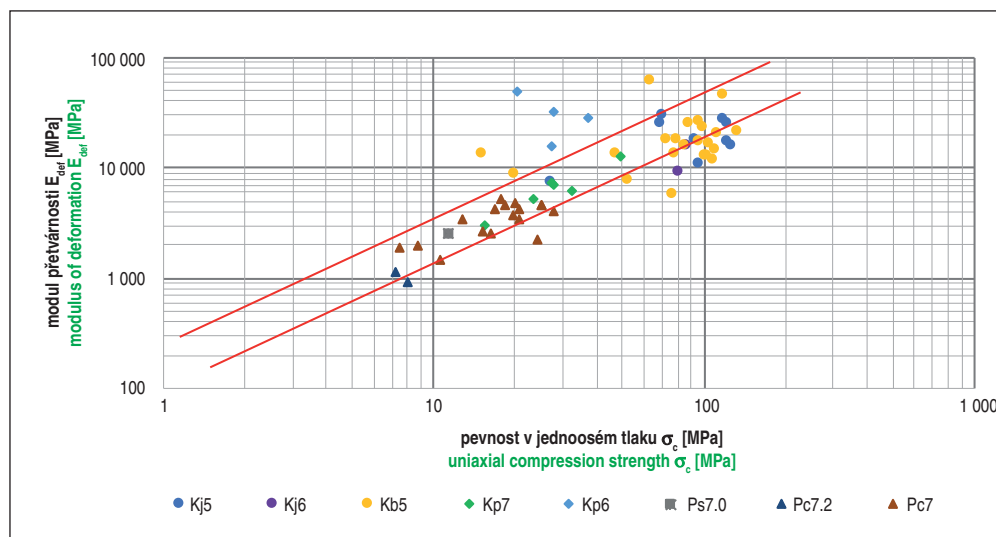
The so-called modulus ratio (Deere–Miler, 1966) – the ratio of the modulus of deformation and uniaxial compressive strengths of the tested rock is plotted in the graph (Fig. 5). It follows from the graph that for the Cretaceous claystone/siltstone of the Iser Formation (geotype K_{j6}), the plotted points lie in the area of the plastic character of the rock faulting (the ratio is below the value of 1:200).

The encountered Cretaceous siltstone (mainly from the Bílá Hora Formation) can be characterised as moderately plastic to plastic rock (the ratio is mostly between 1:150 and 1:410) with local fluctuations to brittle behaviour.

The sandstone of the Peruc-Korycany Formation and Permian rock types are on the borderline between the moderately plastic and plastic nature of the rock faulting (the ratio is on the borderline of 1:200, 1:140 to 1:290)

For the claystone and siltstone of the Peruc-Korycany Formation, the test results indicate a brittle failure mode (the ratio is 1:560 až 1:1200).

The recommended characteristic values of geomechanical parameters, which are given in the passports of the supplementary



Obr. 5 Diagram podle Deer–Millera (1966)

Obr. 5 Diagram according to Deer–Miller (1966)

pevnost v prostém tlaku horninového materiálu, index GSI, materiálový parametr „mi“ pro typ horniny, „D“ – faktor porušení (narušení) vlivem zásahu stavební činností a dále se zadává aplikace pro druh výpočtu, tíha horniny a hloubka tunelu pod povrchem. Přehledně jsou takto získané hodnoty parametrů hornin uvedené v tab. 3.

Stanovené deformační parametry horninového prostředí jsou v úrovni tunelu řádově lepší v jizerském a bělohorském souvrství než v permských horninách a perucko-korycanském souvrství křídý. Oslabený úsek v křídovém souvrství se nachází v kvazihomogenních celcích KHC-3 a KHC-6 až KHC-7. V oblasti výskytu permských hornin se oslabený úsek vyskytuje v KHC-8 a KHC-11. Jedná se částečně o úseky cca km 1,1 až 1,6 a především pak o km 2,3 až 2,8 a 3,7 až 3,9.

6. HYDROGEOLOGICKÉ POMĚRY TUNELU

Oblast ústecké synklinály (hydrogeologický rajón 4232) je charakterizována hydrogeologickým multikolektorovým pánevním systémem, v němž je definováno několik hydrogeologických kolektorů. V území tunelu Dětrichov lze v křídových sedimentech vyčlenit kolektory A, B a kolektor C, který se rozděluje vrstvou slínovců a vápnitých prachovců na subkolektory Ca a Cb (kalianasové pískovce).

