

JUGeo-GVP

OPATŘENÍ NA HORNÍ OPAVĚ

HRÁZ VD NOVÉ HEŘMINOVY- SO101

Podrobný inženýrskogeologický průzkum

II. fáze – celek C, injekční pokus

Dílčí zpráva č. 4

**Říjen
2016**

JUGeo-geologické a vrtné práce, s.r.o., IČO: 25871510, DIČ: CZ25871510
Na Lúčky 495, 747 57 Slavkov
Tel.: 602739500, E - mail: vratislav.bradac@gmail.com

Objednatel: Povodí Odry, státní podnik
Varenská 49
701 26 Ostrava

IČO: 70890021
DIČ: CZ70890021

Zhotovitel: JUGeo-geologické a vrtné práce, s.r.o.
Na Lúčky 495,
747 57 Slavkov
IČO: 25871510
DIČ: CZ25871510

**Zpráva o průběhu a výsledcích injekčního pokusu
v přehradním profilu vodního díla Nové Heřminovy.
(II. fáze – celek C, Injekční pokus - dílčí zpráva č. 4)**



Zpracoval: Ing. Vratislav Bradáč
RNDr. Peter Beňák



Rozdělovník

Výtisk č. 1-3: Objednatel (Povodí Odry, s. p.)
Výtisk č. 4 : Zhotovitel (JUGeo-geologické a vrtné práce, s.r.o.)

Slavkov, říjen 2016

Obsah	strana
1 Úvod	3
2 Výchozí podklady, dosavadní prozkoumanost	3
2.1. Výchozí podklady	3
2.2. Dosavadní prozkoumanost	3
3 Situování, technické parametry objektu	4
4 Přírodní podmínky zkoumané lokality	4
4.1. Geomorfologické, klimatické a hydrologické podmínky	4
4.2. Morfologické podmínky	4
4.3. Geologické podmínky	4
5 Cíle průzkumných prací	5
6 Metodika provedení injekčního pokusu	5
6.1. Analýza a zpracování archívních podkladů	5
6.2. Uspořádání injekčního pokusu	6
6.3. Vrtné práce	6
6.4. Vodní tlakové zkoušky	7
6.5. Pokusná injektáž	7
6.6. Inklinometrická měření	8
6.7. Geodetická měření	8
7 Inženýrskogeologické podmínky zkoumaného území	9
7.1. Kvarterní pokryv	9
7.2. Litologické podmínky	9
7.3. Úložné podmínky	9
7.4. Tektonické podmínky	10
7.5. Navětrání hornin	11
7.6. Hydrogeologické podmínky	12
8 Vyhodnocení průzkumných prací	12
8.1. Vstupní podmínky	12
8.2. Vodní tlakové zkoušky	13
8.3. Stanovení injekčních tlaků	14
8.4. Pokusná injektáž	14
9 Závěry a doporučení	15

Seznam příloh

Příloha č. 1: Celková situace	1 : 25 000
Příloha č. 2: Situace přehradního profilu	1 : 1 500
Příloha č. 3: Geologické profily	
Příloha č. 3.1: IG profil injekčním polem	
Příloha č. 3.2: Profil s grafickým znázorněním VTZ	
Příloha č. 4: Dokumentace jádrových vrtů	
Příloha č. 5: Protokoly VTZ	
Příloha č. 6: Měřičská zpráva	

1. Úvod

V rámci projektové přípravy výstavby vodního díla Nové Heřminovy provádí společnost JUGeo-geologické a vrtné práce, s.r.o., ve sdružení se společnostmi AQUATIS a.s., resp. GEOTest Brno, a.s., podrobný inženýrskogeologický průzkum základových podmínek hráze VD Nové Heřminovy na řece Opavě. Součástí průzkumných prací je ověření propustnosti horninového masívu a stanovení hlavních zásad realizace injekční clony. V předkládané zprávě jsou prezentovány výsledky II. fáze, etapy D podrobného geologického průzkumu.

2. VÝCHOZÍ PODKLADY, DOSAVADNÍ PROZKOUMANOST

2.1 Výchozí podklady

Geologicko-průzkumné práce související s realizací injekčního pokusu byly provedeny podle projektu zpracovaného společností Algoman-ZH, s.r.o. (1). Investorem nám byla poskytnuta dokumentace s návrhem technického řešení hráze vodního díla (4), a také archivní podklady – závěrečné zprávy o výsledcích předběžného inženýrskogeologického průzkumu z období let 1959-1964 (3).

