

Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta,
Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užití geofyziky



**Inženýrskogeologické poměry mostu přes
Vltavu na stavbě 519 silničního okruhu kolem
Prahy**

Diplomová práce

Zdeněk Polák

Vedoucí práce: RNDr. Jan Král

Praha, srpen 2011

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá zhodnocením inženýrskogeologických poměrů mostu na stavbě č. 519 silničního okruhu kolem Prahy včetně vyšetření stability skalních svahů v místě předpokládané výstavby. Jedná se o přemostění hlubokého erozního údolí Vltavy, na jehož svazích vystupují na povrch horniny svrchnoproterozoického stáří. Na lokalitě byly zhodnoceny pomocí rešerše archivních podkladů, vlastní rekognoskace a laboratorních zkoušek, geologické, hydrogeologické a inženýrskogeologické poměry, které jsou přehledně uvedeny v inženýrskogeologické mapě v měřítku 1:2000 a řezu 1:500. Jako podklad pro vyhodnocení stability skalních svahů sloužila podrobná dokumentace skalních výchozů. Samotné vyšetření stability proběhlo pomocí klasifikace Slope Mass Rating a Marklandova testu pro stereografickou projekci. Na výstupech práce je souhrnně popsán horninový masiv včetně mapy stability skalních svahů v měřítku 1:500 a popsány základové poměry uvažovaného mostu.

Summary

Abstract

this thesis deals with the evaluation of the engineering-geological conditions for the expected construction of Bridge No. 519 on the construction of the ring road around Prague, including an examination of the stability of rock slopes in place of the expected construction. It is about bridging the deep river valley erosion on the slopes of the surface rocks which appeared from the Upper Proterozoic's age. The site was evaluated by research archive data, the authors own laboratory tests and geological, hydrogeological and engineering-ratios examinations, which are summarized in the engineering-geological map at a scale of 1:2 000 and cross section of 1:1 000. Detailed documentation of rock outcrops served as the basis of evaluating the stability of the rock slopes. The actual examination of stability was carried out using classification Slope Mass Rating and the Markland test for stereographic projection. The output work is collectively describes the solidity of the rock, including the stability of rock slopes in a map at a scale 1:500 and described the underlying circumstances of the bridge under consideration.

Závazné prohlášení:

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne 25. 8. 2011

Zdeněk Polák

Poděkování

Děkuji RNDr. J. Královi za pomoc při zpracování a za cenné rady v průběhu diplomové práce, za konzultace a připomínky. Doc. Ing. Karlu Drozdovi, CSc. za konzultace ohledně vyhodnocení měření na skalních výchozech. Mgr. Lucii Bohátkové a doc. Ing. Tomáši Rotterovi, CSc. děkuji za poskytnutí archivních podkladů o zájmové lokalitě a projektovanému mostu. Ing. J. Šmolíkovi děkuji za zapůjčení Schmidtova kladívka typu N a podkladů potřebných pro vyhodnocení zkoušek jím provedených měření.

OBSAH

1. ÚVOD	1
2. LOKALIZACE ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ	2
3. PROJEKT UVAŽOVANÉHO MOSTU	2
3.1. KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ.....	2
3.2. ZALOŽENÍ MOSTU.....	3
3.3. MONTÁŽ MOSTU.....	4
4. PŘEDMĚTY OCHRANY	5
4.1. CHRÁNĚNÁ ÚZEMÍ.....	5
4.2. OCHRANNÁ PÁSMA.....	5
5. PŘÍRODNÍ POMĚRY	6
5.1. GEOMORFOLOGICKÉ POMĚRY.....	6
5.2. KLIMATICKÉ POMĚRY.....	6
5.3. GEOLOGICKÉ POMĚRY.....	7
5.3.1. <i>Skalní podklad</i>	7
5.3.2. <i>Pokryvné útvary</i>	8
5.3.3. <i>Sesuvy a geodynamické jevy</i>	10
5.3.4. <i>Poddolování</i>	10
5.3.5. <i>Seismicita</i>	10
5.4. HYDROLOGICKÉ A HYDROGEOLOGICKÉ POMĚRY.....	10
5.4.1. <i>Podzemní vody proterozoických hornin</i>	11
5.4.2. <i>Podzemní vody suchdolské terasy</i>	11
5.4.3. <i>Podzemní vody údolních teras</i>	12
5.4.4. <i>Chemizmus podzemních vod</i>	12
6. PROVEDENÉ PRŮZKUMNÉ PRÁCE	12
7. INŽENÝRSKOGEOLOGICKÉ POMĚRY	14
7.1. GEOTECHNICKÉ VLASTNOSTI ZEMIN A HORNIN.....	14
8. ZHODNOCENÍ HORNINOVÉHO MASIVU	20
8.1. ZHODNOCENÍ HORNINOVÉHO MASIVU DLE NORMY ČSN EN ISO 14688-1.....	20
8.1.1. <i>Metodika hodnocení horninového masivu</i>	20
8.1.2. <i>Výsledky hodnocení horninového masivu</i>	24
8.2. MĚŘENÍ SCHMIDTOVÝM KLADÍVKEM A VÝPOČET ÚHLU VNITŘNÍHO TŘENÍ.....	25
8.2.1. <i>Metodika měření Schmidtovým kladívkem</i>	25
8.2.2. <i>Výsledky měření Schmidtovým kladívkem</i>	27
8.2.3. <i>Metodika výpočtu úhlu tření φ</i>	27
8.2.4. <i>Výsledky výpočtu úhlu tření φ</i>	28
8.3. HOEK-BROWNOVO KRITÉRIUM PORUŠENÍ.....	28
8.3.1. <i>Metodika výpočtu Hoek-Brownova kritéria</i>	29
8.3.2. <i>Výsledky výpočtu Hoek-Brownova kritéria</i>	30
8.4. HODNOCENÍ SMR.....	32
8.4.1. <i>Metodika hodnocení SMR</i>	32
8.4.2. <i>Výsledky hodnocení SMR</i>	35
8.5. VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ SMĚRU A SKLONU PUKLIN POMOCÍ STEREOGRAFICKÝCH METOD.....	36
8.5.1. <i>Konturové diagramy</i>	36
8.5.2. <i>Tektonogramy</i>	37
8.5.3. <i>Výsledky stereografických metod</i>	38
8.6. SHRNUTÍ JEDNOTLIVÝCH METOD HODNOCENÍ.....	39
8.7. SOUHRNNÉ HODNOCENÍ HORNINOVÉHO MASIVU.....	40
9. ZÁKLADOVÉ POMĚRY	40
9.1. ZALOŽENÍ OPĚR.....	41
9.2. ZALOŽENÍ PATEK OBLOUKŮ.....	42
10. ZÁVĚR	43
11. LITERATURA	44

PŘÍLOHY

vázané:

1. Přehledná situace chráněných území měř. 1:20 000
2. Popis dokumentačních bodů
3. Mapy stability skalních svahů dle klasifikace SMR měř. 1:1000 s vysvětlivkami
4. Přehledná tabulka vstupních a výstupních hodnot klasifikace SMR
5. Přehledná tabulka měření Schmidtovým kladívkem a výpočtu úhlu tření
6. Grafy obálek pevnosti a hodnoty pevnosti horninového masivu
7. Konturové digramy pro pravý a levý břeh s histogramy hodnot
8. Marklandův test pro vybrané dokumentační body
9. Protokoly laboratorních zkoušek
10. Archivní vrty a výchozy

volné:

- a) Mapa dokumentačních bodů měř. 1:2000 s vysvětlivkami
- b) Geologická mapa zakrytá měř. 1:2000 s vysvětlivkami
- c) Inženýrskogeologický řez 1-2, měř. 1:1000/1000 s vysvětlivkami

1. ÚVOD

V rámci této diplomové práce jsem provedl posouzení inženýrskogeologických poměrů mostu přes Vltavu na stavbě č. 519. Jedná se o netradičně řešený dvoupatrový most přes hluboké údolí Vltavy na severním okraji Prahy v rámci budovaného silničního okruhu kolem Prahy.

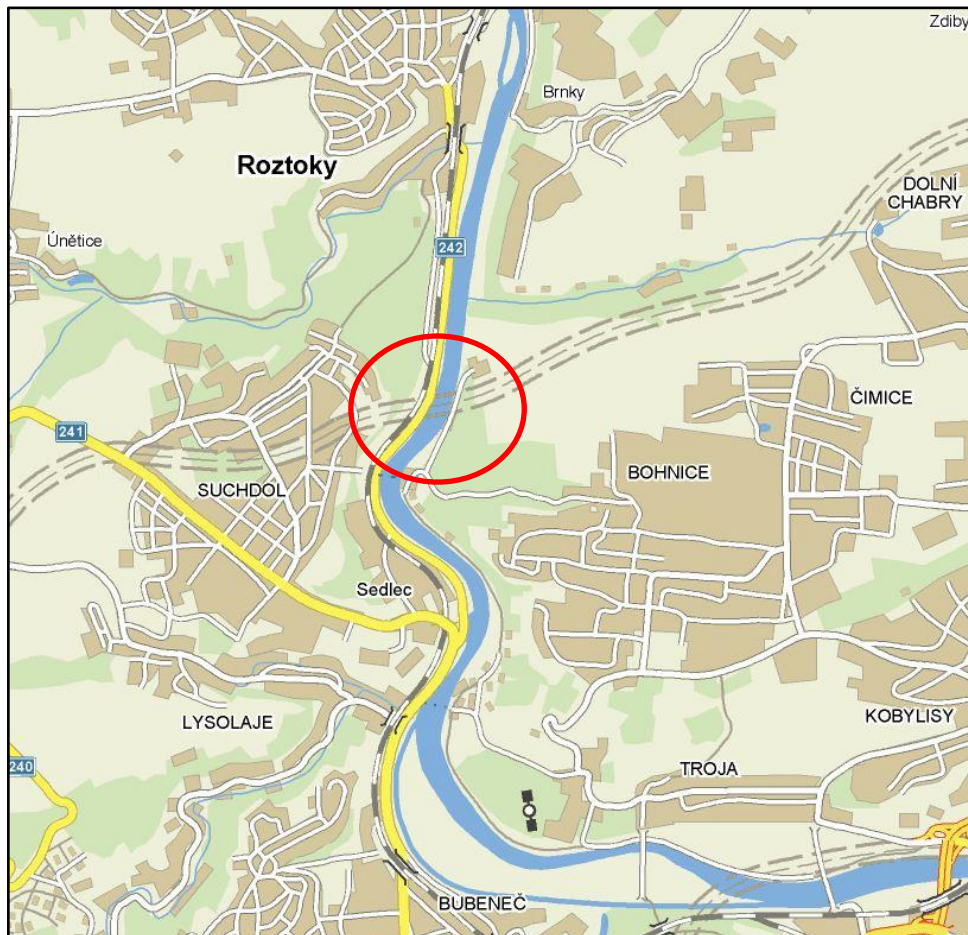
Cílem práce bylo zjistit morfologické, geologické, hydrogeologické a inženýrskogeologické poměry zájmového území. Na základě rešerše archivních podkladů, geologického mapování a laboratorních zkoušek jsem dle zjištěných skutečností nakreslil inženýrskogeologickou mapu v měřítku 1:2 000 a řez 1:1 000/1 000 a stanovil základové poměry uvažovaného mostu.

Nedílnou součástí této práce je hodnocení skalních výchozů na levém a pravém strmém břehu Vltavy, které by mohly být probíhající stavbou narušeny a případně ji i ohrozit. K jejich zhodnocení jsem využil normu *ČSN EN ISO 14689-1*, klasifikaci *Slope Mass Rating* (Romana, 1993), *Hoek-Brownovo* kritérium porušení (Hoek and Brown, 1980) a Marklandův test pro stereografické projekce směrů sklonu a sklonu puklin, pro který jsem stanovoval úhel tření na puklinách. Popis jednotlivých metod a jejich kritické zhodnocení je uvedeno v příslušných kapitolách. Hlavním výstupem je souhrnné zhodnocení horninového masivu podložené mapou stability skalních svahů (dle hodnocení SMR) a přetvárnými charakteristikami tohoto masivu.

V rozsahu zpracování lze moji práci hodnotit jako předběžný inženýrskogeologický průzkum.

2. LOKALIZACE ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ

Zájmové území se nachází na severním okraji Prahy mezi Suchdolem a Bohnicemi na pravém i levém břehu Vltavy. Toto území z větší části leží na území Hlavního města Prahy v katastrálním území Bohnice a Suchdol. Menší část území se nachází v okrese Praha – západ v katastrálním území Roztoky u Prahy.



Obr. 1: Lokalizace zájmového území, měřítko 1:70 000

Velikost zájmového území je cca 1,0 x 0,5 km.

3. PROJEKT UVAŽOVANÉHO MOSTU

3.1. Koncepční řešení

Pro přemostění Vltavy je dle Rottera (2003, 2009) navrhován obloukový most s horní mostovkou. Trám mostovky ve tvaru tzv. Vierendeelova nosníku je podpírán ve dvou místech poblíž vrcholu oblouku. Nejsou použity žádné další podpěry trámu.

Z hlediska silničního provozu je most dvoupatrový. Pod mostem je zavěšena lávka pro chodce a cyklisty. Na levobřežním konci mostu je připojen silniční přívaděč Rybářka a trasa ve směru na Ruzyň pokračuje hloubeným tunelem na katastru obce Suchdol.



Obr. 2: *Vizualizace projektovaného mostu, pohled od Roztok (Rotter, 2003)*

Most má celkovou délku 470 m. Rozpětí polí trámu jsou 200 + 70 + 200 m, rozpětí oblouků je 162 m a jejich vzepětí 68 m. Oblouky jsou navrženy v mírně šikmých rovinách. Betonové patky oblouků jsou umístěny na březích Vltavy, mimo vodní tok. Klouby oblouků jsou navrženy nad úroveň stoleté vody. Uprostřed rozpětí mostu je horní mostovka cca 79 m nad hladinou Vltavy (254,721 m n.m.). Dolní úroveň vozovky je v celé délce mostu 10 m pod horní úroveň (244,721 m n.m.). Světlá šířka hlavní nosné konstrukce trámu je 18,53 m. Lávka pro chodce a cyklisty má šířku 3,5 m.

3.2. Založení mostu

Při montáži ocelových oblouků mostu bude zapotřebí kotvit velkou podélnou vodorovnou sílu (7500 kN). S ohledem na nepřístupnost chráněných úbočí je navrženo kotvení této síly do opěr. Přenesení této síly z opěr do základů ovlivňuje konstrukční řešení opěr a jejich založení.

Únosné horniny jsou blízko pod povrchem. Pro přenesení vodorovné kotevní síly jsou plošné základy opěry doplněny šikmými kotvami a smykovými stěnami.

Na levém břehu v místě opěry je zdravý povrch hornin v proměnných výškách. Z těchto důvodů je navrženo hlubinné založení (piloty a mikropiloty).

Založení patek oblouků se předpokládá na společném plošném základu v hloubce 7,0 m pod povrchem na zdravém kralupsko-zbraslavském



Obr. 3: Detail založení patek na levém břehu (Rotter, 2009)

souvrství. Patky jsou tvarovány tak, že se svým zešikmeným čelem opírají o skalní masiv. V úrovni terénu jsou patky zakončeny vodorovnou plochou, z které vycházejí dva samostatné betonové dříky zvlášť pro každý ocelový oblouk. Na vodorovné ploše patek jsou po dobu stavby postaveny montážní ocelové věže.