Geologickým obrazem **kolektoru A** je celé perucko-korycanské souvrství, kde se vyskytují pískovce glaukonitické i jemnozrnné a hrubozrnné křemenné pískovce. **Kolektor B** je interpretován v celém bělohorském souvrství s výjimkou jeho báze [1]. Ve vrtech geotechnického průzkumu jsou jak ve svrchní, tak i ve spodní části bělohorského souvrství dokumentovány otevřené puklinové systémy. Podle hydrokarotáže je ustálená hladina podzemní vody dokumentována ve svrchní části souvrství. Podzemní voda se pohybuje směrem dolů a mizí v puklinách spodní části bělohorského souvrství. Porušený slínovcový izolátor na bázi jizerského souvrství byl identifikován v TT 2890 až 3250 m, tj. mimo dosah možného ovlivnění tunelu.

Subkolektor Ca zahrnuje celou střední část jizerského souvrství (tzv. pásmo VIII ve starší geologické literatuře) a patrně i smouhovitě vápnité písčité prachovce v bezprostředním podloží pásma VIII. Dokladem této skutečnosti je přítomnost otevřených puklin a zón alterace hornin oxid-hydroxidy železa podle puklin a přítomnost soustředných kruhů (tzv. liesegangových kruhů) železitých oxid-hydroxidů. Infiltrační oblast subkolektoru Ca je široká a projevuje se silnou alterací sedimentů, především silnou dekalifikací a tvorbou mikrokaveren.

survey for individual quasi-homogeneous units, are based on the Hoek–Brown failure criteria (2002) for rock masses. The resulting rock mass geomechanical parameters E_{def} , c_{ef} , φ_{ef} were obtained using RockLab V1.031. The input parameters of this program comprise the unconfined compressive strength of the rock material, the GSI index, the material parameter “mi” for the rock type, “D” – the failure (disturbance) factor due to construction activities, and, in addition, the application for the type of calculation, the rock weight and the tunnel depth below the surface. The values of rock parameters obtained in this way are summarized in Table 3.

The deformation parameters of the rock environment determined at the level of the tunnel are better in the order of magnitude than in Permian rock types and the Iser and Bílá Hora formations. The weakened section in the Cretaceous formation is located in the quasi-homogeneous units KHC-3 and KHC-6 to KHC-7. In the Permian rock occurrence area, the weakened section occurs in KHC-8 and KHC-11. These are partly the sections at km 1.1 to 1.6 and mainly km 2.3 to 2.8 and 3.7.

6. HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS OF THE TUNNEL

The area of the Ústí nad Labem Syncline (hydrogeological district 4232) is characterised by a hydrogeological multi-aquifer basin system in which several hydrogeological aquifers are defined. In the area of the Dětrichov tunnel it is possible to distinguish in the Cretaceous sediments the A and B aquifers and the C aquifer, which is divided by a layer of marlite and calcareous siltstone into the Ca and Cb (kaliana sandstone) sub-aquifers.

The entire Peruc-Korycany Formation, where glauconitic sandstone as well as fine-grained and coarse-grained quartzose sandstone occur is the geological picture of the A aquifer. **The B aquifer** is interpreted throughout the entire Bílá Hora Formation with the exception of its base [1]. Open fissure systems are documented in the geotechnical survey boreholes in both the upper and lower parts of the Bílá Hora Formation. According to the hydrological logging, a steady groundwater table is documented in the upper part of the formation. Groundwater moves downwards and disappears in the fissures of the lower part of the Bílá Hora Formation. The disturbed Iser marlite isolator was identified at TT 2890 to 3250m, i.e. outside the range of the possible influence on the tunnel.

Sub-aquifer Ca includes the whole central part of the Iser Formation (the so-called Zone VIII in older geological literature) and probably also the streaked calcareous sandy siltstone in the immediate sub-aquifer of Zone VIII. Evidence of this fact is the presence of open fissures and zones of rock alteration of by iron oxide-hydroxides along to the fissures and the presence of concentric rings (so-called liesegang rings) of iron oxide-hydroxides. The infiltration area of the Ca sub-aquifer is wide and manifests itself by alteration of the sediments, especially strong decalcification and formation of micro-caverns.