- 1) Bradáč V.: *Projekt podrobného inženýrskogeologického průzkumu základových podmínek přehradního profilu VD Nové Heřminovy. Algoman-ZH, Otice, 2013.*
- 2) Bradáč V.: *Zpráva o průběhu a výsledcích podrobného inženýrskogeologického průzkumu základových podmínek MVE a spodních výpustí vodního díla Nové Heřminovy. JUGeo-GVP, s.r.o., 2016*
- 3) Novosad S.: *Závěrečná zpráva o inženýrskogeologickém průzkumu přehradního profilu na řece Opavě u Nových Heřminovů. GP Brno. 1960.*
- 4) *Opatření na horní Opavě, příprava akce v období 2008-2010. Investiční záměr, technická koncepce souboru objektů přehradní části. Pöyry Environment a.s., 2009.*

2.2 Dosavadní prozkoumanost

Záměr vybudovat přehradní nádrž u obcí Nové Heřminovy a Zátor sahá již do počátků minulého století.

Předběžný inženýrskogeologický průzkum oblasti přehradního profilu probíhal v letech 1959-1964. V rámci předběžného průzkumu byla provedena terénní rekognoskace údolí v dosahu předpokládané zátopy a přehradního profilu. Realizována byla řada jádrových vrtů hloubky až 80 m a kopaných sond (příloha č. 2), přičemž ve většině vrtů byly provedeny vodní tlakové zkoušky. V blízkosti injekčního pole (cca 10 m jižně) je umístěn vrt KJ3. Výsledky těchto zkoušek (3) jsou implementovány do hodnocení propustnosti horninového prostředí v dalších kapitolách této zprávy.

V etapě předběžného průzkumu byla v prostoru přehradního profilu ověřena stavba horninového masívu a vyčleněny jednotlivé litologické typy skalních hornin. Dále byly vcelku detailně popsány úložné (strukturní) podmínky, zejména směr a velikost sklonu vrstevního sledu a charakter odlučnosti horninového masívu. Na základě dokumentace stěn šachtic a skalních odkryvů byla popsána prostorová orientace jednotlivých puklinových systémů.

Základním výstupem předběžného průzkumu z hlediska hodnocení propustnosti horninového masívu, jsou dokumentace jednotlivých průzkumných vrtů s grafickým znázorněním průběhu a výsledků vodních tlakových zkoušek a stručný hodnotící komentář k provedeným pracím obsažený v závěrečné zprávě (3).

3. SITUOVÁNÍ, TECHNICKÉ PARAMETRY OBJEKTU

Zájmový prostor se nachází v katastrálních územích obcí Loučky u Zátoru (791199) a Zátor (791202), okres Bruntál, kraj Moravskoslezský (CZ0802), mapový list 15-312 Horní Benešov (příloha č. 1). Přehradní profil je situován v místě zúžení údolí řeky Opavy nad obcí Loučky u Zátoru.

Podle studie zpracované společností Pöyry Environment a.s. (nyní AQUATIS, a.s.) se v přehradním profilu předpokládá výstavba betonové gravitační hráze o celkovém objemu 90,5 tis. m³, maximální výšky 26 m nad úrovní terénu, resp. 32 m nad základovou spárou. Délka hráze v koruně je 335 m, při šířce 8 m. Koruna hráze probíhá v úrovni 396,50 m n. m. V základové spáře dosahuje hráz maximální šířky 20 m, v profilu přepadu a spodních výpustí až 55 m. Hydraulický spád v úrovni základové spáry údolního úseku hráze bude při výšce hladiny v nádrži $H_{\max.} = 363$ m n. m. dosahovat hodnot $I=1,4$.

Vlastní těleso hráze sestává z jednotlivých dilatačních bloků šířky 15 m, založených do skalního podloží v zářezu hloubky až 9 m. Injekční štola je umístěna v betonových blocích hráze a prochází cca 2 m nad předpokládanou úrovní základové spáry.

4. PŘÍRODNÍ PODMÍNKY ZKOUMANÉ LOKALITY

4.1 Geomorfologické, klimatické a hydrologické podmínky

Podle geomorfologického členění území ČR přísluší zkoumaná lokalita do soustavy Krkonoško-Jesenické, podsoustavy Jesenické, celku Nízký Jeseník, podcelku Bruntálská vrchovina, okrsku Rázovská vrchovina (IVC-8C-8, Demek).