3.3. Montáž mostu

Návrh montáže mostu dle Rottera (2009) respektuje ekologické požadavky z hlediska ochrany přírodních památek na obou březích Vltavy a ocelová konstrukce mostu je navržena tak, že tato území nebudou vlivem výstavby ani později stavbou dotčena.

Ocelové oblouky budou montovány v definitivní poloze, přičemž montážní dílce budou dopravovány po vodě. Letmá montáž oblouků se uskuteční pomocí montážní pomůcky, která se bude pohybovat po horní pásnici oblouků. Montáž trámu se provádí na pravém břehu, kde je terén přístupný pro silniční dopravu. Ocelový trám bude postupně podélně vysouván ze strany Bohnic, bez použití provizorních podpor umístěných v úbočích Vltavy.

4. PŘEDMĚTY OCHRANY

4.1. Chráněná území

Z větší části patří stráně a skály na pravém i levém břehu Vltavy do Evropsky významné lokality (EVL) Kaňon Vltavy u Sedlce (kód lokality CZ0110154) systému NATURA 2000. Předmětem ochrany je říční ekofenómén v oblasti teplomilné květeny, který se vyznačuje bohatstvím otevřených skalních společenstev s pestrou xerothermní květenou a drobnou zvířenou s mnoha vzácnými a ohroženými druhy ([AOPK CR](#)).

Na pravém břehu Vltavy se tato lokalita z větší části překrývá s přírodní památkou Zámky. Jedná se zároveň o chráněnou archeologickou lokalitu, kdy se na plošině skály (viz příloha č. 1) nachází výšinné hradiště z období řivnáčské kultury (eneolit), dále osídlené v době bronzové a raně slovanské (6.-8.stol.) s dosud zachovanými valy ([Němec a Ložek, 1997](#)). Obě tyto území jsou součástí Přírodního parku Draháň – Troja, který zaobírá celou plochu zájmového území na pravém břehu Vltavy ([Němec a Ložek, 1997](#))

Na levém břehu Vltavy se EVL Kaňon Vltavy u Sedlce z větší části překrývá s přírodní památkou Sedlecké skály. Jde o skalní defilé s teplomilnou skalní stepí a křovinami s výskytem chráněných a ohrožených druhů ([Němec a Ložek, 1997](#)).

Na Sedlecké skály navazuje svým jižním cípem Přírodní rezervace Roztocký háj - Tiché údolí. Předmětem ochrany je celkový krajinný ráz, původní květena, drobná zvířena a geologické útvary. Součástí je i halštatské mohylové pohřebiště ([Němeca a Ložek, 1997](#)).

V téměř celém zájmovém území se nachází funkční nadregionální biocentrum (značené N1/2) územního systému ekologické stability. Trasa Pražského okruhu je z tohoto systému vyňata ([Geoportál Praha \(a\)](#)).

4.2. Ochranná pásma

Na místě předpokládané výstavby mostu a navazujících komunikací se nachází stavební uzávěra pro stavbu 519 Pražského okruhu.

V zájmovém území se na malém prostoru nachází silnice II. třídy, místní komunikace III. třídy, železnice, venkovní vedení VVN a NN a kanalizace. Všechny tyto prvky mají stanovenou svoje ochranné pásmo ([Geoportál Praha \(b\)](#)).

Dále se zde nacházejí kromě lesů uvnitř chráněných území i lesy zvláštního určení a hospodářské lesy. Všechny lesy mají stanovenou 50 m ochranné pásmo ([Geoportál Praha \(b\)](#)).

5. PŘÍRODNÍ POMĚRY

5.1. Geomorfologické poměry

Dle geomorfologického členění České republiky leží zájmové území ve Zdíbské a Turské plošině, které patří k podcelku Kladenské tabule, jež je součástí Pražské plošiny (Demek, 1987). Širší zájmové území je modelováno ostře zaříznutými erozními údolními Vltavy a jeho přítoky. Vlastní převýšení terénu je značné. Zatímco povrch údolní nivy leží ve výšce cca 177 m n.m., tak povrch náhorních planin se v zájmovém území pohybuje do výšek cca 265 m n.m. Svahy údolí jsou velmi strmé, z větší části tvořené skalními výchozy s téměř kolmými stěnami. Na pravém břehu v severním okraji zájmového území byly v minulosti otevřeny lomy v žilných horninách a sedimentech proterozoika, které jsou nyní opuštěné (Šarf, 1974a,b).

Podle typologie české krajiny spadá údolí Vltavy do krajiny zaříznutých údolí. Náhorní planiny jsou klasifikovány jako krajina plošin a pahorkatin ([Národní geoportál INSPIRE](#)).

5.2. Klimatické poměry

Zájmové území leží dle Götze et al. (1966) v mírně teplé oblasti, která je mírně suchá s mírnou zimou (okrsek B1).

Průměrná roční teplota vzduchu je 8-9°C, přičemž nejchladněji je v lednu (-2°C) a nejtepleji v červenci (18°C). Období s průměrnou denní teplotou nižší než 0°C je od 16. prosince do 16. února. Mrazových dní je v roce průměrně 70-100.

Průměrný roční úhrn srážek je 500-550 mm. Sněhová pokrývka leží průměrně 30 dní v roce s průměrnou maximální mocností 0,2 m.

Všechny výše uvedené hodnoty jsou průměry z let 1901 až 1950.

Průměrné měsíční úhrny srážek z let 1901 – 1950 v mm (stanice Podbaba) jsou uvedeny v tabulce č. 1 a průměrné měsíční úhrny srážek za rok 2010 v mm (stanice Suchdol) jsou uvedeny v tabulce č. 2.

Tab. 1: Úhrn srážek na stanici Podbaba

I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	rok
20	18	24	40	53	61	69	63	39	36	28	25	476

Tab. 2: Úhrn srážek na stanici Suchdol

I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	rok
45	13	13	30	66	75	99	129	36	7	64	51	627

Podle Quitta (1971) leží zájmové území v teplém klimatickém regionu T2, který je charakterizován dlouhým létem, teplým a suchým, velmi krátkým přechodným obdobím s teplým až mírně teplým jarem i podzimem, krátkou zimou mírně teplou suchou až velmi suchou, s velmi krátkým trváním sněhové pokrývky.

Dle normy ČSN EN 1991-1-3 *Zatížení sněhem* a ČSN EN 1991-1-4 *Zatížení větrem* leží zájmové území v I. sněhové oblasti a v I. větrné oblasti. Charakteristická hodnota mrazového indexu pro střední dobu návratu 10ti let činí $Im_k = 360^\circ\text{C}\cdot\text{den}$.

5.3. Geologické poměry

Jak je patrné ze zakryté geologické mapy 1:2 000 (viz příloha *b*), tak předkvartérní podklad zájmového území budují horniny barrandienského svrchního proterozoika. Horniny skalního podkladu vystupují na povrch na prudkých svazích údolí Vltavy a jeho přítoků.

Pokryvné útvary tvoří v údolní nivě Vltavy holocenní a pleistocenní fluvialní sedimenty. Tyto sedimenty jsou místy překryté deluviálními hlínami a sutěmi, které se v malé mocnosti do 1 m vyskytují i na svazích údolí. Na vrchních plošinách je kvartérní pokryv zastoupen terasovými štěrky a písky, které mají v menší míře v nadloží i spraše a sprašové hlíny. Minoritně jsou zastoupeny antropogenní uloženiny tvořeny náspy železnice a komunikací podél Vltavy.

5.3.1. Skalní podklad

Skalní podklad zájmového území je tvořen horninami barrandienského svrchního proterozoika. Regionálně geologicky jsou horniny součástí severovýchodního křídla Barrandienu, budovaného slabě regionálně metamorfovanými horninami. Proterozoikum je zde zastoupeno kralupsko-zbraslavskou skupinou, která je na levém břehu Vltavy tvořen převážně prachovci a břidlicemi s polohami drob. Na pravém břehu zcela převládají břidlice s polohami drob. Prachovce a břidlice jsou v nezvětralém stavu tmavě šedé až černošedé, droby jsou obvykle šedé až zelenošedé.

Dle Bohátkové (2005) je na levé plošině nad údolím Vltavy mocnost zcela a velmi zvětralé vrstvy cca 5 a méně metrů. Směrem po svahu dolů potom zvětralá vrstva vyklíňuje a

skalní podklad tvoří pouze slabě zvětralé a zdravé horniny, které vystupují až na povrch území a tvoří i strmé stěny. Obdobný profil jsem dokumentoval i na pravobřežním svahu.

Prachovci, břidlicemi a drobnými pronikají místy žíly dioritového porfyritu nejspíše spodnopaleozoického stáří o mocnosti decimetrů až metrů. Tyto žíly jsou většinou rudohnědě zbarvené, silně alterované, dle Šarfa (1974a) se alterace projevuje zejména karbonitizací, sericitizací, albitizací a amfibolizací. Místy jsou rozloženy na jílu s úlomky horniny. Žíly, zjištěné při dokumentaci skalních výchozů nad Vltavou, mají převážně směr severozápad – jihovýchod až východ – západ s úklonem k severovýchodu. Žíla zastižená archivním vrtem JP5 (Bohátková, 2005) je v podélném geologickém řezu (viz příloha c) znázorněna pouze schematicky, podle převládajícího směru a sklonu okolních žil.

Tektonické poruchy na obou březích Vltavy, pronikající horninovým masivem, jsou dle Bohátkové (2005) a vlastních zjištění, mocné do 1 m. Směr poruch převládá severozápad – jihovýchod a jejich sklon je strmý (70° - 80°). Tyto poruchy jsou vyplněny horninovou drtí s jílovitou výplní.

5.3.2. Pokryvné útvary

Fluviální terasové sedimenty

Pleistocenní sedimenty jsou reprezentovány sedimenty suchdolské terasy (Lb – skupina Lysolajská) a skupinou údolních teras maninskou (IVa) a údolním dnem (IVb). Zatřídění teras je dle Záruby (1942).

Sedimenty terasy suchdolské, stáří donau, se vyskytují na obou březích Vltavy na plošinách nad údolím. Dle Bohátkové (2005) a Šarfa (1974a,b) je tvoří převážně písky se šterkem až písčité šterky převážně zahliněné nebo zajílované, místy s příměsí písčitého jílu. Mocnost terasy bude na obou březích v zájmovém území okolo 6 m, přičemž mimo zájmové území jejich mocnost dosahuje až 10 m. Nadmořská výška báze terasy je na pravém i levém břehu 260 – 262 m n.m.

Na stavbě výplně údolí Vltavy se podílí reliktů maninské terasy s bází v úrovni normální hladiny Vltavy. Tato terasa byla z větší části ve svrchním pleistocénu (wurm II, III) prohloubena a nahrazena sedimenty údolního dna (Záruba, 1948; Balatka a Sládek, 1962). Dle Šarfa (1974a), Follprechta (2001) a Vorla (1998) se jedná o písčité šterky. Zjištěná mocnost těchto sedimentů se pohybuje do 1,5 m. Nadmořská výška jejich báze je 171 – 172 m n.m.

Fluviální holocenní sedimenty

Tyto sedimenty jsou dvojího typu. Zaprvé se jedná o mladé holocenní náplavy překrývající terasové sedimenty v korytě a nivě Vltavy, které jsou tvořeny dle Volra (1998) hlinitým až jílovitým pískem a jílem až jílem písčitým. Druhým typem holocenních náplavů jsou sedimenty tvořící výplň příčných pravobřežních údolí Vltavy. Materiál těchto náplavů je dle Šarfa (1974a) převážně písčitohlinitý, s proměnlivým obsahem jen málo opracovaných nebo neopracovaných úlomků okolních proterozoických hornin. Do údolí Vltavy ústí morfologicky nenápadnými, avšak až 10 m mocnými dejekčními kužely, jejichž materiál je charakteru sutě až zahliněné sutě.

Eolické sedimenty

Tyto sedimenty se vyskytují na horních plošinách. Na levém i pravém břehu Vltavy jsou dle Bohátkové (2005) a Šarfa (1974a) reprezentovány tenkou (do 1 m) sprašovou návějí částečně překrývající terasu. Níže po svahu je mocnost návěje kolem 2 m výjimečně až 5 a ve svrchních vrstvách je tvořena sprašovou hlínou, přičemž podloží tvoří proterozoické horniny.

Deluviální sedimenty

Tvoří je svahové hlíny a sutě, které se vyskytují nad skalními svahy vltavského údolí na pravém i levém svahu v mocnosti výjimečně do 1 m. Druhá oblast výskytu je úpatí skalních svahů (hlavně na pravém břehu), kde mocnost deluvií dosahuje i více jak 2 m. Tyto sedimenty jsou dle Šarfa (1974a) tvořeny jílovitými a písčitými hlínami s různě velkým zastoupením ostrohranných úlomků podložních hornin a místním podílem valounů šterku, přemístěných z výše položených teras. S hloubkou úlomků přibývá, takže přechod deluvií do eluvií je plynulý a obtížně sledovatelný.

Mocnost humózní vrstvy (ornice a hrabanky), která se vyskytuje na plošinách a vrcholových partiích svahů, nepřesahuje 0,3 m.

Antropogenní uloženiny

Navážky jsou zastoupeny hlavně v násypch železnice a pobřežních komunikací kde dosahují až 4 m. Podružně se jedná, hlavně na pravém břehu, o zásypy stavebních výkopů. Zde mocnost navážek bude do 1,5 m.

5.3.3. Sesuvy a geodynamické jevy

Podle ČGS - Geofondu Praha nejsou v zájmovém území evidovány žádné sesuvy a jiné nebezpečné svahové jevy. Nicméně charakter údolí se strmými skalními stěnami vytváří vhodné podmínky pro skalní řízení a sesouvání.

Při rekognoscaci zájmového území jsem zaznamenal na levém břehu dvě místa, kde došlo k nevelkým (do cca 5 m³) skalním sesuvům vlivem klínového (dokumentační bod č. 19) a planárního (dokumentační bod č. 27) porušení skalního masivu a jedno místo (bod č. 26) se znaky skalního řízení vlivem klínového porušení.

Podrobně je stabilita zájmového území řešena v kapitole č. 8.

5.3.4. Poddolování

Podle ČGS - Geofondu Praha není zájmové území poddolované.

5.3.5. Seismicita

Dle ČSN EN 1998-1 Eurokód 8: *Navrhování konstrukcí odolných proti zemětřesení - Část 1: Obecná pravidla*, seismická zatížení a pravidla pro pozemní stavby je seismicita území malá (0,004-0,04 g). Jedná se tedy o stabilní území s velmi malou seismicitou a není třeba dodržovat ustanovení dle této normy. Vzhledem k velikosti a důležitosti stavby bych však doporučoval seismicitu uvažovat.