Sub-aquifer Cb was encountered in boreholes west of chainage TT 850m. It is separated from the sub-aquifer Ca by an about 10–15m thick layer of marlite and calcareous siltstone.

Subkolektor Cb byl zjištěn ve vrtech západně od staničení TT 850 m. Od subkolektoru Ca jej dělí vrstva slínovců a vápnných prachovců mocná kolem 10–15 m.

Monitoringem hladin vod jednotlivých kolektorů v 16 nově zbudovaných hydrogeologických vrtech a z hydrodynamických zkoušek vyplynulo, že režim vod je podobný v jizerském a bělohorském souvrství oproti perucko-korycanskému souvrství, které má zase podobný režim s podzemní vodou v hluboko uložených pískovcích permu (v úseku překrytém křídovými horninami). Vykreslené hladiny vod v jednotlivých kolektorech na obr. 1 jsou maximální zjištěné.

Tunel byl rozdělen do 17 hydrogeologických úseků (HG I. až XVII.) s ohledem na rozlišení zastižených kolektorů a izolátorů a na výskyt hladiny podzemní vody pod počvou tunelu, v tunelu a nad stropem tunelu (obr. 1). Jizerské souvrství vykazuje z hydrodynamických zkoušek hydraulickou vodivost $k = 1,8 \cdot 10^{-7}$ až $3,7 \cdot 10^{-5}$ m/s, bělohorské souvrství 3,6 až $9,6 \cdot 10^{-7}$ m/s, perucko-korycanské souvrství 2,0 až $3,2 \cdot 10^{-7}$ m/s, perm (pod křídovými uloženinami) 1,0 až $3,5 \cdot 10^{-8}$ m/s a perm na úpatí svahu 2,8 až $7,5 \cdot 10^{-6}$ m/s.

Nejvyšší přítoky do tunelu 0,3 až 0,4 l/s na 10 m tunelu se očekávají v úseku IV. (TT 900 až 1100), kde tunel prochází spodní částí kolektoru jizerského souvrství nad izolátorem slínovců (GT úsek RT5/KHC-2). Dále se pak v úseku X. (TT 2360 až 2430), kde tunel prochází perucko-korycanským souvrstvím (GT úsek RT10b/KHC-7), očekávají přítoky 0,13 až 0,2 l/s na 10 m tunelu. Přítoky 0,045 až 0,12 l/s na 10 m tunelu se očekávají v úsecích III. (kolektor C), VII. (kolektor B), IX. a XI. (kolektory B, A), XV. a XVII. (perm). Nejnižší přítoky (0,0016 až 0,023 l/s na 10 m) se očekávají na začátku tunelu do TT 560, dále v úsecích V. a VI. s výskytem izolátoru B/C, v úseku permských hornin se sevřenými puklinami XIII. a XIV. a u severní tunelové trouby, kde hladina podzemní vody je pod počvou tunelu (úsek XVI.).

7. ZÁVĚR

Průzkumné práce doplňujícího geotechnického průzkumu pro tunel Děřichov významně rozšířily geologické informace o vývoji a charakteru hranic litostratigrafických jednotek jak v křídě, tak i v permu a přispěly tak významně k interpretaci tektoniky zájmového území a k pochopení vztahu geologických struktur a hydrogeologických poměrů. Je nyní zcela zřejmé, že ražba tunelu Děřichov bude procházet heterogenními litologiemi, tektonicky porušeným územím s protiklonným zapadáním křídových vrstev vůči průběhu tunelu. Rovněž z hlediska hydrogeologie bude tunel procházet přinejmenším třemi horninovými prostředími s funkcí hydrogeologických kolektorů.