Z hlediska klimatických podmínek spadá posuzované území do mírně teplé klimatické oblasti MT2, (Quitt, 1971), vlhké, s chladnou až studenou zimou. Průměrná roční teplota vzduchu činí 6,5°C, průměrný roční úhrn srážek dosahuje cca 700 mm.

Hydrologicky přísluší lokalita do povodí řeky Opavy (č. h. p. 2-02-01-011).

4.2 Morfologické podmínky

Přehradní profil je navržen v morfologicky optimálních podmínkách, kdy řeka Opava, protékající ve VSV směru široce rozevřenou nivou, vstupuje do zúženého údolí mezi JJV svahem Křížového vrchu a severním svahem Zadního vrchu (příloha č. 1).

Tvar údolí v přehradním profilu je zhruba lichoběžníkový, mírně asymetrický, s plochým dnem šířky cca 180 m. Strmější levý údolní svah probíhá v patní části ve sklonu 32°, výše ve sklonu cca 20°. Mírnější pravý svah je v patní části ukloněn 20°, ve vyšších partiích 10°. Dno údolí se nachází v nadmořské výšce 372-373 m n. m. Řeka Opava protéká v mírném meandru pravou částí údolní nivy.

4.3 Geologické podmínky

Kvartérní pokryv je na svazích tvořen svahovými hlinitokamenitými zeminami (deluvium) mocnosti 1 – 3 m. Dno údolí je překryto vrstvou fluvialních sedimentů – náplavových hlín a bazálních štěrků. Mocnost sedimentů v údolní terase činí 3-5 m.

Předkvartérní podloží je budováno kulmskými horninami (paleozoikum, spodní karbon, visé), reprezentovanými zvrásněným flyšovým souvrstvím hornobenešovských vrstev. Litologicky se jedná o souvrství s převažujícími jemnozrnnými až střednězrnnými drobami a menším podílem prachovitých drob, resp. jílovitých břidlic.

5. CÍLE PRŮZKUMNÝCH PRACÍ

Cílem provedeného injekčního pokusu je především ověření propustnosti horninového prostředí v nejvíce namáhané (údolní) části přehradního profilu a získání podkladů pro návrh optimálního způsobu provedení injekční clony.

Průzkumné práce byly provedeny za účelem:

- Ověření litologického složení horninového prostředí v prostoru zkoumaného úseku přehradního profilu, stanovení průběhu rozhraní jednotlivých litologických typů hornin (droby, siltovce, jílovité břidlice), stanovení hloubky a intenzity navětrání horninového masívu.
- Ověření úložných poměrů - velikosti sklonů vrstevního sledu ve zkoumané části přehradního profilu. Posouzení charakteru vrstevních spár, jejich rozevření a výplně.
- Posouzení tektonických podmínek horninového masívu, zejména prostorové orientace puklinových systémů, stanovení frekvence, rozevření a charakteru výplně trhlin.
- Posouzení propustnosti testovaného prostředí podle Jähdeho, resp. Lugeonova kritérií a získání podkladů pro návrh účinného zatěsnění horninového masívu v podloží hráze.
- Zatřídění zastižovaných zemních, resp. horninových typů podle vrtatelnosti.

Výsledky injekčního pokusu budou použity jako podklad pro vypracování projektové dokumentace injekční clony gravitační hráze vodního díla Nové Heřminovy.

6. METODIKA PROVEDENÍ INJEKČNÍHO POKUSU

6.1 Analýza a zpracování archívních podkladů

Ověření propustnosti horninového masívu v prostoru přehradního profilu byla v etapě předběžného průzkumu (3) věnována velká pozornost. Prakticky ve všech průzkumných vrtech byly realizovány vodní tlakové zkoušky (VTZ) při aplikaci širokého spektra zkušebních tlaků. Propustnost horninového prostředí byla posuzována podle Jähdeho, resp. Lugeonova kritéria, použity byly rovněž zkušební tlaky přesahující 2 MPa. Skokový nárůst spotřeb vody, tedy jev indikující porušení masívu násilným rozevíráním puklin (klakáž), byl pozorován již při tlacích mírně nad 1 MPa. Tyto poznatky jsou důležité zejména pro stanovení optimálních injekčních tlaků při realizaci clony.