5.4. Hydrologické a hydrogeologické poměry

Dle vyhlášky MZ 292/2002 Sb. *o oblastech povodí* ve znění pozdějších předpisů, spadá posuzovaná lokalita do:

oblast povodí	dolní Vltava (Vltava od Rokytky po ústí)
číslo hydrologického pořadí	1-12-02-007/0
hydrogeologický rajón základní vrstvy	6250 Proterozoikum a paleozoikum v povodí přítoků Vltavy

Podle hydrogeologické rajonizace ČR patří území do hydrogeologického rajonu 6250 - *Proterozoikum a paleozoikum v povodí přítoků Vltavy*. Hydrogeologicky patří území do povodí řeky Vltavy. Vltava zde protéká severo-j jižním směrem a tvoří erozní bázi. Obecně se jedná o hydrogeologicky nevýznamný rajón, s vydatnostmi zvodně převážně v prvních setinách ls⁻¹.

Dle Rottera (2003) a [Geoportálu Praha \(c\)](#) jsou výškové úrovně povodňových stavů Vltavy v zájmovém území následující:

$$Q_2 = 178,0 \text{ m n.m.}$$

$$Q_{10} = 180,0 \text{ m n.m.}$$

$$Q_{100} = 183,2 \text{ m n.m.}$$

$$Q_{\text{rok 2002}} = \text{cca } 184,5 \text{ m n.m.}$$

V širším okolí zájmového území se vyskytují tři samostatné zvodně podzemní vody. Zvodnění kvartérního obzoru na plošinách se vyskytuje při jeho bázi. U skalního podloží svrchního proterozoika je přítomnost vody vázaná na jeho puklinovou propustnost. Otevřené pukliny bez výplně, které umožňují proudění vody, se většinou vyskytují pouze při povrchu skalního podloží. V údolní nivě se vyskytuje poříční zvodně v dobře propustných terasových sedimentech v přímé hydraulické závislosti na stavu hladiny v toku.

Podle horninového prostředí, které je podmiňujícím činitelem jejich chemizmu a vydatnosti, je možno v zájmovém území rozlišit tyto základní typy podzemních vod:

5.4.1. Podzemní vody proterozoických hornin

Horniny proterozoika se vyznačují puklinovou propustností, která je velmi nízká. Pukliny jsou zde převážně sevřené, rozevřenější pukliny ve svrchních partiích jsou pak často vyplněny jílovitým minimálně propustným materiálem. Vydatnost této zvodně se pohybuje řádově v setinách l.s^{-1} , přičemž se zvyšuje v tektonicky exponovaných místech. Hodnoty koeficientu filtrace jsou menší než $k = 10^{-6} \text{ m.s}^{-1}$. U otevřených zvodnělých puklin může k dosahovat až o dva řády vyšších hodnot.

Hladina podzemní vody se ve skalním podloží vyskytuje na plošinách v hloubce okolo 15 m (ustálená hladina v hloubce cca 12m). Směrem k Vltavě hladina zaklesá do větších hloubek, případně se zcela ztrácí. Archivním vrtem JP5 (Bohátková, 2005) situovaným na levobřežním svahu byla hladina této zvodně naražena v hloubce 20,0 m pod terénem.

5.4.2. Podzemní vody suchdolské terasy

Ve kvartérním pokryvu se podzemní voda vyskytuje v sedimentech suchdolské terasy na plošinách nad údolím Vltavy.

Štěrky a písky suchdolské terasy jsou v zájmovém území převážně zahliněné a zajiřované. Propustnost těchto sedimentů je průřinová a dle Bohátkové (2005) dosahuje koeficient filtrace hodnot řádově $k = 10^{-6} - 10^{-7} \text{ m.s}^{-1}$.

Obzory podzemní vody v suchdolské terase jsou dotovány jednak přímou infiltrací srážkových vod a jednak infiltrací z nadložních eolických sedimentů, ve kterých se nevytváří stálý obzor podzemní vody.

5.4.3. Podzemní vody údolních teras

Písčité štěrky wurmského stáří, které tvoří bazální výplň údolí Vltavy, se vyznačují velmi dobrou průřinovou propustností. Jsou zvodnělé v celé své mocnosti. Hladina podzemní vody je závislá na stavu vody ve Vltavě. Tento obzor je dotován jednak poříční vodou z Vltavy a omezeně vodou přitékající z okolních svahů.

Holocenní náplavy jsou málo propustné a prakticky tvoří stropní izolátor písčítým štěrům. Zvodnění náplavů je opět závislé na stavu hladiny ve Vltavě.

Dle archivních vrtů V1 a V2 (Vorel, 1998) je ustálená hladina podzemní vody v těsné blízkosti řeky v úrovni cca 175 m n.m. tj. 1,3 m pod terémem.

5.4.4. Chemismus podzemních vod

Chemismus podzemních vod je v celém zájmovém prostoru převážně kalcium – bikarbonátového typu, neutrální. Dle Bohátkové (2005) bylo na levém svahu zjištěn zvýšený obsah dusičnanů, který signalizuje plošné antropogenní znečištění této lokality. Stejně znečištění lze předpokládat i na pravém břehu, kde je plošina a část svahu zeměděřsky využívána.

Podle Bohátkové (2005), Follprechta (2001) a Šarfa (1974) je voda v místě předpokládané výstavby dle EN ČSN 206-1 neagresivní na betonové konstrukce. Ve vyšších polohách na plošinách nad údolím vykazuje podzemní voda dle EN ČSN 206-1 slabou síranovou agresivitu (SO_4^{2-} cca 215 mg/l), případně i slabou uhličitanovou agresivitu (CO_2 cca 30 mg/l). Stupeň agresivity na betonové konstrukce je potom dle EN ČSN 206-1 XA1 až XA2.

6. PROVEDENÉ PRŮZKUMNÉ PRÁCE

Před zahájením průzkumných prací jsem provedl rešerši dostupných archivních podkladů v ČGS – Geofondu. Dále jsem od Doc. Ing. Tomáše Rottera, CSc, který byl součástí týmu

vítězného návrhu mostu v soutěži pořádané Hl. městem Prahou v roce 1998, získal technickou zprávu o uvažovaném přemostění a situaci se zakresleným projektovaným mostem v měřítku 1:1000. Od Mgr. Lucie Bohátkové, která je autorkou zprávy *Závěrečná zpráva podrobného geotechnického průzkumu pro SO 603 - odvodňovací štola a šachta Za Hájem a SO 605 - odvodňovací štola a šachty ul. Suchdolská* (2005) jsem získal dílčí části této zprávy včetně mapových podkladů se zaměřenými výchozy a cenné komentáře k zájmové lokalitě.

Zeměměřickým úřadem mi byly zapůjčeny mapové podklady zájmového území. Jedná se o Státní mapu v měřítku 1:5000, list Kralupy 7-8 s katastrální a výškopisnou složkou a o Základní mapy ČR 1:10 000 (ZM 10 – ZABAGED[®]), listy 12-24-11 a 12-24-12. Na geoportálu Praha jsem zakoupil pro oblast zájmového území vrstevnice z digitálního modelu terénu Prahy s přesností 1 m.

V květnu 2010 jsme s Ing. J Králem provedli prvotní rekognoskaci zájmového území a upřesnili jsme jeho velikost.

V březnu a dubnu 2011 jsem provedl geologické a inženýrskogeologické mapování, na jehož základě jsem následně v programu ESRI ArcMap nakreslil geologickou mapu zakrytou v měřítku 1:2000. Během tohoto mapování jsem na obou březích podrobně zhodnotil dle normy *ČSN EN ISO 14689-1 Geotechnický průzkum a zkoušení - Pojmenování a zatříd'ování hornin - Část 1: Pojmenování a popis* celkem 36 výchozů (popis výchozů viz příloha č. 2). Měření provedena na dokumentačních bodech jsou vyhodnocena v kapitole č. 8.

Dne 27. 3. 2011 jsem na dokumentačních bodech č. 2 a 14 z přípovrchové vrstvy odebral vzorky horniny V1 a V2. Na obou vzorcích byla v laboratoři firmy Ivo Ouřada – Geotechnický servis provedena zkouška pevnosti v prostém tlaku. Protokol o vyhodnocení zkoušky je uveden v příloze č. 9.

V červnu 2011 jsem na vybraných dokumentačních bodech provedl měření Schmidovým kladívkem typu M. Tato měření sloužila k určení pevnosti v prostém tlaku a k výpočtu úhlu vnitřního tření na puklinách.

Všechny dokumentační body byly zaměřeny pomocí přístroje GPS (Garmin eTrex). Přesnost měření se pohybovala v rozmezí ± 7 m. Proto bylo umístění některých bodů upřesněno pomocí mapy. Všechny souřadnice v této práci jsou uvedeny v systému JTSk. Výškové zaměření bylo provedeno také pomocí GPS a zkorelováno pomocí mapových podkladů. Výškové údaje jsou uvedeny v systému Bpv.

7. INŽENÝRSKOGEOLOGICKÉ POMĚRY

Horniny a zeminy, tvořící geologickou stavbu zájmového území, které jsou popsány v kapitole 5.3, jsem na základě makroskopického posouzení, laboratorních zkoušek a archivních podkladů rozdělil na jednotlivé geotechnické typy (GT).

Inženýrskogeologické poměry v trase projektovaného mostu jsou přehledně patrné z podélného inženýrskogeologického řezu v měřítku 1:1 000/1 000 (viz příloha c). V řezu jsou odlišeny jednotlivé geotechnické typy zeminy a hornin.

V tabulkách č. 3, 4, 5 a 6 v závěru kapitoly je uveden jejich přehled a dále v textu následuje podrobnější charakteristika.

Výsledky měření na skalních výchozech a jejich interpretace jsou uvedeny v následující kapitole č. 8.

7.1. Geotechnické vlastnosti zemin a hornin

Antropogenní zeminy

- **GT 1 – hlinitopísčité a hlinitokamenité navážky** se vyskytují na obou březích Vltavy, v místech uvažovaného založení patek oblouků. Svrchní část navážek tvoří konstrukční vrstvy vozovky a dále převažuje hlinitopísčítokamenitý materiál, obsah úlomků však značně kolísá. Nepravidelná je příměs úlomků cihel a další stavební sutě. Břehy Vltavy jsou zpevněny kameny a balvany křemence. Navážky jsou celkově středně ulehle. Dle klasifikace *ČSN EN ISO 14688-2 Geotechnický průzkum a zkoušení - Pojmenování a zařídování zemin - část 2: Zásady pro zařídování* se jedná o grCl, místy však odpovídá až zařídění Co s vysokým obsahem valounů. Jako základová půda se nebudou vyskytovat.

kvartérní pokryv

- **GT 2 – údolní fluvialní sedimenty** se budou vyskytovat v místě uvažovaného založení patek pro oblouky projektovaného mostu. Pro přesnější charakteristiku je tento typ rozdělen na tři skupiny GT 2A, GT 2B a GT 2C.
 - **GT 2A – písky jílovité a hlinité** představují svrchní část povodňových sedimentů Vltavy. Jsou světle rezavohnědé až šedohnědé, jemno až střednězrné, silně jílovité či hlinité, místy s obsahem valounů do cca 6 cm 20%, slídnaté. Písky jsou středně

ulehlé až ulehlé, zvodnělé, vložky jílu jsou převážně tuhé konzistence. Dle klasifikace *ČSN EN ISO 14688-2* odpovídají zatřídění siSa a clSa.

- **GT 2B – hlíny jílovité** mají na pravém břehu výraznou písčitou příměs. Tento typ pravděpodobně tvoří pohřbený půdní horizont. Jedná se o jíl se střední plasticitou až jíl písčité se zbytky zetlelých rostlin, namodrlo šedivé barvy a tuhé konzistence. Dle klasifikace *ČSN EN ISO 14688-2* zatřídění siCl (levý břeh) a saCl (pravý břeh).
- **GT 2C – písčité štěrky** tvoří bazální polohu kvartérního pokryvu v údolí Vltavy. Jsou světle hnědošedě zbarvené. Velikost valounů (převažuje křemen a horniny krystalinika) běžně dosahuje 10 až 15 cm a v bazálních partiích můžou být až 30 cm veliké. Obsah štěrku se pohybuje okolo 60-70%. Výplň je písčité, převážně středně zrnitá, jílovitohlinitá složka je slabě zastoupena. Zemina je zvodnělá a ulehlá. Ve smyslu *ČSN EN ISO 14688-2* patří tyto štěrky do třídy siGr až siClGr
- **GT 3 – eolické sedimenty** jsou zastoupeny sprašemi a sprašovými hlínami na horních partiích svahů a na plošinách nad údolím Vltavy. V mocnosti okolo 1 m se budou vyskytovat v místě založení opěr. V trase příjezdových komunikací k mostu se budou vyskytovat do vzdálenosti cca 50 m od napojení na most a jejich mocnost nepřekročí 2 m. Jedná se o světle hnědý jíl s nízkou až střední plasticitou, v případě spraší vápnitý, konzistence je tuhá až pevná, místy se vyskytují opracované úlomky různých hornin do 2 cm a 10%. Dle klasifikace *ČSN EN ISO 14688-2* náleží do třídy siCl.
- **GT 4 – terasové sedimenty** suchdolské terasy se budou vyskytovat v trase příjezdových komunikací k mostu s bází v nadmořské výšce cca 260 m. Jejich mocnost bude narůstat se vzrůstající výšce terénu až na cca 10 m. Jedná se o ulehlé hlinité a jílovité písky až štěrky. Jemnozrná složka má střední plasticitu a tuhou až pevnou konzistenci. Dle klasifikace *ČSN EN ISO 14688-2* náleží do tříd siClSa až siClGr a clSa až clGr.
- **GT 5 – deluviální sedimenty** nejspíš nebudou v místech základových konstrukcí zastíženy, pokud ano, tak ve velmi malé mocnosti. Jsou to převážně jílovitohlinité štěrky hnědě až šedohnědě zbarvené. Obsahují ostrohranné a slabě opracované úlomky podložních hornin (břidlice, droby a diorit) jejichž velikost se pohybuje okolo 8-15 cm a podíl v zemině je cca 30-50%. Jílovitohlinitá výplň vykazuje slabou, nepravidelně distribuovanou písčitou příměs a je převážně tuhé

konzistence. Dle klasifikace *ČSN EN ISO 14688-2* náleží do třídy cIGr. Pod skalními výchozy se místy vyskytují kamenité sutě tvořené kameny o velikosti do cca 20 cm a slabě zastoupenou hlinitou výplní. Podle klasifikace *ČSN EN ISO 14688-2* se jedná převážně o třídu clgrCb.

skalní podloží

- **GT 6 – eluvium proterozoických a žilných hornin** se v minimální mocnosti do 0,3 m vyskytuje v místě založení patek oblouků. V místech založení opěr je pravděpodobná obdobná mocnost.

Rozložené horniny mají charakter hnědého až šedého jílu se střípky a úlomky podložních hornin o velikosti do 3 cm. Konzistence je pevná. Dle klasifikace *ČSN EN ISO 14688-2* náleží do třídy siCl či saCl. Tento typ nedoporučuji jako základovou půdu.

- **GT 7 – zcela až velmi zvětralé proterozoické a žilné horniny** se budou v mocnosti do 1 m vyskytovat v místech založení patek oblouků, kde byly částečně odstraněny říční erozí. V mocnostech okolo 1,5 m budou v místech založení podpěr.

Tyto horniny jsou silně až velmi silně rozpukané, svrchní partie jsou rozvolněné s destičkovitým až hranolovitým rozpadem u břidlic a drob a s polyedrickým u žilných hornin. V puklinách je vysoký obsah jílovitohlinité výplně. Úlomky dosahují velikosti 5 až 10 cm, jsou tvrdé a s limonitickými a hematitovými povlaky na puklinách. Dle rozšířené klasifikace *ČSN 73 6133 Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací* odpovídají tyto horniny rozhraní tříd R5 a R4. Tento typ nedoporučuji jako základovou půdu.