*Mgr. PETR MAZÁČ, petr.mazac@geotechnika.cz,
Mgr. PAVEL KLÍMA, pavel.klima@geotechnika.cz,
Mgr. PETRA JAKUBOVÁ, PhD.,
petra.jakubova@geotechnika.cz,
SG Geotechnika a.s.*

Recenzoval *Reviewed by: RNDr. Radovan Chmelař, Ph.D.*

The monitoring of the water table levels of individual aquifers in 16 newly carried out hydrogeological boreholes and hydrodynamic tests showed that the water regime is similar in the Iser and Bílá Hora aquifers compared to the Peruc-Korycany aquifer, where in turn, a similar groundwater regime exists in the deep-seated Permian sandstone (in the section overlain by Cretaceous rock). The plotted water table levels in the individual aquifers in Fig. 1 are the maximum levels observed.

The plotted water table levels in the individual aquifers in Figure 1 are the maximum levels observed. Hydrodynamic tests show hydraulic conductivity $k = 1.8 \cdot 10^{-7}$ to $3.7 \cdot 10^{-5}$ m/s for the Iser Formation, 3.6 to $9.6 \cdot 10^{-7}$ m/s for the Bílá Hora Formation, 2.0 to $3.2 \cdot 10^{-7}$ m/s for the Peruc-Korycany Formation, 1.0 to $3.5 \cdot 10^{-8}$ m/s for the Permian Formation (under the Cretaceous deposits) and 2.8 to $7.5 \cdot 10^{-6}$ m/s for the Permian Formation at the foot of the slope.

The highest rates of inflows to the tunnel of 0.3 to 0.4 L/s per 10 m of tunnel are expected in Section IV (TT 900 to 1100), where the tunnel passes through the lower part of the Iser aquifer above the marlite isolator (GT section RT5/KHC-2). Furthermore, inflow rates of 0.13 to 0.2 L/s per 10 m of tunnel are expected in section X (TT 2360 to 2430), where the tunnel passes through the Peruc-Korycany Formation (GT section RT10b/KHC-7). Inflow rates of 0.045 to 0.12 L/s per 10 m of tunnel are expected in sections III (aquifer C), VII (aquifer B), IX and XI (aquifers B, A), XV and XVII (Permian). The lowest inflow rates (0.0016 to 0.023 L/s per 10 m) are expected at the beginning of the tunnel up to TT 560, then in sections V and VI with the occurrence of the B/C isolator, in the section of Permian rock with tight fractures XIII and XIV and in the northern tunnel tube, where the water table level is below the tunnel bottom (section XVI).

7. CONCLUSION

The exploratory operations of the supplementary geotechnical survey for the Děřichov tunnel significantly expanded the geological information on the development and character of the boundaries of lithostratigraphic units both in the Cretaceous and Permian formations and thus contributed significantly to the interpretation of the tectonics of the area of interest and to the understanding of the relationship between geological structures and hydrogeological conditions. It is now fully obvious that the Děřichov tunnel will pass through heterogeneous lithologies, a tectonically faulted area with an anticlinal dipping of Cretaceous layers in relation to the tunnel course. Also in terms of hydrogeology, the tunnel will pass through at least three rock environments with the function of hydrogeological aquifers.

*Mgr. PETR MAZÁČ, petr.mazac@geotechnika.cz,
Mgr. PAVEL KLÍMA, pavel.klima@geotechnika.cz,
Mgr. PETRA JAKUBOVÁ, PhD.,
petra.jakubova@geotechnika.cz,
SG Geotechnika a.s.*

LITERATURA / REFERENCES

- [1] BRUTHANS, J., BURDA, J., BŮZEK, Fr. et al. *Ústecká synklinála v povodí Svitavy: hydrogeologický rajon 4232*. Praha: Česká geologická služba, 2022. Geologie a hydrogeologie. ISBN 978-80-7673-060-1.
- [2] MAZÁČ, P. D35 Opatovec – Staré Město, doplňující průzkum. Praha: SG Geotechnika a.s., 2023.
- [3] VAŠÁK, A., MAZÁČ, P. D35 Opatovec – Staré Město, 2. úsek – tunel Děřichov v km 77,800 – 81,800. Podrobný GTP. Praha: INSET s.r.o., SG Geotechnika a.s., 2020.
- [4] ŽÍTKO, T. D35 3509 Opatovec – Staré Město, DSP/IČ. SO601 Tunel Děřichov – stavební část. D 1.5 Objekty podzemních staveb. SO09-601.31.1.01. [Technická zpráva] Praha: SUDOP Praha a. s., 2021.