V závěrečné zprávě (3) je horninový masív hodnocen jako vcelku slabě propustný, nicméně spotřeby vody při srovnávacích tlacích 0,3 MPa (Jähde), resp. 1 MPa (Lugeon) velmi často vysoce překračovaly hodnoty obou kritérií (0,3-0,5 l/m/min, resp. 1 l/m/min.) a bylo dosahováno spotřeb v řádu několika l/m/min. až desítek l/m/min. (nad 20 l /m/min. při tlaku 0,3 MPa ve vrtu KJ4). Nejvyšší spotřeby byly dosahovány levé části údolí a dále v levém svahu. Směrem k pravobřežnímu zavázání byl pozorován trend k celkovému snižování spotřeb vody.

Z analýzy výsledků VTZ provedených v etapě předběžného průzkumu vyplývá, že propustnost horninového masívu je poměrně proměnlivá jak s hloubkou, tak i ve vodorovném směru. Vzhledem k charakteru rozpukání hornin a průběhu vrstevních spár závisí spotřeby vody při VTZ především na počtu subvertikálních trhlin, které se podaří injekčními vrty protnout. Doporučená vzdálenost injekčních vrtů je v (3) uváděna cca 2 m, hloubka clony do 50 m.

6.2 Uspořádání injekčního pokusu

Pole injekčního pokusu je umístěno v údolní nivě, zhruba v ose hráze, mezi vrty KJ3 a KJ4 (příloha č. 2), v nichž byla v etapě předběžného průzkumu zjištěna vodními tlakovými zkouškami největší propustnost horninového masívu v trase přehradního profilu. Vrtky jsou umístěny v řadě se vzájemnou roztečí cca 1,5 m (obrázek 6.1, příloha č. 3). Na okrajích řady jsou umístěny vrty prvního pořadí J320A1 a J320A2 hloubky 50 m, vzájemně vzdálené 6 m. Ve středu pole byl proveden vrt druhého pořadí J320B hluboký 40 m. Vrtky třetího pořadí J320C1 a J320C2 byly provedeny do hloubky 26 m. Účinnost pokusné injektáže byla ověřena kontrolním vrtem J320K hloubky 50 m.

VTZ i injektáž byly prováděny po etážích délky 3 – 5 m. Po průchodu kvartérními fluvialními sedimenty byly vrty zahlobeny do předpokládané úrovně základové spáry hráze (8 m) a následně zainjektovány cementovou směsí při hloubce upnutí obturátoru 1 m pod úrovní skalního podloží. Tento postup byl zvolen proto, aby se zabránilo přetékání vody při VTZ v první etáži do nadloží. Po zatuhnutí injekční směsi byly vrty převrtány a dále postupně hloubeny, zkoušeny a injektovány sestupně po jednotlivých etážích až do dosažení projektované hloubky.

Obrázek 6.1: Pole injekčního pokusu



6.3 Vrtné práce

Injekční vrty byly provedeny jako průzkumné jádrové vrty. Úsek vrtů procházející fluvialními sedimenty (náplavové hlíny, zvodnělé údolní šterky) byl hlouben tvrdokovovými korunkami průměru 132 mm, s průběžným pažením ocelovými trubkami, které byly po stabilizaci stěn vrtu nahrazeny silnostěnnými PVC pažnicemi průměru 110 mm. Ve skalním podloží byly jádrové vrty do projektované úrovně hloubeny diamantovou korunkou průměru 76 mm s vodním výplachem. Celkově bylo v rámci injekčního pokusu provedeno 236 bm jádrových vrtů (tabulka č. 6.1).

Hloubení vrtů probíhalo postupně po jednotlivých etážích hloubky 3 až 5 m. Po odvrtání testovaného úseku (etáže) v něm byly provedeny vodní tlakové zkoušky s následnou injektáží cementovou směsí. Po zatuhnutí směsi byla stejným způsobem provedena další etáž až do dosažení projektované hloubky vrtu.

Tabulka č. 6.1: Přehled a polohopis injekčních vrtů

Označení vrtu	Hloubka vrtu (m)	Souřadnice vrtu (JSTK)		Z (B.p.v)
		Y	X	
J320A1	50,0	519599.28	1074687.23	373.02
J320A2	50,0	519599.76	1074693.17	372.89
J320B	40,0	519599.63	1074690.21	372.95
J320C1	26,0	519599.70	1074688.59	372.99
J320C2	26,0	519599.79	1074691.69	372.93
J320K	50,0	519599.47	1074687.94	372.96

Vrtné jádro bylo ukládáno do dřevěných vzorkovnic, fotograficky, geologicky a technicky zdokumentováno (příloha č. 4).