- **GT 8 – slabě až mírně zvětralé proterozoické a žilné horniny** se v mocnosti okolo 2,0 m budou vyskytovat v místech založení patek oblouků. V místech založení opěr může jejich mocnost kolísat mezi 4-10 m v závislosti na nepravidelném průběhu báze.

Jsou silně až středně rozpukané. Hornina je velmi tvrdá, jílovitohlinitá výplň se již neobjevuje a pukliny jsou převážně sevřené s limonitickými a hematitovými povlaky, místy s křemennými žilkami. U břidlic a drob převládá hranolovitá až deskovitá odlučnost a u žilných kosoúhlá. Dle klasifikace *ČSN 73 6133* odpovídají tyto horniny rozhraní tříd R4 a R3. Tento typ tvoří vhodnou základovou půdu pro založení mostních opěr.

- **GT 9 – zdravé proterozoické a žilné horniny** tvoří skalní podloží v celém zájmovém území.

Jsou středně rozpukané se sevřenými puklinami a s ojedinělými limonitickými a hematitovými povlaky, místy s křemennými žilkami. Břidlice a droby mají převážně hranolovitou odlučnost a žilné horniny kosoúhlu. Dle klasifikace ČSN 73 6133 odpovídají tyto horniny třídě R3 až R2. Tento typ tvoří vhodnou základovou půdu pro založení patek mostních oblouků.

Geotechnické vlastnosti výše uvedených geotechnických typů hornin a zemin jsou dle archivních podkladů (Bohátková 2005; Follprecht 2001; Šarf 1974; Vorel 1998), vlastních zkoušek a norem ČSN EN ISO 14689-1, ČSN EN ISO 14688-2, ČSN 73 6133 uvedeny v tabulkách č. 3 a 4.

Tab. 3 Geotechnické vlastnosti zemin

geotechnický typ - zeminy	GT 2A	GT 2B	GT 2C	GT 3	GT 4	GT 4	GT 5
zatřídění dle ČSN EN ISO 14688-2	siSa clSa	siCl saCl	siGr siclGr	siCl	siclSa clSa	siclGr clGr	clGr
zatřídění dle ČSN 73 6133	S4-SM S5-SC	F6-Cl F4-CS	G2-GP G3-G-F	F6-Cl F6-CL	S3-S-F S5-SC	G3-G-F G5-GC	G5-GC
konzistence, ulehlost	ulehlé až středně ulehlé	tuhá	ulehlé	tuhá až pevná	ulehlé	ulehlé	ulehlé
objemová tíha γ_n (kN.m ⁻³)	18	18,5	19	19	17,5	19	20,5
Poissonovo č. ν (1)	0,30	0,35 - 0,40	0,25	0,40	0,30	0,25	0,35
úhel vnitřního tření φ_{ef} (°)	28 - 32	20-24	32-35	20-22	30-33	32	24-28
soudržnost c_{ef} (kPa)	2-8	10-15	0	15	0	0	8-10
modul přetvárnosti E_{def} (MPa)	17 - 25	6	60 - 100	8	20-30	60 - 80	20-30

Tab. 4 *Geotechnické vlastnosti hornin*

geotechnický typ - horniny	GT 6	GT 7	GT 8	GT 9
zatřídění dle ČSN EN ISO 14688-2	siCl saCl	-	-	-
zatřídění dle ČSN 73 6133	F6-Cl F4-CS	R5/R4	R4/R3	R3/R2
konzistence, ulehlost	pevná	-	-	-
objemová tíha γ_n (kN.m⁻³)	19	22	24	26
Poissonovo č. ν (1)	0,25 – 0,30	0,25 – 0,30	0,20 – 0,25	0,15
úhel vnitřního tření φ_{ef} (°)	25-30	-	-	-
soudržnost c_{ef} (kPa)	5	-	-	-
stupeň zvětrání	5	3	1	0
vzdálenost diskontinuit	-	velmi malá	malá až střední	střední až velká
rozevření diskontinuit	-	široké	otevřené až sevřené	sevřené až velmi sevřené
modul přetvárnosti E_{def} (MPa)	25 - 35	50 - 100	200 – 300	600 - 1000

Technologické vlastnosti zastížených geotechnických typů jsou dle archivních podkladů (Bohátková 2005; Follprecht 2001; Šarf 1974; Vorel 1998), vlastních měření, norem ČSN 73 6133, ČSN EN ISO 14689-1, ČSN EN ISO 14688-2 a podle [Oborového třídníku stavebních konstrukcí a prací staveb pozemních komunikací](#) uvedeny v tabulkách č. 5 a 6.

Tab. 5 Technologické vlastnosti zemín

geotechnický typ - zeminy	GT 2A	GT 2B	GT 2C	GT 3	GT 4	GT 4	GT 5
zatřídění dle ČSN EN ISO 14688-2	siSa clSa	siCl saCl	siGr siclGr	siCL	siclSa clSa	siclGr clGr	ciGr
zatřídění dle ČSN 73 6133	S4-SM S5-SC	F6-Cl F4-CS	G2-GP G3-G-F	F6-Cl F6-CL	S3-S-F S5-SC	G3-G-F G5-GC	G5-GC
konzistence, ulehlost	ulehlé až středně ulehlé	tuhá	ulehlé	tuhá až pevná	ulehlé	ulehlé	ulehlé
namrzavost							
vhodnost do aktivní zóny (bez úprav)	podmínečně vhodné	nehodné až podmínečně vhodné	podmínečně vhodné až vhodné	nehodné	podmínečně vhodné	podmínečně vhodné až vhodné	podmínečně vhodné
vhodnost do násypů (bez úprav)	podmínečně vhodné	podmínečně vhodné	podmínečně vhodné až vhodné	podmínečně vhodné	podmínečně vhodné až vhodné	podmínečně vhodné až vhodné	podmínečně vhodné
těžitelnost	I	I	I-II	I	I	I	I-II
vrtatelnost pro piloty	I	I	II	I	I	I	II
vrtatelnost pro inj. vrty	I	I	II	I	I	I	II

Tab. 6 Technologické vlastnosti hornin

geotechnický typ - horniny	GT 6	GT 7	GT 8	GT 9
zatřídění dle ČSN EN ISO 14688-2	siCl saCl	-	-	-
zatřídění dle ČSN 73 6133	F6-Cl F4-CS	R5/R4	R4/R3	R3/R2
namrzavost		-	-	-
vhodnost do aktivní zóny (bez úprav)	podmínečně vhodné	-	-	-
vhodnost do násypů (bez úprav)	podmínečně vhodné	-	-	-
konzistence, ulehlost	pevná	-	-	-
těžitelnost	I	I	II – (III)	III
vrtatelnost pro piloty	II	II – III	III	III - IV
vrtatelnost pro inj. vrty	II	II – III	III	III - IV

8. ZHODNOCENÍ HORNINOVÉHO MASIVU

Jak je patrné z geologické mapy 1:2 000 a map stability svahů v měřítku 1:1 000 (přílohy b, 3), tvoří skalní výchozy poměrně velkou část strmých údolních svahů jak na pravém tak i levém břehu Vltavy. Vzhledem k jejich možné nestabilitě a potenciálnímu vlivu na průběh výstavby nového mostu jsem přistoupil k jejich podrobnému zhodnocení.

Na základě rekognoskace zájmového území jsem se rozhodl pro větší směrodatnost výsledků zhodnotit zvláště výchozy na levém a pravém břehu. Metodika a postupy vyhodnocení jsou pro oba břehy stejné.

V rámci terénních prací byly dokumentovány jednotlivé hodnotící parametry. Byl popsán celkový charakter svahů a byly identifikovány potenciální rizikové faktory. Dále byly na lokalitě vybrány dokumentační body, na kterých byl proveden podrobný popis geologických parametrů potřebných pro jejich celkové posouzení, vyhodnocení stability a klasifikaci SMR (Romana, 1993). Jednalo se o popis diskontinuit (orientace a sklon, typ, vzdálenost, průběžnost, drsnost, rozevření a výplň), druhu a pevnosti horninového materiálu a stavu výchozu. Každý dokumentační bod jsem zaměřil pomocí GPS přijímače Garmin a pokud to podmínky umožnily, fotograficky zdokumentoval. Z takto provedené dokumentace byly vypracovány protokoly, popisující dokumentační body, jež tvoří přílohu č. 2.

Při dokumentaci jsem použil geologický kompas od Freiburger Präzisionsmechanik (měření orientace diskontinuit a svahu v grádech), pásmo k měření vzdáleností a digitální fotoaparát. Ke skleroskopickému zjišťování pevnosti hornin (MPa) jsem použil Schmidtova kladiva typu „N“.

8.1. Zhodnocení horninového masivu dle normy ČSN EN ISO 14688-1

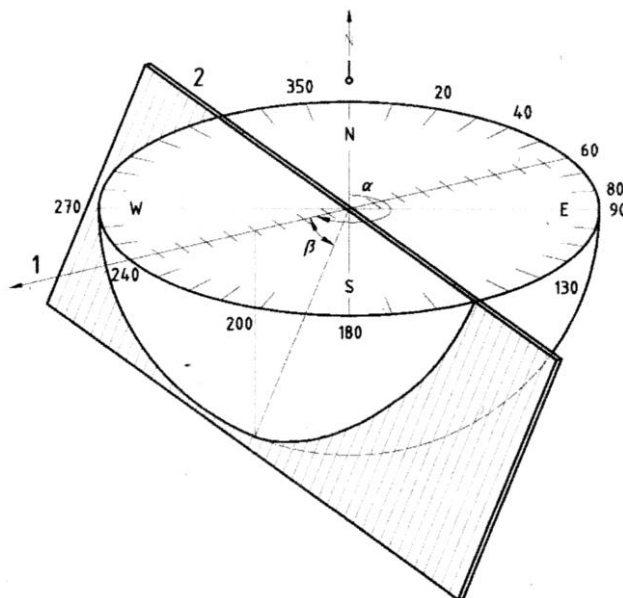
Postupy uvedené v této normě jsem využil k popsání základních parametrů všech 36 dokumentovaných výchozů. Popis stanovení jednotlivých parametrů je uveden v následující podkapitole.

8.1.1. Metodika hodnocení horninového masivu

Na dokumentačních bodech jsem hodnotil tyto parametry:

- 1) **směr sklonu a úhel sklonu** hlavních i vedlejších puklinových systémů jsem měřil geologickým kompasem. Postup měření je patrný z následujícího obrázku č. 4, na kterém

číslo 2 představuje vrstvu (diskontinuitu), α ukazuje směr sklonu (na obrázku = 240°) a β znázorňuje úhel sklonu (na obrázku = 50°).



Obr. 4 Schéma zobrazující směr sklonu a úhel sklonu vrstvy (diskontinuity)

2) **vzdálenost diskontinuit** jsem hodnotil dle tabulky č. 7. Kolmou vzdálenost mezi diskontinuitami jsem měřil pásmem a při větším rozptylu měřených hodnot jak cca 20% v dané kategorii uvádím rozmezí měřených hodnot zaokrouhlené na celé desítky. V popisu dokumentačních bodů uvádím pro lepší obecnou srozumitelnost hodnoty v mm.

Tab. 7 Popis vzdálenosti diskontinuit

Název	Vzdálenost (mm)
Velmi velká	větší než 2000
Velká	600 – 2000
Střední	200 – 600
Malá	60 – 200
Velmi malá	20 – 60
Extrémně malá	menší než 20

3) **velikost horninových bloků a jejich tvar.**

Tyto parametry umožňující lepší prostorovou představu o velikosti a tvaru horninových bloků vymezených puklinami. Jsou v přímé závislosti na vzdálenosti diskontinuit a společně dávají poměrně přesnou představu o uspořádání horninového masivu.

Tab. 8 Velikost horninových bloků

Název	Průměrná délka strany bloku (mm)
Velmi velký	větší než 2000
Velký	600 – 2000
Střední	200 – 600
Malý	60 – 200
Velmi malý	20 – 60

Velikost horninových bloků jsem určoval

podle tabulky č. 8. Průměrnou délku strany bloku jsem určoval jako průměr strany a a b

pro převažující velikost bloků, V případě různě velkých bloků jsem měřil nejmenší a největší a v dokumentaci uvádím rozptyl hodnot pomocí slovního hodnocení.

Tvar horninových bloků jsem odvozoval od konfigurace hlavních a vedlejších systémů diskontinuit.

- 4) **průběžnost diskontinuit** (persistence) jedná se o délku diskontinuity od jejího počátku až po její ukončení v horninovém masivu nebo na další diskontinuitě. Průběžnost jsem měřil s přesností na decimetry a pro každý puklinový systém zvlášť. Termín „průběžná“ jsem použil v případě, že puklina byla sledovatelná přes celý profil výchozu.
- 5) **drsnost povrchu** jsem hodnotil jednak podle výše uvedené normy, která určuje drsnost jako kombinaci velkého (několik metrů) nebo středního (několik centimetrů) rozsahu pozorování s malým rozsahem (několik milimetrů). Pro odhadnutí „stupně drsnosti“ slouží tabulka s možnými kombinacemi pozorování. Tato tabulka je stejná pro velký i střední rozsah pozorování (poskytuje tedy 2 x 6 možných kombinací) nicméně je pouze schématická a bez měřítka.

Protože jsem tento parametr potřeboval využít při výpočtu úhlu tření φ (viz kapitola č. 8.2.3) hodnotil jsem drsnost ještě podle typical roughness profiles for JRC range (Barton, 1978, s. 345). Toto hodnocení je oproti hodnocení v normě výhodnější v tom, že tabulka profilů je v měřítku a poskytuje tak větší přesnost určení drsnosti oproti hodnocení z normy, které mi přijde do značné míry subjektivní. K jednotlivým „stupňům“ drsnosti dle tohoto hodnocení je přiřazena hodnota parametru JRC (joint roughness coefficient), který jsem dále využíval.

V dokumentaci výchozů uvádím oba způsoby hodnocení. Pro zájmovou lokalitu jsem oba postupy zkoreloval, kdy danému hodnocení dle normy odpovídá hodnota JRC a naopak. Tato korelace je nicméně použitelná pouze pro mojí zájmovou lokalitu.

- 6) **rozevření diskontinuit** bylo měřeno s přesností na celé milimetry. V případě, že rozevření pukliny nebylo stejné nebo byly pukliny stejného systém různě rozevřené, je v dokumentaci uvedeno rozpětí naměřených hodnot.

Normou navrhované slovní hodnocení jsem nevyužil a v dokumentaci pro větší výpovědní hodnotu uvádím rozevření v milimetrech.

- 7) **výplň puklin** byla na základě makroskopického posouzení klasifikována dle ČSN EN ISO 14688-2.

8) **průsak vody** diskontinuitami nebyl v zájmové lokalitě zaznamenán, proto není v dokumentaci výchozů uveden. Jediným důkazem vlhkosti byla konzistence výplně, která byla ve většině případů měkká.

9) **zvětrání horninového masivu** k určení stupně zvětrání jsem použil tabulku č. 9. Hodnocení je založeno na poměru mezi zdravou a rozkládající se nebo rozpadnutou horninou.