Průzkumné vrtly byly realizovány společností JUGeo-geologické a vrtné práce, s.r.o.

6.4 Vodní tlakové zkoušky

Vodní tlakové zkoušky byly ve všech vrtech prováděny sestupně. Testovány byly etáže délky 3-5 m, ve dvou tlakových větvích, sestávajících ze vzestupné a sestupné části. Cílem uspořádání VTZ ve dvou tlakových větvích bylo, mimo jiné ověřit, zda dochází k vyplavování výplní diskontinuit při jejich hydrodynamickém namáhání tlakovou vodou nebo naopak ke kolmataci trhlin v důsledku sedimentace uvolněné výplně. Každá část (vzestupná a sestupná) sestávala ze tří tlakových stupňů délky 10 minut. Do hloubek 23 m pod terénem byly aplikovány zkušební tlaky 0,15 MPa, srovnávací tlak 0,3 MPa a teoretický injekční tlak (v rozsahu 0,3 - 1,0 MPa). V hloubkách nad 23 m byly aplikovány tlaky 0,15 MPa, 0,3 MPa (srovnávací tlak Jähdeho kritéria) a 1,0 MPa (srovnávací tlak Lugeonova kritéria) a teoretický injekční tlak. Mezi jednotlivými tlakovými stupni délky 10 min. byl zkušební tlak snížen na nulu po dobu 5 min. tak, aby podmínky v horninovém prostředí byly podobné pro každý stupeň.

Po dokončení zkoušek ve druhé tlakové větvi byl v každé etáži vrtu J320A1 postupně zvyšován tlak až do skokového nárůstu spotřeb indikujícího počátek klakáže - nevratného rozevírání subvertikálních trhlin, resp. kose ukloněných vrstevních spár. Cílem tohoto postupu bylo stanovit koeficienty horninového masívu pro výpočet zkušebních tlaků ostatních vrtů injekčního pokusu a optimálního injekčního tlaku.

Vodní tlakové zkoušky v kontrolním vrtu J320K byly provedeny za účelem ověření účinnosti provedené pokusné injektáže. VTZ v kontrolním vrtu byly provedeny stejnou metodikou jako ve vrtech I. pořadí.

6.5 Pokusná injektáž

Lze předpokládat, že těsnění horninového prostředí bude v rámci výstavby hráze vodního díla prováděno aktivovanou jílocementovou směsí, zajišťující především lepší průnik do prostředí s puklinovou propustností a nepodléhající korozi v důsledku případných agresivních účinků sanovaného prostředí. Sestupná injektáž jílocementem nicméně vyžaduje delší prodlevy mezi prováděním jednotlivých etáží, způsobené dobou tuhnutí směsi (cca 3 dny). Je nežádoucí, aby při hloubení nižších etáží injektovaného vrtu docházelo k vymývání nezatuhlé injekční směsi výplachovou vodou z již zatěsněných trhlin a případnému zkreslování výsledků VTZ. Vzhledem k časové náročnosti takového postupu byla proto pokusná injektáž prováděna směsí vody, jemně mletého cementu a pouze malého podílu bentonitu.

Zdánlivá viskozita použité směsi, měřená propustoměrem (March), činila 36-38 s, objemová hmotnost směsi se pohybovala v rozmezí 1,36-1,38 g.cm⁻³. Injektováno bylo vždy do nulové

spotřeby s držením tlaku 10 min. Vodní tlakové zkoušky i pokusná injektáž byly prováděny vysokotlakým čerpadlem Atlas-Copco s hydraulicky upínaným cirkulačním obturátorem.

Jedním z hlavních faktorů úspěšného zatěsnění horninového prostředí v podloží hráze je nastavení vhodného injekčního tlaku pro jednotlivé hloubkové úrovně clony. Stanovení optimálního injekčního tlaku vychází především z vlastností těsněného horninového prostředí (objemová hmotnost), s přihlédnutím k hloubce hladiny podzemní vody a struktuře masívu (úložné podmínky, charakter rozpukání, atd.). Při výpočtu zkušebních tlaků VTZ a tlaku injekčního jsme dále vycházeli ze skutečnosti, že pole injekčního pokusu je umístěno v údolní nivě překryté vrstvou fluvialních, převážně štěrkovitých sedimentů, mocnou cca 5 m. Hladina podzemní vody byla uvažována v hloubce 1,5 m pod terénem.