Tab. 9 *Zvětrání horninového masivu*

Název	Popis
Zdravá	Bez viditelných znaků zvětrání horninového materiálu; možné nepatrné odbarvení na povrchu hlavní diskontinuity.
Slabě zvětralá	Odbarvení indikuje zvětrání horninového materiálu a povrchu diskontinuity.
Mírně zvětralá	Méně než polovina horninového materiálu je rozložená nebo rozpadnutá. Zdravá nebo odbarvená hornina je přítomna buď jako souvislý systém nebo jako nezvětralý balvan.
Velmi zvětralá	Více než polovina horninového materiálu je rozložená nebo rozpadnutá. Zdravá nebo odbarvená hornina je přítomna buď jako nesouvislý systém nebo jako nezvětralý balvan.
Zcela zvětralá	Veškerý horninový materiál je rozložen a/nebo se změnil na zeminu. Charakteristika masivu je převážně ještě neporušená.
Eluvium	Veškerý horninový materiál je přeměněn na zeminu. Stavba masivu a struktura materiálu jsou zničeny. Jsou zde veliké změny v objemech, ale zemina nebyla ještě významně transportována.

10) **polní stanovení pevnosti** jsem určoval pomocí geologického kladívka. Pro ověření správnosti tohoto hodnocení jsem na pravém břehu Vltavy v místě dokumentačního bodu č. 2 a 14 odebral vzorky horniny a nechal je v akreditované laboratoři Geotechnického servisu zhodnotit na pevnost v jednoosém tlaku. Na Levém břehu jsem pro stejný účel využil archivních zkoušek pevnosti v jednoosém tlaku na vzorcích z vrtů JP5, JV6 a JV7 (Bohátková, 2005). Výsledky těchto zkoušek jsou přehledně uvedeny v tabulce č. 10 a protokoly o provedených zkouškách jsou obsahem přílohy č. 2.

Tab. 10 *Výsledky zkoušek v jednoosém tlaku*

Dok. bod /sonda:	Číslo vzorku	Hloubka (m):	ČSN 73 6133	ρ_c (MPa)	w_n (%)	obj. hmotnost (kg/m ³)		makr. popis horniny
						ρ_n	ρ_d	
2	V1	povrch	R2	87,4	1,0	2579	2569	břidlice
14	V2	povrch	R2	83,6	1,3	2530	2517	břidlice
JP5	91066	11,0-12,0	R3	18,3	1,4	2677	2640	břidlice
JP5	91067	14,0-15,0	R3	32,1	0,6	2697	2682	břidlice
JP5	91065	23,0 - 24,0	R3	48,7	0,6	2680	2664	droba
JP5	91064	27,0 - 28,0	R2	86,5	0,4	2702	2693	břidlice
JV6	91591	5,0 – 7,0	R3	48,1	0,6	2707	2690	břidlice
JV6	91592	10,0 – 12,0	R2	67,1	0,2	2703	2697	břidlice
JV7	97576	8,6 – 9,3	R3	30,8	0,5	2715	2702	břidlice
JV7	97577	11,4 – 12,0	R2	53,5	0,4	2725	2713	břidlice

Dále jsem na vybraných dokumentačních bodech stanovil pevnost horniny na puklinách pomocí Schmidtova kladívka typu N. Takto získané pevnosti jsem použil při výpočtu úhlu vnitřního tření. Postup měření a jeho výsledky jsou uvedeny v samostatné kapitole č. 8.2.

8.1.2. Výsledky hodnocení horninového masivu

Všechny sledované parametry jsou přehledně uvedeny v popisu dokumentačních bodů v příloze č. 2.

Podrobné vyhodnocení měření směru a sklonu puklin je uvedeno v samostatné kapitole č. 8.5.

Sledovaný horninový masiv se na pravém i levém břehu Vltavy vyznačuje obdobnými vlastnostmi. Liší se pouze mírně odlišným směrem hlavních a vedlejších puklinových systémů (pravý břeh hlavní systémy 30°, 210°, 306° a vedlejší systémy 103°, 167°, 247°, levý břeh hlavní systémy 80°, 201°, 266° a vedlejší systémy 154° a 307°). Sklon puklin je na obou březích převážně strmý (70° - 80°), místy se však vyskytují plochy s mírnějším sklonem okolo 35° -55°, které při souhlasné orientaci směru sklonu se svahem mohou tvořit potenciální odlučné plochy.

Masiv je tvořen převážně slabě až mírně zvětralou břidlicí s občasnými polohami slabě zvětralých drob. Místy masivem prostupují žíly dioritového porfyritu, které jsou velmi

zvětralé s polyedrickým rozpadem. Geotechnické vlastnosti těchto hornin jsou podrobně uvedeny v kapitole č. 7.1.

Vzdálenost puklin je převážně střední (200-600 mm), přičemž na pravém břehu se vzdálenost puklin pohybuje spíše na spodní hranici intervalu a na levém břehu na horní hranici. Bloky mají převážně hranolovitý tvar, místy kosoúhlý. Jejich velikost je přímo úměrná vzdálenosti puklin, přičemž nejvíce se vyskytuje střední velikost. Pukliny jsou u hlavních i vedlejších puklinových systémů průběžné na vzdálenost 1-5 m. Stanovení průběžnosti bylo často limitováno velikostí výchozu a je předpoklad, že průběžnost puklin dále pokračuje v místech překrytých kvartérními uloženinami. Rozevření puklin se pohybuje v intervalu 0 – 5 mm s málo častým větším rozevřením až do 10 cm. Pukliny (hlavně více sevřené) jsou často bez výplně. Výplň tvoří písčité až jílovité hlína občas se střípky a úlomky břidlice do 5 mm 15% a kořínky a kořeny vegetačního pokryvu. Konzistence výplně je měkká až tuhá.

Drsnost puklin je podrobně vyhodnocena v kapitole č. 8.2.3. Dle hodnocení uvedeného v normě je povrch diskontinuit nejčastěji zvlňený hladký až zvlňený drsný což odpovídá 6 – 10 bodům parametru JRC.

Pevnost všech zastižených hornin je obdobná a závisí na stupni zvětrání. Její velikost se pohybuje v intervalu 20 – 85 MPa. Dle ČSN 73 6133 jsou horniny řazeny do třídy R3-R2 přičemž třída R2 na skalních výchozech zcela převažuje.

8.2. Měření Schmidovým kladívkem a výpočet úhlu vnitřního tření

Na vybraných dokumentačních bodech jsem provedl měření skleroskopické pevnosti s nezaručenou přesností pomocí Schmidova kladívka typu N. Po vyhodnocení měření jsem získané hodnoty využil pro výpočet úhlu tření φ .

8.2.1. Metodika měření Schmidovým kladívkem

Po rešerši podkladů týkající se měření Schmidovým kladívkem jsem se rozhodl na základě srovnání evropských a národních norem (Brožovský, 2010) při měření postupovat podle normy ČSN 73 1373 *Tvrdoměrné metody zkoušení betonu*.

K měření jsem použil Schmidovo kladivo typu N, které má rozsah měření dle výrobce 10 – 70 MPa. Podle ČSN 73 1373 se tento typ doporučuje pro měření pevnosti v rozmezí 17 – 60 MPa.

Každé zkoušené místo jsem nejdříve obrousil brusným kamenem, abych ho zbavil svrchní narušené vrstvy s nižší pevností (postup dle normy ČSN EN 12504-2). Obroušení pomocí brusky s diamantovým kotoučem, která doporučuje norma ČSN 73 1373 a které dle Brožovského (2010) dává přesnější výsledky, jsem vzhledem k polním podmínkám nemohl použít.

Na každém zkušebním místě jsem provedl 9 platných měření. Celkem jsem na 21 výchozech provedl měření na 56 zkušebních místech, přičemž při vyhodnocení se jako neplatné ukázalo být měření na sedmi místech.

Během vyhodnocení jsem každé hodnotě odrazu na jednom zkušebním místě přiřadil dle kalibračního vztahu 1 až 5 (podle orientace kladívka při měření) hodnotu pevnosti s nezaručenou přesností. Z těchto hodnot jsem vypočetl průměrnou hodnotu pevnosti a hodnoty lišící se o více jak $\pm 20\%$ jsem vyloučil, přičemž pokud se o $\pm 20\%$ lišili 4 a více hodnoty odrazu, prohlásil jsem celé měření za neplatné. Ze zbývajících platných hodnot jsem spočítal nový průměr a hodnotu jsem vynásobil opravným koeficientem $\alpha_t = 0,9$, který se využívá při stáří materiálu více jak 200 dní. Tato hodnota, po zaokrouhlení na celé číslo, reprezentuje výslednou hodnotu pevnosti na zkušebním místě.

Při výpočtech pevnosti jsem použil následující kalibrační vztahy (ČSN 73 1373; Brožovský 2010):

- směr zkoušení: vodorovně
$$f_{ce} = 0,0095 R^2 + 1,0046 R - 14,988 \quad (1)$$

- směr zkoušení: svisle dolů
$$f_{ce} = 0,0073 R^2 + 1,1682 R - 12,964 \quad (2)$$

- směr zkoušení: svisle nahoru
$$f_{ce} = 0,0081 R^2 + 1,1346R - 24,717 \quad (3)$$

- směr zkoušení: šikmo dolů
$$f_{ce} = 0,0076 R^2 + 1,166 R - 14,626 \quad (4)$$

- směr zkoušení: šikmo nahoru
$$f_{ce} = 0,0109 R^2 + 0,93546 R - 19,136 \quad (5)$$

R - hodnota odrazu odečtená z kladívka (rebound value)

Uvedené vztahy platí pro rozptyl hodnot $24 \leq R \leq 55$.

8.2.2. výsledky měření Schmidtovým kladívkem

Jelikož měření Schmidtovým kladívkem je primárně určeno pro zkoušení betonu, bylo měření negativně ovlivněno několika faktory:

- **rozpuštěním horninového masivu** – přestože jsem se snažil měření vždy provádět na neporušeném úseku, nešlo vyloučit blízké rozevřené pukliny rovnoběžné případně ukloněné pod zkušební plochou. Při existenci systému puklin na ně kolmých může dojít při zkoušení k pohybu celého bloku a tím snížení výsledné pevnosti.
- **sklonem kladívka při měření** - korelační vztahy jsou koncipovány pro sklon kladívka po 45 stupňových krocích vzhledem k vodorovné rovině, ale zkoušené plochy skalních výchozů byly logicky ukloněné v celém 180° rozsahu. Vzhledem k vysokému zkreslení při jiném než kolmém přiložení kladívka na zkoušenou plochu (myšlen pravý úhel mezi kladívkem a zkoušenou plochou), jsem kladívko přikládal kolmo na plochu a volil ten korelační vztah, který byl nejbližší sklonu zkoušené plochy. Při změně úhlu kladívka oproti korelačnímu vztahu o 22,5° dochází k cca 10% chybě měření.
- **měřením mimo doporučený interval** - po porovnání výsledků získaných měřením Schmidtovým kladívkem a zkouškou v prostém tlaku na stejných místech vychází až o 35% nižší hodnoty při použití Schmidtova kladívka. Takto velká nepřesnost je pravděpodobně způsobena jednak nedostatečným obroušením povrchové zvětralé vrstvy (Brožovský (2010) uvádí 12% variační koeficient odrazu při použití brusného kamene oproti 6% při použití brusky) a dále měřením na konci případně až za doporučeným intervalem měřených hodnot (dle ČSN 73 1373 je to 55 MPa, dle údaje výrobce 70 MPa).

Pokud sečteme maxima všech chyb, které mohou nastat, dochází ke zkreslení výsledků i o více jak 50% směrem dolů. Dle mého názoru je tedy možné brát naměřené hodnoty pouze jako orientační a podhodnocené oproti skutečnosti. Pro zpřesnění výsledků by pomohlo během měření Schmidtovým kladívkem v terénu odebrat alespoň 3-5 vzorků ze zkušebních míst, které budou pokrývat celý měřený rozsah pevností. Na těchto vzorcích udělat zkoušku v prostém tlaku a z výsledků vytvořit korelační křivku pro danou lokalitu a kladívko.

Naměřené hodnoty a výsledky jsou přehledně uvedeny v tabulce v příloze č. 5.

8.2.3. Metodika výpočtu úhlu tření φ

Úhel tření (φ) jsem se rozhodl stanovit, vzhledem k jeho potřebě při určování stability skalních výchozů pomocí stereografických projekcí. K jeho výpočtu pro jednotlivé směry

puklin na vybraných dokumentačních bodech jsem využil vztahu 6 podle Bartona (1978), který udává úhel tření na puklině.

$$\varphi = \text{JRC} \log_{10} \left(\frac{\text{JCS}}{\sigma_n} \right) + \varphi_r \quad (6)$$

φ – úhel tření na puklině

JRC – joint roughness coefficient

JCS – joint wall compression strenght

σ_n – normálové napětí

φ_r – úhel tření reziduální

Parametr JRC jsem stanovoval v terénu pomocí typical roughness profiles for JRC range (Barton, 1978, Fig. 19). Za hodnotu JCS jsem dle Bartona (1978) dosadil pevnost s nezaručenou přesností zjištěnou na základě měření Schmidtovým kladívkem a pokud byla k dispozici, tak hodnotu získanou zkouškou v prostém tlaku. Normálové napětí jsem zvolil pro všechny výpočty rovno dvěma a reziduální úhel tření jsem na základě doporučení Bartona (1978) zvolil roven 30°.

8.2.4. Výsledky výpočtu úhlu tření φ

Výhodou daného postupu výpočtu je to, že udává úhel tření na puklině, který je nižší než úhel tření v masivu. Jeho velikost je závislá na drsnosti pukliny, která je ve výpočtu uvažována pomocí parametru JRC. Tudíž je výsledek na straně bezpečnosti. Přesnějších výsledků by šlo dosáhnout použitím přesného měření úhlu sklonu jednotlivých nerovností na puklině, jak uvádí Pavlík (1981, s. 41-45). Mnou použitý postup je nicméně dosti jednodušší a rychlejší a dle mého názoru, dává pro účely této práce dostatečně přesné výsledky.

8.3. Hoek-Brownovo kritérium porušení

Pomocí tohoto kritéria, které bylo odvozeno Hoekem a Brownem a publikováno v roce 1980 (Hoek and Brown, 1980) lze poměrně snadno stanovit obálku porušení horninového masivu pro hlavní (σ_1) a vedlejší (σ_2) efektivní napětí, pomocí znalosti pevnosti v prostém tlaku a materiálových konstant m a s .

Pro moji práci jsem využil generalizovanou verzi tohoto kritéria (Hoek and Brown, 2002) implementovanou do programu RockLab ([2007](#)), která využívá hodnocení Geological Strength Index (GSI) a zavádí vztahy pro převod Hoek-Brownova kritéria na Mohr-Coulombovo kritérium.