Základní vzorec pro výpočet injekčního tlaku:

$$P = k \cdot \rho \cdot H$$

Kde: P – injekční tlak (MPa)

ρ – objemová hmotnost (tíha) masívu ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$), pod hladinou podzemní vody upravená o vztlak.

H – hloubka upnutí obturátoru (m)

k – koeficient masívu

Objemová hmotnost kulmských drob budujících skalní podloží, stanovená laboratorními zkouškami, činí cca 26 kNm^{-3} . Pro štěrkovité zeminy údolní terasy jsme uvažovali objemovou hmotnost 20 kNm^{-3} .

Zkušební tlaky VTZ a injekční tlaky byly počítány programem vyvinutým pro realizaci injekční clony na VD Slezská Harta.

Průběh a výsledky VTZ, resp. pokusné injektáže byly zaznamenávány do příslušných hlášení. Tabulkové vyhodnocení zkoušek je uvedeno v příloze č. 5, grafické znázornění spotřeb vody v průběhu VTZ je součástí dokumentace jednotlivých pokusných vrtů (příloha č. 4).

6.6 Inklinometrická měření

Za účelem korektní interpretace provedených zkoušek byl prostorový průběh injekční vrtů inklinometricky zaměřen. Výsledky měření jsou prezentovány v tabulce č. 6.2.

Tabulka č. 6.2: Inklinometrická měření zkušebních vrtů

Označení vrtu	Hloubka vrtu (m)	Z (B.p.v)	Generelní směr vrtu (°)	Generelní sklon vrtu (°)	Odchylka dna vrtu od svislice (m)
J320A1	50,0	373.02	275	1,0	0,90
J320A2	50,0	372.89	255	1,5	1,40
J320B	40,0	372.95	235	1,0	0,70
J320C1	26,0	372.99	280	0,5	0,25
J320C2	26,0	372.93	0	0,0	0,00
J320K	50,0	372.96	205	1,0	0,90

Z tabulky 6.6 je zřejmé, že maximální odchylka od svislice činí $1,5^\circ$ (J320A2). Ostatní měření jsou v rámci chyby.

6.7 Geodetická měření

Pozice ústí injekčních vrtů ve zkušebním poli byly geodeticky zaměřeny. Měřičská zpráva je uvedena v příloze č. 6.

7 INŽENÝRSKOGEOLOGICKÉ PODMÍNKY ZKOUMANÉHO ÚZEMÍ

7.1 Kwartérní pokryv

Kwartérní pokryv v prostoru zkušební pole je tvořen fluvialními sedimenty budujícími říční údolní terasu.

Povrch území je překryt vrstvou hnědé písčité hlíny (F3-MS) tuhé konzistence, místy s polohami hlinitého střednězrnného písku. Pokryvné pelity obsahují příměs drobného až středního šterku. Mocnost fluvialních hlín v místě pokusu činí cca 1,5 m.

Báze údolní terasy je budována vrstvou ulehlého, šedohnědého, hrubozrnného až balvanitého šterku, tvořeného převážně polozaoblenými až zaoblenými valouny drob a křemene velikosti až 30 cm. Šterková vrstva obsahuje proměnlivý podíl písčité frakce a jemných částic. Z hlediska granulometrického se jedná o písčité až hlinitopísčité šterk (G3-GF). Celková mocnost fluvialních sedimentů činí cca 5 m.

7.2 Litologické podmínky

Kulmské (spodní karbon, visé) skalní podloží je v zájmovém území budováno hornobenešovskými vrstvami ve flyšovém vývoji, budovanými níže uvedenými litologickými typy hornin:

- Droby homogenní, masívní struktury, resp. droby laminované výrazně podřízeným podílem siltovců až jílovitých břidlic (do cca 30%), šedého zabarvení, v navětralých partiích až šedohnědé nebo šedo zelené, převážně jemnozrnné až střednězrnné, méně hrubozrnné. Charakteristická je tlustě deskovitá až hrubě lavicovitá odlučnost drob. Droby v testované části horninového masívu výrazně převládají.
- Droby s podřízeným až rovnovážným zastoupením jílovitých břidlic. Podíl pelitů činí 30-50%. Výrazně se projevuje vrstevnatá struktura charakteristická střídáním většinou mocnějších poloh světlešedých drob a tenčích, tmavošedých až černých lamin jílovitých břidlic. Pro tento litologický typ je charakteristická deskovitá až tence lavicovitá odlučnost.
- Drobný flyš s převažujícím podílem jílovitých břidlic (nad 50%) tmavošedých až černých, většinou světle šedě páskovaných polohami jemnozrnných drob, resp. siltovců. Odlučnost jílovitých břidlic je deskovitá, v navětralých partiích až tence deskovitá, resp. destičkovitá.

Z dokumentace jádrových vrtů provedených v poli injekčního pokusu vyplývá, že horninové prostředí je v testovaném prostoru budováno prakticky výlučně souvrstvím jemnozrnných až hrubozrnných drob (ad a) lavicovité odlučnosti. Ostatní litologické typy jsou zastoupeny pouze polohou laminovaných drob (ad b) nevelké mocnosti (příloha č. 3).

7.3 Úložné podmínky

Hráz vodního díla Nové Heřminovy bude založena do překocného ramene rozsáhlé vrásové struktury. Hornobenešovské souvrství se v prostoru přehradního profilu uklání zhruba východním směrem. Směr vrstev je tedy subparalelní s osou hráze.

Především podle laminace drob jílovitými břidlicemi a rozpoznatelných vrstevních ploch, dokumentovaných ve vrtném jádře, lze usuzovat na velikost sklonu vrstevního sledu, který se mění s hloubkou vrtů. Ve svrchních partiích horninového masívu, do hloubek 15-20 m, činí velikost sklonu vrstev 40°. Dále se velikost sklonu vrstev zvyšuje až na 60°. V dlouhých vrtech I. pořadí a v kontrolním vrtu J320K byl od hloubek cca 40 m pozorován trend ke snižování velikosti sklonu vrstevních ploch na 45°.

Vrstevní spáry představují diskontinuity v horninovém masívu průběžné v řádu desítek až stovek metrů. Z hlediska tras možných průsaků podloží hráze je prostorový průběh vrstev vcelku příznivý, nicméně lze očekávat, že v podmínkách stálého namáhání skalního podloží vzdutou vodou v přehradní nádrži se vrstevní spáry budou podílet na dotaci nepříznivě orientovaných trhlin systému A (kap. 7.4).

Vrstevní spáry jsou převážně sevřené, v zóně intenzivnějšího navětrání horninového masívu až mírně rozevřené v řádu prvních mm, místy vyplněné vplavenými jílovitými sedimenty. Odlučné plochy vrstevních spár jsou v navětralých částech horninového masívu hladké až mírně drsné, pokryté nálety oxidů železa. Ve zdravých drobách jsou plochy spár mírně drsné až drsné, místy s limonitickými nálety.

7.4 Tektonické podmínky

Tektonické podmínky hodnotíme především z hlediska porušení horninového masívu diskontinuitami, soustředěnými do prostorově shodně orientovaných systémů ploch nespojitosti. Z dokumentace vrtného jádra lze zčásti usuzovat na intenzitu rozpukání horninového masívu (frekvenci diskontinuit, parametr RQD), velikost sklonu, rozevření trhlin a charakter ploch nespojitosti (zazubené, hladké, drsné, atd.). Obtížnější je posuzovat prostorovou orientaci ploch nespojitosti, zejména v homogenním masívu drob bez výrazněji vyjádřené vrstevnatosti. Prostorový průběh jednotlivých puklinových systémů proto hodnotíme především na základě strukturních měření provedených ve starém kamenolomu za levou vzdušní patou hráze a dokumentace stěn kopaných šachet provedených v rámci předběžného průzkumu (3), resp. II. fáze podrobného inženýrskogeologického průzkumu (2).

Hlavní puklinový systém A je orientován zhruba kolmo na směr vrstev a uklání k SSZ až SSV, resp. protiklonně. Plochy nespojitosti tohoto systému jsou většinou strmě ukloněné (70-85°), převážně sevřené až slabě rozevřené (do 3 mm), v zóně intenzivnějšího navětrání masívu až mírně rozevřené, generelně do 2-5 mm, vyplněné vplavenými jemnozrnnými částicemi nebo jsou bez výplně. Plochy nespojitosti tohoto systému jsou průběžné v řádu několika m až prvních desítek metrů napříč vrstevním sledem, jak lze pozorovat ve stěnách kamenolomu.

Puklinový systém B je orientován protiklonně k vrstvám, uklání se tedy zhruba západním směrem. Velikost sklonu puklin systému B závisí do značné míry na velikosti sklonu vrstev a pohybuje se převážně v rozmezí hodnot 40-60°. Jedná se o diskontinuity neprůběžné, vymezené jednotlivými horninovými lavicemi, resp. deskami.