8.3.1. Metodika výpočtu Hoek-Brownova kritéria

Generalizovaná veze Hoek-Brownova kritéria (2002) má tento tvar:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a \quad (7)$$

σ_1 a σ_3 – hlavní a vedlejší efektivní napětí

σ_{ci} – pevnost v prostém tlaku na neporušeném vzorku

m_b – je redukovaná hodnota materiálové konstanty dle vztahu

$$m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI-100}{28-14D}\right) \quad (8)$$







s , a – jsou konstanty dány těmito vztahy:

$$s = \exp\left(\frac{GSI-100}{9-3D}\right) \quad (9)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{-\frac{GSI}{15}} - e^{-\frac{20}{3}} \right) \quad (10)$$

D – vyjadřuje stupeň porušení odštěry či uvolnění napětí po odtěžení. Pro neporušený horninový masiv je rovný nule a pro velmi rozrušený jedné.

GSI – Geological Strength Index – udává číselnou hodnotu závislou na rozpukání a zvětrání horninového masivu. Určuje se pomocí grafu na obrázku č. 5.

		SURFACE CONDITIONS				
		VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR	VERY POOR
STRUCTURE		DECREASING SURFACE QUALITY →				
	INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90			N/A	N/A
	BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	80				
	VERY BLOCKY- interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets		70			
	BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity		60			
	DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces			50		
	LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes			40		
				30		
				20		
				10		
		N/A	N/A			

Obr. 5 Graf pro určení indexu GSI

Pomocí vztahů 7 až 10 lze stanovit obálku porušení horninového masivu pro σ_1 a σ_2 . Případně pomocí dalších převodních vztahů i pro normálově (σ) a střížné (τ) napětí (Hoek and Brown, 2002, rovnice 8, 9, 10).

Hoek and Diederichs (2006) uvádějí upravenou rovnici 11 pro výpočet modulu deformace masivu E_{rm} (rock mass deformation modulus) se zavedeným parametrem D dle Hoeka and Browna (1997) a neporušeným modulem E_i (intact modulus). Modulem E_i rozumí modul stanovený na neporušeném vzorku. Zároveň uvádějí, že tento modul se málokdy stanovuje a pokud ano, tak jeho spolehlivost, vzhledem k možnému porušení zkušebnímu vzorku, není velká. Zavádějí proto rovnici 12 pro výpočet modulu E_i pomocí pevnosti v prostém tlaku a poměrového modulu MR , který je stanoven podle druhu horniny.

Na základě srovnání různých modulů a jejich způsobů stanovení (Drozd, 2001) jsem dospěl k názoru, že modul deformace masivu E_{rm} odpovídá nejlépe modulu přetvárnosti E_{def} stanoveném in-situ například zkouškou se zatěžovacími deskami.

$$E_{rm} = E_i \left(0,02 + \frac{1-d/2}{1+e^{\left(\frac{60+15D-GSI}{11}\right)}} \right) \quad (11)$$

$$E_i = MR\sigma_{ci} \quad (12)$$

Dále Hoek and Brown (2002) stanovují vztahy pro výpočet pevnosti horninového masivu v jednoosém tlaku σ_c (uniaxial compressive strength) a v tahu σ_t (tensile strength).

Velikost σ_c získáme, pokud v rovnici 7 položíme $\sigma_3 = 0$ čímž dostaneme:

$$\sigma_c = \sigma_{ci} s^a \quad (13)$$

Hoek and Brown (2002) ukazují, že pro křehký materiál je jednoosý tah roven dvouosému a lze tedy použít tuto rovnici pro dvouosý tah $\sigma_1 = \sigma_3 = \sigma_t$. Pokud tuto podmínku použijeme v rovnici 7 lze z ní odvodit následující vztah pro σ_t :

$$\sigma_t = -\frac{s\sigma_{ci}}{m_b} \quad (14)$$

8.3.2. Výsledky výpočtu Hoek-Brownova kritéria

Výpočet Hoek-Brownova kritéria jsem použil pro dokumentační bod 2 a 14, ze kterých jsem měl hodnotu pevnosti v prostém tlaku, a pro místa archivních vrtů JP5 a JP6 (Bohátková, 2005) pro které byla pevnost také zkoušena. Pro archivní vrty jsem využil pevnosti z hloubek, které byly nejbližší předpokládané základové spáře (pro vrt JP5 11-12 m a pro JV6 5-7 m).

Stupeň GSI jsem určil podle obrázku č. 5. U archivních vrtů jsem vycházel z popisu vrtného jádra s přihlédnutím na stav výchozů v blízkosti vrtů.

Parametry m_i a MR odpovídají středním hodnotám pro břidlici. Parametr D jsem zvolil roven nule, jelikož jde o přírodní svahy a parametr E_i je vypočten dle vztahu 12.

Hodnoty jednotlivých parametrů a výsledné hodnoty jsou přehledně uvedeny v tabulce č. 11, spolu se srovnáním modulů přetvárnosti E_{def} získaných z archivních měření (Bohátková, 2005). Celkové výsledky s grafy obálek pevnosti pro σ_1 , σ_3 a σ a τ jsou uvedeny v příloze č. 6.

Tab. 11 Zadané a vypočtené hodnoty Hoek-Brownova kritéria

	Dok. b. 2	Dok. b. 14	vrt JP5	vrt JV6
Hoek Brown Classification				
σ_{ci} (MPa)	84	87	18	48
GSI	55	55	40	60
m_i	6	6	6	6
D	0	0	0	0
E_i	16800	16800	3600	9600
MR	200	200	200	200
Hoek Brown Criterion				
m_b	1,2028	1,2028	0,7039	1,4379
s	0,0067	0,0067	0,0013	0,0117
a	0,5040	0,5040	0,5114	0,5028
Rock Mass Parameters				
σ_t (MPa)	-0,471	-0,487	-0,033	-0,392
σ_c (MPa)	6,757	6,998	0,595	5,136
E_{rm} (MPa)	6859	7104	575	4992
E_{def} (MPa)*	-	-	1580-3700	4300

m_i – materiálová konstanta

* - stanoveno laboratorní zkouškou (Bohátková, 2005)

Vypočtené parametry, lze dle mého názoru, považovat ze relevantní a využitelné při dalších aplikacích. Popsaná metoda poskytuje, při využití jednoduché a levné zkoušky pevnosti v prostém tlaku a rekognoskaci terénu, základní parametry pevnosti horninového masivu, které se musí jinak zjišťovat náročnými a drahými zkouškami v terénu. Použitý program dále umožňuje zpřesnění výsledků při využití hodnot σ_1 , σ_3 získaných triaxiální zkouškou.

8.4. Hodnocení SMR

Klasifikaci SMR (Slope Mass Rating), navrhl pro popis stability skalních svahů Romana v roce 1985. Tato klasifikace je založena na Bieniawského hodnocení RMR (Rock Mass Rating) od kterého odečítá parametry popisující vztah mezi orientací a sklonem puklin a svahu a přičítá k němu parametr zohledňující způsob vzniku svahu.

Tato metoda se v Čechách používá například při hodnocení skalních stěn podél železničních tratí (Olišar, 2009).

Pro svoji práci jsem používal úpravy výpočtu jednotlivých parametrů původní klasifikace SMR navržené Tomášem (2007). Pro určení hodnot klasifikace RMR jsem použil postup dle Bieniawského (1989).

8.4.1. Metodika hodnocení SMR

Základní rovnice pro výpočet velikosti SMR je podle Romany (1993) tato:

$$SMR = RMR + (F1 \cdot F2 \cdot F3) + F4 \quad (15)$$

RMR – hodnocení skalního masivu dle klasifikace RMR

F1 – opravný koeficient vztahující se k orientaci sklonu svahu a dominujícího systému diskontinuit na hodnoceném skalním masivu

F2 – opravný koeficient vztahující se ke sklonu svahu hodnoceného skalního masivu

F3 – opravný koeficient vztahující se ke sklonu svahu a dominujícímu systému diskontinuit v hodnoceném skalním masivu

F4 – opravný koeficient vztahující se ke způsobu vytvoření popisovaného skalního masivu

Hodnotu RMR jsem určoval pomocí tabulky č. 12. Velikost pevnosti jsem stanovil podle zkoušky v prostém tlaku či podle měření Schmidovým kladívkem. Rock Quality Designation (RQD) jsem určoval pomocí vzorce 16 dle Palmstroma (2005). Jedná se o upravenou verzi jeho původního vzorce. Úpravu provedl na základě svého dalšího výzkumu, přičemž nový vzorec dává oproti původnímu dle autora přesnější výsledky.

Parametr RQD vyjadřuje rozpuštění masivu a je dán celkovou délkou dílčích částí jádra, delších než 10 cm, vztažených k délce návrhu. Vzhledem k absenci vrtných sond bylo RQD počítáno dle vztahu 17 se zavedením parametru volumetrického počtu puklin J_v . Tento parametr vystihuje rozpuštění horninového masivu na základě vzdálenosti puklin (jejich měření je popsáno v kapitole č. 8.1.1).

$$RQD = 110 - 2,5J_v [\%] \quad (16)$$

$$J_v = 1/S_1 + 1/S_2 + 1/S_3 \quad (17)$$

J_v – volumetrický počet puklin

S_1, S_2, S_3 – vzdálenost puklin jednotlivých systémů ve směru kolmém k ploše pukliny

Pro hodnocení vlastnosti diskontinuit jsem vyšel z hodnoty JRC s přihlédnutím k rozevření a případné výplni pukliny.

Podzemní voda neboli průsak byl hodnocen vizuálně v terénu více viz kapitola 8.1.1.

Opravné koeficienty F1 až F3 byly počítány dle vztahů, uvedených v tabulce 13 resp. výpočtem dle vztahů, navržených Tomásem et al. (2007) a to pro každý dokumentační bod odděleně pro všechny puklinové systémy. Pro hodnocení SMR byla z vypočtených hodnot vybrána vždy ta nejméně příznivá. Podle konfigurace puklin na výchozu jsem při výpočtu uvažoval buď s planárním a klínovým typem porušení (v tabulce značeno jako P) nebo s překlápěním bloků (v tabulce značeno jako T).

Opravný součinitel F1 je závislý na orientaci hodnocené diskontinuity a skalní stěny. Nabývá hodnot mezi 0,15 a 1. Velikost opravného součinitele F2 je závislá na sklonu hodnocené diskontinuity s potenciálem smykového porušení. Pro porušení typu překlápění nabývá pouze hodnoty 1. Opravný součinitel F3 vystihuje vztah mezi sklonem diskontinuity a orientací skalní stěny. Opravný koeficient F4 se vztahuje ke genezi skalní stěny.

Tab. 12 Základní hodnocení dle klasifikace RMR (Bieniawski, 1989)

Parametr		Rozsahy hodnot a jejich bodování						
Pevnost horniny v prostém tlaku	Bodová pevnost v tlaku	nad 10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Pro tyto malé rozsahy je preferována zkouška jednoosé pevností v tlaku		
	Jednoosá pevnost v tlaku	nad 250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	< 1 MPa
Bodování		15	12	7	4	2	1	0
RQD (Rock Quality Designation)		90-100%	75-90 %	50-75 %	25-50 %	méně než 25 %		
Bodování		20	17	13	8	3		
Vzdálenost diskontinuit		nad 2 m	0.6-2 m	200-600 mm	60-200 mm	méně než 60 mm		
Bodování		20	15	10	5	5		
Vlastnosti diskontinuit		Velmi hrubý povrch, neprůběžné, sevřené, zdravé stěny	Mírně drsné, rozevření do 1 mm, mírně zvětralé stěny	Mírně drsné, rozevření do 1 mm, silně zvětralé stěny	Smykové plochy nebo výplň mocná do 5 mm nebo rozevření do 5 mm. průběžné	Měkká výplň mocnější než 5 mm nebo rozevření větší než 5 mm, průběžné		
Bodování		30	25	20	10	0		
Podz. voda	Součinitel pórového tlaku	0	0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	více než 0,5		
	Obecně	úplné sucho	vlhko	mokro	kapání	soustředěný výtok		
Bodování		15	10	7	4	0		

Tab. 13 Hodnocení orientace diskontinuit a geneze svahu (Romana, 1993)

Případ		Velmi příznivá	Příznivá	Dobrá	Nepříznivá	Velmi nepříznivá
P	$ \alpha_j - \alpha_s $	více než 30°	30 - 20°	20 - 10°	10 - 5°	5°
T	$ \alpha_j - \alpha_s - 180^\circ $	více než 30°	30 - 20°	20 - 10°	10 - 5°	5°
P/T	F 1	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
P	$ \beta_j $	méně než 20°	20 - 30°	30 - 35°	35 - 45°	45°
P	F 2	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
T	F 2	1	1	1	1	1
P	$\beta_j - \beta_s$	více než 10°	10° až 0°	0°	0° až -10°	méně než -10°
T	$\beta_j + \beta_s$	méně než 110°	110 - 120°	více než 120°	-	-
P/T	F 3	0	- 6	- 25	- 50	- 60
Způsob vytvoření svahu		Přírodní svah	Trhací práce tzv. presplitem	Trhací práce hladkým odlomem	Trhací práce jiným způsobem či mechanické rozpojení	Špatně provedené trhací práce
F 4		+ 15	+ 10	+ 8	0	- 8

Vysvětlivky:

P planární porušení; T porušení překlápěním, P/T hodnocení pro případ porušení překlápěním nebo planárního porušení; α_j směr sklonu diskontinuity, α_s směr sklonu svahu, β_j sklon diskontinuity, β_s sklon svahu

8.4.2. Výsledky hodnocení SMR

Hodnocení SMR jsem určil pro všechny dokumentační body, u kterých jsem stanovil RQD a měl změřeny alespoň dva puklinové systémy.

U dokumentačních bodů, kde jsem tyto data neměl, se jedná o výchozy žilných hornin (dokumentační body 7, 16, 20), suťové pole (dokumentační bod 13) a výkop pro opěrnou zeď (dokumentační bod 17). Na těchto místech se dá předpokládat zvýšená frekvence řízení až sesouvání sutí. Objem sutí je celkem malý, stejně jako dráha, kterou mohou urazit. Představují tak jen mírné riziko pro domy č.p. 72 a 66 v ulici V Zámcích.

Všech zbývajících 31 dokumentačních bodů jsem zhodnotil pomocí klasifikace SMR. Výsledky hodnocení jsou přehledně uvedeny v tabulce v příloze č. 4 Z výsledných hodnot jsem pro levý a pravý břeh Vltavy sestavil přehledné mapy stability skalních stěn v měřítku 1:1000 (viz příloha č. 3).

Na **pravém břehu Vltavy** se vyskytuje většinou třída II, jedná se tedy o stabilní svah, který dle Romana (2003) nepotřebuje sanovat. V místě projektovaného mostu a nad domy č.p. 72 a 66 vychází stabilita stěn III třídy, tedy jako částečně stabilní. Romana (2003) v tomto případě doporučuje sanaci pomocí ochranných sítí, plotů, úpatních příkopů či kotvení uvolněných bloků.

Navrhovaná sanační opatření na pravém břehu Vltavy vzhledem k výstavbě mostu: Jak je patrné z mapy v příloze č. 3 může teoreticky dojít na pravém břehu k ohrožení patky oblouků a pobřežní komunikace spadlými balvany. V současnosti tvoří přirozenou ochranu cesty a potažmo patky oblouků cca 20 m široký pás vzrostlých stromů na mírně ukloněném svahu (cca 10 – 15°). Velikost bloků, které se můžou uvolnit ze skalních stěn, jsem na základě hodnocení dle normy *ČSN EN ISO 14689-1* (viz kapitola 8.1) určil do 1 m³. V případě vykácení stromů by bylo vhodné použít vhodný ochranný prostředek dle výše uvedených možností, nejspíše kombinaci ochranných sítí a plotů.

Navrhovaná sanační opatření pro objekty p.č. 72 a 66: objekt p.č. 72 je chráněn plotem z pletiva (viz dokumentační bod č. 18). Tuto ochranu hodnotím jako dostatečnou a funkční. Podobnou ochranu by bylo vhodné postavit i na úpatí suťového pole u dokumentačního bodu č. 10 a chránit tak objekt p.č. 66.

Na **levém břehu Vltavy** jsou všechny větší skalní výchozy chráněny v nedávné době postaveným systémem sanačních opatření sestávajících se převážně z ochranných sítí

přikotvených k horninovému masivu a podružně ze záchytných plotů z drátěného pletiva. Tyto opatření mění mnou zjištěné třídy IV – III (částečně stabilní až nestabilní) na třídu II (stabilní). Celé zájmové území na levém břehu lze proto považovat za stabilní a bez potřeby dalších sanačních prací.

Použitá klasifikace poskytuje, dle mého názoru, orientační přehled o stabilitě horninového masivu na větším území. Její výhodou je snadné určení vstupních parametrů a rychlost vyhodnocení. Za nedostatek je třeba brát, že metoda nezohledňuje některé důležité parametry výrazně ovlivňující výslednou stabilitu horninového masivu jako je přítomnost výplně puklin, náchylnost hornin ke zvětrávání nebo vliv sněhu a ledu na stabilitu svahu. Jiné parametry nejsou určovány dostatečně průkazně, což je případ zjišťování pevnosti horniny v tlaku pomocí Schmidtova kladívka, které poskytuje pouze přibližné hodnoty pevnosti (více viz kapitola 8.2.2).

8.5. Vyhodnocení měření směru a sklonu puklin pomocí stereografických metod

Vzhledem k objemu naměřených dat (cca 100 a 100 měření puklin pro pravý a levý břeh) jsem zvolil, jako jednu z metod hodnocení horninového masivu, hodnocení pomocí stereogramů. Tato metoda je vhodná pro analýzu a interpretaci orientovaných třídimenzionálních dat jako jsou například pukliny. Stereogram je založený na stereografické projekci, pomocí které se třídimenzionální data převádějí na dvojrozměrná (tzn. na papír) při zachování jejich informační hodnoty. Projekce je nejčastěji na horní nebo spodní polokouli. Pro převod dat zobrazených pomocí projekce na polokouli do plochy se v praxi využívá buď Wulffova úhlojevná síť nebo Schmidtova (Lambertova) plochojevná síť (Howarth, 1996).

Ve svojí práci jsem využil metodu konturových diagramů pro získání souhrnného přehledu o vlastnostech všech měření. Pro jednotlivé dokumentační body jsem pomocí úhlojevné Wulffovy sítě vytvořil tektonogramy zobrazující orientaci jednotlivých puklin, z nichž lze posoudit stabilitu daného dokumentačního bodu.

Všechny prezentované výsledky v této práci byly vytvořeny pomocí programu OpenStereo ([Grohmann and Campanha, 2010](#)).

8.5.1. Konturové diagramy

Pro získání celkového obrazu o převládajících směrech a sklonu puklin na zájmové lokalitě jsem použil konturové diagramy. Vzhledem k oddělenosti levého a pravého břehu

jsem se rozhodl vytvořit konturový diagram zvlášť pro levobřežní a pravobřežní svah. Pro levý břeh jsme kromě vlastních měření použil i archivní hodnoty (Bohárková, 2005), viz příloha č. 10 dokumentace archivních vrtů a výchozů.

Póly všech měřených diskontinuit jsem zobrazil pomocí Schmidovy plochojevné sítě na spodní polokouli. Samotný konturový diagram jsem provedl pomocí Fisherova rozložení dle Priesta (1993).

Pro výsledný konturový diagram jsem podle míst s největší hustotou bodů (směru puklin) určil hlavní (číslované) a vedlejší (značené písmeny) skupiny puklinových systémů v zájmovém území. Do jedné skupiny jsem zahrnul všechny pukliny s odchylkou $\pm 15^\circ$ od směru sklonu skupiny. Pro větší přehlednost jsem pro každý diagram nakreslil histogramy hodnot pro směr sklonu a sklon puklin.

8.5.2. Tektonogramy

Tektonogramy jsem vytvořil zvlášť pro každý dokumentační bod. Na tektonogramech jsou pomocí Wulfovy sítě s projekcí na spodní polokouli vykresleny roviny diskontinuit a svahů.

Při znalosti úhlu tření na puklinách (viz kapitola č. 8.2) jsem všechny tektonogramy podrobil analýze na možnou nestabilitu. Při analýze jsem využil Marklandův test popsany Klichem (1999). Tento test využívá projekci roviny (great circle) reprezentující svah dohromady s kruhem reprezentujícím úhel tření na puklinách φ . Zóna mezi rovinou reprezentující svah na jeho lícové straně a kruhem úhlu tření reprezentuje kritickou zónu ve které je případná nestabilita (planární či klínový pohyb) kinematicky možná, pokud jsou splněny tyto tři podmínky:

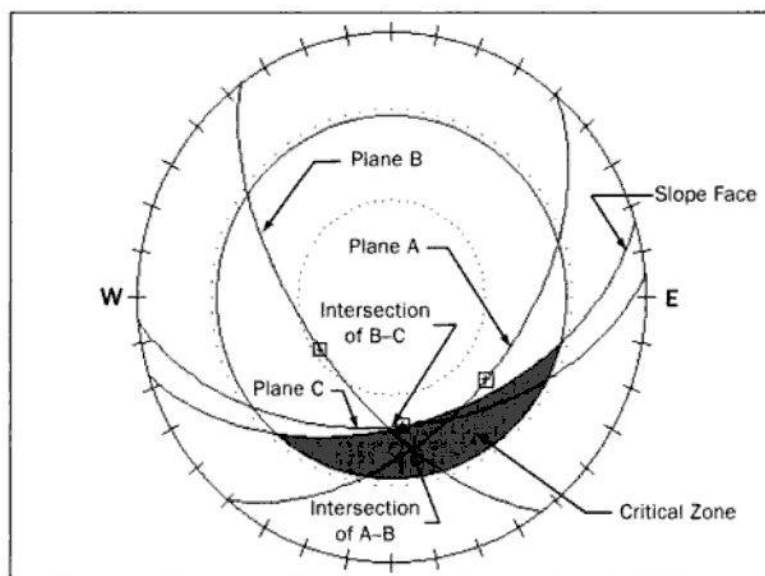
- sklon pukliny či přímka vymežující úžlabí mezi dvěma puklinami (β) musí být větší než úhel tření
- puklina či přímka vymežující úžlabí mezi dvěma puklinami musí vystupovat na lici svahu
- sklon pukliny či přímka vymežující úžlabí mezi dvěma puklinami musí být menší než sklon svahu (ψ)

Tyto podmínky je možné vyjádřit vztahem:

$$\psi > \beta > \varphi \quad (18)$$

Doplňující podmínkou pro vznik planárního pohybu je dle Hoeka and Braye (1981), že směr sklonu pukliny musí být menší než $\pm 20\%$ velikosti směru sklonu svahu.

Na obrázku č. 7 je vidět svah o směru 140° a sklonu 80° , úhel tření je 35° . Dva potenciálně nestabilní klínové bloky jsou reprezentované průnikem puklin A s B a A s C. Blok tvořený průnikem puklin B a C neleží v kritické zóně a je považován za bezpečný.



Obr. 6 Markland test pro potenciální klínové porušení (Klich, 1999)

Dle Klicha (1999) je tato analýza konzervativní, neboť nezahrnuje vliv průběžnosti puklin a všechny pukliny považuje za průběžné a uvažuje kohezi rovnou nule. Lze tudíž stanovit redukovaný stupeň bezpečnosti (FS) dle rovnice:

$$FS = \frac{\tan\varphi}{\tan\beta} \quad (19)$$

8.5.3. Výsledky stereografických metod

Konturové diagramy s rozdělením na jednotlivé skupiny puklinových systémů a histogramy pro pravý i levý břeh jsou uvedeny v příloze č. 7 a v popisu dokumentačních bodů (příloha č. 2) jsou měřené pukliny do těchto skupiny zaříděny.

Tektonogramy pro jednotlivé dokumentační body jsou uvedeny v jejich popisu v příloze č. 2. Vybrané dokumentační body s možnou nestabilitou jsou podrobně vyhodnoceny v příloze č. 7.

Zhodnocení pomocí konturového diagramu se ukázalo jako vhodný prostředek pro získání celkového přehledu o převládajících a podružných směrech sklonu a sklonu puklin

v zájmovém území. Dle Pouby (1959) lze obecně považovat diagram za spolehlivý, pokud obsahuje více jak 100 měření, což bylo splněno.

Pomocí tektonogramů jsem určil celkem čtyři potenciálně nestabilní výchozy. V případě dokumentačního bodu č. 12 se jedná o nebezpečí klínového vyjíždění bloků. Jelikož dokumentační bod leží v blízkosti předpokládaného místa založení pravobřežní opěry je třeba toto vzít v potaz při realizaci stavební jámy, zvláště pak její jižní strany.

V případě dokumentačního bodu č. 27 na pravém břehu hrozí nebezpečí nestability v případě zvětšení sklonu svahu o cca 10°. Svah v tomto místě tvoří boční erozní údolí místy s patrnými starými projevy nestability (pohyb po planární ploše a klínové porušení). Je proto možné předpokládat, že k podobným projevům může dojít i v budoucnu.

Bloky na dokumentačních bodech č. 29 a 34 a levém břehu vychází jako stabilní. Nicméně při poklesu φ o cca 10° například vlivem zvodnění puklin při jarním tání, může dojít k pohybu po planární ploše či vypadávání horninových klínů.

Pro zpřesnění výsledků by bylo vhodné na těchto bodech použít rovnici pro výpočet stupně bezpečnosti dle Kliche (1999, equation 1.1), která uvažuje kohezi, objemovou tíhu horniny a průběžnost pukliny

8.6. Shrnutí jednotlivých metod hodnocení

Hodnocení horninového masivu v terénu podle normy *ČSN EN ISO 14689-1* má svoji nezastupitelnou roli. Poskytuje prvotní údaje o složení a vlastnostech horninového masivu, které jsou potřeba jako vstupní parametry pro podrobnější hodnocení konkrétních vlastností. Přesnost získaných parametrů touto metodou tak do značné míry ovlivňuje správnost dalších hodnocení.

Ke zjištění převládajících směrů sklonu a sklonů puklin na větším zájmovém území je vhodné z naměřených dat, dle výše zmíněné normy, zhotovit konturový diagram.

Pro posouzení stability horninového masivu se mi jako ideální jeví nejdřív přehledně ohodnotit masiv pomocí metody SMR a následně pro místa, která vyjdou jako III. – V. skupina (částečně stabilní až zcela nestabilní), vypracovat tektonogramy a pomocí Marklandova testu určit jejich stabilitu s větší přesností. Úhel tření potřebný pro Marklandův test, lze s dostatečnou přesností získat pomocí postupu uvedeného v kapitole č. 8.2.3.

Určení pevnosti hornin pomocí Schmidtova kladívka se ukázalo pouze jako orientační. Přesnost měření je ovlivněna řadou nepříznivých jevů, jako je navětralá povrchová vrstva, skryté pukliny, větší či menší pevnost než měřitelný rozsah hodnot atd. Při jeho využití doporučuji výsledné hodnoty korelovat pomocí dostatečného počtu zkoušek v prostém tlaku.

Ke stanovení přetvárných charakteristik horninového masivu lze využít revidovaného Hoek-Brownova kritéria. Pro jeho vyhodnocení jsou potřeba, kromě parametrů vycházejících z normy *ČSN EN ISO 14689-1*, pouze zkoušky v prostém tlaku na vzorcích. Metoda tak poskytuje levnou a rychlou alternativu k drahým zkouškám in-situ.

8.7. Souhrnné hodnocení horninového masivu

Horninový masiv je na obou březích tvořen středně rozpukanými a slabě zvětralými břidlicemi a drobami s modulem deformace E_{m} větším než 5000 MPa. Úhel tření se na puklinách pohybuje okolo 35-40°. Při celkovém pohledu se celý masiv jeví jako převážně stabilní. Na pravém břehu představují jisté riziko boční erozní údolí, kde na jejich jižních svazích může puklinový systém č. 2 tvořit planární smykové plochy, případně v součinnosti se systémem č. 3 či se systémem „a“ úžlabí pro klínové vyjíždění bloků. Na levém břehu může dojít k nežádoucím pohybům na horních, nechráněných úsecích východně orientovaných svahů, v případě snížení úhlu tření na mírně ukloněných puklinách patřících do 1. skupiny. Místa případné nestability v blízkosti předpokládané stavby (dokumentační body č. 12, 27 a 34) by bylo vhodné chránit vhodným zabezpečovacím zařízením (např. ochranné sítě a ploty).

9. ZÁKLADOVÉ POMĚRY

Při návrhu založení patek oblouků a opěr mostu doporučuji postupovat podle 3. geotechnické kategorie dle *ČSN EN 1997-1 Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí - Část 1: Obecná pravidla*. Navrhované řešení mostu a jeho založení představuje dle *ČSN EN 1997-1* velkou a neobvyklou konstrukci, která je složitě zatížená.

Navrhované způsoby založení a postup výstavby mostu dle projektové dokumentace (Rotter, 2003) jsou podrobně popsány v kapitole č. 3.2 a 3.3.

Vzhledem k odlišným inženýrskogeologickým poměrům a předpokládaného způsobu založení jsou základové poměry diskutovány zvlášť pro opěry a patky.

9.1. Založení opěr

Založení opěr se předpokládá plošné (pravý břeh) a hlubinné na pilotách (levý břeh). Pro přenesení vodorovných sil, které vzniknou při stavbě oblouků, mají být základy doplněny o šikmé kotvy a smykové stěny.

Na pravém břehu vystupuje slabě zvětralé až zdravé skalní podloží tvořené břidlicemi mělce pod terén (Šarf, 1978). Dostatečně únosný geotechnický typ GT 8 se bude vyskytovat v hloubce do 2 m pod terénem. Mocnost slabě zvětralé vrstvy je třeba ověřit vrtem. Hloubku základové spáry doporučuji volit v hloubce cca 3 m pod terén (tzn. 230 m n.m.) a volit plošný způsob založení. Délka šikmých kotev vyplyne z podrobného inženýrskogeologického průzkumu a statického výpočtu.

Na levém břehu je dostatečně únosné podloží tvořené slabě až mírně zvětralou břidlicí (GT 8) v hloubce cca 3,5 m pod terénem. Tato vrstva má nepravidelnou mocnost cca 2-10 m (Bohátková, 2005). Založení levobřežní opěry doporučuji na plošném základu v hloubce okolo 4 m pod terénem v úrovni cca 236 m n.m. Šikmé kotvy doporučuji vetknout do zdravých břidlic (GT9). Jejich délka vyplyne z podrobného inženýrskogeologického průzkumu a statického výpočtu. Orientačně ji lze odhadnout na 20 m.

Únosnost základu je pro pravý i levý břeh dle ČSN EN 1997-1 možné uvažovat 2-8 MPa v závislosti na rozevření puklin. Jelikož je opěra umístěna ve svahu, může se kvalita a tím i únosnost horniny v základové spáře směrem „do svahu“ zvyšovat. Tomuto jevu lze předejít vytvořením zazubené základové spáry.

Podzemní voda se v místě opěr nebude vyskytovat a výstavbu tak neovlivní.

Stěny stavební jámy v zeminách do mocnosti 1 m, je možno provést svahované ve sklonu 1:1 nebo zvolit vhodné pažení. V horninách doporučuji svahy jámy provést ve sklonu do 70°, a chránit torkretem proti opadávání kamenů a případnému vyjíždění větších horninových bloků do stavební jámy.

Zemní práce budou dle ČSN 73 6133 probíhat v zeminách třídy těžitelnosti I výjimečně II (GT3 a GT5) a v horninách třídy II až III. Při použití trhacích prací je třeba použít metodu hladkého odlomu (presplitu), aby nedošlo k rozrušení základové spáry a stěn stavební jámy, což by mělo za následek snížení únosnosti spáry a zvýšení nestability stěn. Třidu vrtatelnosti pro piloty uvažujte dle *Oborového třídění stavebních konstrukcí* III.-IV. Deluviální (GT5) a eolické (GT3) sedimenty jsou podmíněčně vhodné pro použití do násypů. Použití vytěžených hornin po podrcení na vhodnou frakci je možné.

9.2. Založení patek oblouků

Založení patek oblouků se podle projektu (Rotter. 2003) předpokládá plošné na zdravém skalním podloží (GT9), přičemž základová spára má být šikmá.

Zdravé skalní podloží se na obou březích vyskytuje v hloubce cca 7 m pod terénem tj. cca 169 m n.m. Vzhledem k hloubce únosného podloží doporučuji zvážit možnost hlubinného způsobu založení.

Únosnost základu je pro pravý i levý břeh dle ČSN EN 1997-1 možné uvažovat větší jak 10 MPa.

Hladina podzemní vody je závislá na stavu hladiny vody ve Vltavě a bude ovlivňovat základové poměry. Jelikož budou stavební práce probíhat z části přímo v korytě řeky, je třeba nejdříve vybudovat, nejlépe dvojitou, těsněnou jímku ze štětovnic zaražených do zcela zvětralého skalního podloží (GT7).

Zemní práce budou dle ČSN 73 6133 probíhat v zeminách třídy těžitelnosti I až II (GT2A až GT2C, případně i GT1) a v horninách třídy II výjimečně až III. Při použití trhacích prací je třeba použít metodu hladkého odlomu (presplitu), aby nedošlo k rozrušení základové spáry a stěn stavební jámy, což by mělo za následek snížení únosnosti spáry a zvýšení nestability stěn. Třídou vrtatelnosti pro piloty uvažujte dle *Oborového třídíčníku stavebních konstrukcí I.-III.* Hlinité a jílovité písky a šterky (GT2A a GT2C) jsou podmíněčně vhodné až vhodné pro použití do násypů. Hlinité až písčité jíly (GT2B) jsou do násypů nevhodné až podmíněčně vhodné. Použití vytěžených hornin po podrcení na vhodnou frakci je možné.

10. ZÁVĚR

Dle ČSN EN 1997-1 je třeba při návrhu založení postupovat dle 3. geotechnické kategorie. Uvažovaný most je neobvyklou konstrukcí, která nestandardně zatěžuje základové prvky vodorovným a šikmým zatížením. V případě založení patek na březích Vltavy je podzemní voda mělce pod terénem a bude ovlivňovat základové poměry. Základová půda je dostatečně únosná a v případě založení opěr se může kvalita základové půdy v rozsahu staveniště měnit.

Skalní výchozy vystupující na obou březích Vltavy se ukázaly být převážně stabilní a po provedení základních sanačních opatření na vybraných místech by neměly ohrozit výstavbu a provoz mostu a přilehlých komunikací.

Klasifikace SMR se ukázala jako vhodná k získání rychlého přehledu o stabilitě zájmového území. Konkrétní místa se sníženou stabilitou je poté vhodné řešit podrobnější metodou, například mnou využitým Merklanovým testem.

Závěry a doporučení v této práci je nutné chápat jako základní informace o geologických, hydrogeologických a inženýrskogeologických poměrech v zájmové lokalitě. Před zahájením projekčních prací je třeba tyto informace ověřit a upřesnit na základě komplexního podrobného hydrogeologického a inženýrskogeologického průzkumu, v rámci něhož je třeba provést laboratorní stanovení vlastností hornin, které budou tvořit základovou půdu v místech uvažovaných základových konstrukcí.

V práci se nezabývám vlivem mostu na životní prostředí a nezohledňuji skutečnost, že svahy v okolí mostu jsou součástí přírodních památek Zámky a Sedlecké skály. Tuto problematiku doporučuji při dalších projekčních stupních řešit v souladu s příslušnými zákony a vyhláškami a posudkem vlivu na životní prostředí EIA.

Vypracoval: Zdeněk Polák

V Praze dne 25. 8. 2011

11. LITERATURA

- AOPK CR - Agentura ochrany krajiny a přírody české republiky [online]. 2006 [cit. 2011-08-08]. CZ0110154 - Kaňon Vltavy u Sedlce. Dostupné z WWW: <http://www.nature.cz/natura2000-design3/web_lokality.php?cast=1805&akce=karta&id=1000043048>.
- BALATKA, Břetislav; SLÁDEK, Jaroslav. 1962. *Říční terasy v českých zemích*. 2. přepr. a dopl. vyd. Praha : Geofond. 580 s.
- BARTON, N. 1978. Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*. **15**, s. 319-368. ISSN 0148-9062.
- BIENIAWSKI, Z.T. 1989. *Engineering rock mass classifications*. New York : John Wiley & Sons.
- BOHÁTKOVÁ, Lucie. 2005. *Pražský silniční okruh - stavba 519: Suchdol - Březiněves, závěrečná zpráva podrobného geotechnického průzkumu pro SO 603 - odvodňovací štola a šachta Za Hájem a SO 605 - odvodňovací štola a šachty ul. Suchdolská*. Praha : Stavební geologie-Geotechnika, a.s., Dostupné také v ČGS – Geofond (GF P113913).
- BROŽOVSKÝ, Jiří. 2010. Nedestruktivní zkoušení betonu odrazovými tvrdoměry v konstrukci podle evropských norem a českých technických norem. *Beton - technologie, konstrukce, sanace*. **6**, s. 75-79.
- DEMEK, Jaromír, et al. 1987. *Zeměpisný lexikon ČSR, Hory a nížiny*. Praha : Academia, 584 s.
- DROZD, Karel. 2001. O přetvárných charakteristikách zemin a skalních hornin. *Geotechnika*. **2**, s. 3-6.
- GROHMANN, C.H. and CAMPANHA, G.A.C. 2010. *OpenStereo: open source, cross-platform software for structural geology analysis*. Presented at the AGU 2010 Fall Meeting, San Francisco, CA. Dostupné z WWW: <<http://www.igc.usp.br/index.php?id=395>>.
- HOEK, E. and BRAY, J. 1981. *Rock Slope Engineering*. New York : Taylor & Francis, 358 s.
- HOEK, Evert; BROWN, Edwin T. 1980. Empirical strength criterion for rock masses. *Journal of the Geotechnical Engineering Division*. September, 9, s. 1013-1035.
- HOEK, Evert; BROWN, Edwin T. 1997. Practical estimates of rock mass strength. *International journal of rock mechanics and mining sciences*. **8**, s. 1165-1186.
- HOEK, E.; CARRANZA-TORRES, C.; & CORKUM, B. 2002. Hoek-Brown failure criterion-2002 edition. Dostupné z WWW <<http://www.rockscience.com/assets/files/uploads/7715.pdf>>.
- HOWARTH, R. J. 1996. History of the stereographic projection and its early use in geology. *Terra Nova*, **8**, s. 499-513.
- FOLLPRECHT, Luděk. 2001. *Přeložka komunikace II/242, Roztoky, inženýrskogeologický průzkum*. Praha : CHEMCOMEX a.s., Dostupné také v ČGS – Geofond (GF P100808).
- Geoportál Praha (a)* [online]. 2011 [cit. 2011-02-08]. Územně analytické podklady. Dostupné z WWW: <http://wgp.urm.cz/app/tms/aplk/arcgis_api/uap/index.html>.
- Geoportál Praha (b)* [online]. 2011 [cit. 2011-03-08]. Limity využití území - GEOREPORT. Dostupné z WWW: <<http://wgp.urm.cz/limity/>>.
- Geoportál Praha (c)* [online]. 2011 [cit. 2011-05-08]. Mapa Prahy - Zátopy. Dostupné z WWW: <http://wgp.praha-mesto.cz/tms/wgp_zatopy/index.php?client_type=gis_hr1&strange_opener=0&client_lang=cz_iso&autolog_anonymous=1>.
- GÖTZ, A., et al. 1966. *Atlas Československé Socialistické Republiky*. Praha : Československá akademie věd a Ústřední správa geodézie a kartografie, 142 str. : 58 barev. map.
- KLICHE, C. A. 1999. *Rock slope stability*. Littleton : Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, 253 s.

- Národní geoportál INSPIRE [online]. 2011 [cit. 2011-08-08]. Mapy, prohlížení – Typologie české krajiny podle využití. Dostupné z WWW: <<http://geoportal.gov.cz/web/guest/map/>>.
- NĚMEC, Jan; LOŽEK, Vojen. 1997. *Chráněná území Prahy*. Praha : Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, středisko Praha, 154 s. Dostupné z WWW: <http://envis.prahamesto.cz/rocenky/CHRUZEMI/cr2_cztx/chu-obsh.htm>.
- OLIŠAR, Petr. 2009. *Systém hodnocení rizik skalního řízení RHRS na příkladu skalního řízení Strnady (údolí Vltavy)*. Brno, 27 s. Bakalářská práce. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta. Dostupné z WWW: <http://is.muni.cz/th/211432/prif_b/Olisar_RHRS_komplet.pdf>.
- PALMSTROM, A. 2005. Measurements of and correlations between block size and rock quality designation (RQD). *Tunnelling and underground space technology*, **20**, s. 362-377.
- PAVLÍK, Jiří. 1981. *Geotechnické způsoby určování stability skalních stěn*. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 216 s.
- POUBA, Zdeněk. 1959. *Geologické mapování*. Praha : Nakladatelství Československé akademie věd, 523 s.
- QUITT, E. 1971. *Klimatické oblasti Československa*. Brno : Československá akademie věd, 82 s., tab., mapy + 1 příl.
- RocLab [online]. Rocscience Inc. Version 1.031. Canada : Rocscience, c2002-2007. Instalační program a uživatelské rozhraní pro Microsoft Windows. Dostupný z WWW: <<http://www.rocscience.com/downloads/freedownloads>>.
- ROMANA, M. R. 1993. A geomechanical Classification for slopes: Slope Mass Rating. – In: J. A. Hudson (ed.): *Comprehensive Rock Engineering, Principles, Practice & Projects*, **3**, s. 575–600. Oxford.
- ROMANA, M., SERÓN, J. B. & MONTALAR, E. 2003. SMR Geomechanics classification: Application, experience and validation. *ISRM 2003-Technology roadmap for rock mechanics, South African Institute of Mining and Metallurgy*, s. 1-4. Dostupné z WWW <<http://empresas.arrakis.es/stmr/SMR%20geomechanics%20classification%20for%20ICRM%202003.pdf>>.
- ROTTER, Tomáš. 2003. *Silniční okruh kolem Prahy, stavba č. 519 Suchdol – Březiněves, objekt č. 201 – přemostění SO přes Vltavu, Technická zpráva*. Praha : PUDIS a.s.
- ROTTER, Tomáš. 2009. Most u Suchdola na severní části Silničního okruhu kolem Prahy. *Stavebnictv.*, **8**, s. 51-54.
- ŠARF, R. 1974a. *Průvodní zpráva k podrobné inženýrskogeologické mapě 1:5000, list Kralupy nad Vltavou 7-8*. MS. ČGS – Geofond.
- ŠARF, R. 1974b. *Podrobná inženýrskogeologická mapa Kralupy nad Vltavou, list 7-8 : měřítko 1:5000*. 3. vydání. České Budějovice : Geodézie, 4 mapové listy. Dostupné také v ČGS – Geofond.
- TOMÁS, R., DELGADO, J. & SERÓN, J. 2007. Modification of slope mass rating (SMR) by continuous functions. *International journal of rock mechanics and mining sciences*, **44**, s. 1062-1069.
- VOREL, J. 1998. *SO stavba 519 Suchdol – Březiněves, doplňující geotechnický průzkum*. Praha : PUDIS a.s.
- ZÁRUBA, Quido. 1942. *Podélný profil vltavskými terasami mezi Kamýkem a Veltrusy*. Praha : Rozpravy II, tř. Československé akademie. 39 s.
- ZÁRUBA, Quido. 1948. *Geologický podklad a základové poměry vnitřní Prahy*. Praha : Státní geologický ústav Československé republiky, edice geotechnica. 83 s.

- ČSN 73 1373. *Tvrdoměrné metody zkoušení betonu*. Praha : Český normalizační institut, 1983. 32 s.
- ČSN 73 6133. *Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací*. Praha : Český normalizační institut, 2010. 68 s.
- ČSN EN 12504-2. *Zkoušení betonu v konstrukcích - Část 2: Nedestruktivní zkoušení - Stanovení tvrdosti odrazovým tvrdoměrem*. Praha : Český normalizační institut, 2002. 8 s.
- ČSN EN 1991-1-3. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-3: Obecná zatížení - Zatížení sněhem*. Praha : Český normalizační institut, 2005. 52 s.
- ČSN EN 1991-1-4. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem*. Praha : Český normalizační institut, 2007. 124 s.
- ČSN EN 1997-1. *Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí - Část 1: Obecná pravidla*. Praha : Český normalizační institut, 2006. 138 s.
- ČSN EN 1998-1. *Eurokód 8: Navrhování konstrukcí odolných proti zemětřesení - Část 1: Obecná pravidla, seizmická zatížení a pravidla pro pozemní stavby*. Praha : Český normalizační institut, 2006. 170 s.
- ČSN EN 206-1. *Beton - část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda*. Praha : Český normalizační institut, 2001. 72 s.
- ČSN EN ISO 14688-1. *Geotechnický průzkum a zkoušení - Pojmenování a zařídování zemín - část 1: Pojmenování a popis*. Praha : Český normalizační institut, 2003. 16 s.
- ČSN EN ISO 14688-2. *Geotechnický průzkum a zkoušení - Pojmenování a zařídování zemín - část 2: Zásady pro zařídování*. Praha : Český normalizační institut, 2005. 16 s.
- ČSN EN ISO 14689-1. *Geotechnický průzkum a zkoušení - Pojmenování a zařídování hornin - Část 1: Pojmenování a popis*. Praha : Český normalizační institut, 2004. 20 s.
- Oborový třídník stavebních konstrukcí a prací staveb pozemních komunikací – část I-popisovník prací*.
IBR Consulting, s.r.o., 2007. 227 s. Dostupný z WWW:
<<http://www.tridniky.cz/PDF/Popisovnik.pdf>>.