V průzkumných šachtách i ve stěnách kamenolomu jsou rovněž patrné trhliny různého směru, převážně mírného úklonu (do 50°). Tyto trhliny řadíme do systému C „náhodných“ diskontinuit.

V podmínkách navětralého až slabě navětralého horninového prostředí jsou odlučné plochy jednotlivých puklinových systémů pokryty nálety až povlaky oxidů železa. Zaznamenán byl rovněž výskyt kalcitu a přítomnost shluků zrn pyritu ve výplni trhlin nebo sekundární vyhojení trhlin křemenem. Trhliny jsou většinou planární nebo mírně zazubené, s drsným povrchem odlučných ploch. Frekvence puklin je proměnlivá, obecně platí, že v navětralých a tektonicky namořených partiích horninového masívu činí jejich četnost 0,1-0,3 m, v podmínkách slabě navětralých a zdravých hornin se zvyšuje na cca 0,50-2,00 m.

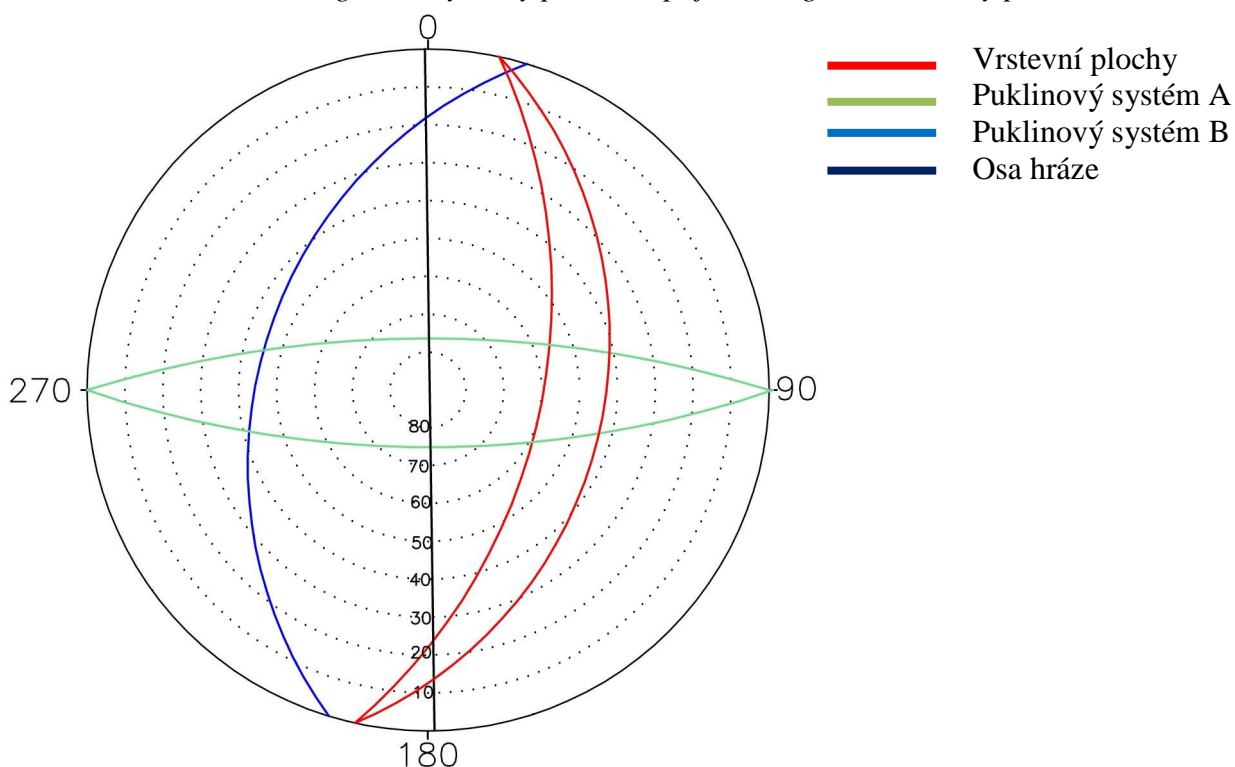
Hlavními průsakovými cestami v podloží hráze se základovou deskou maximální šířky 20 m (mimo bloky se spodními výpustěmi) se jeví diskontinuity systému A, probíhajícího kolmo k ose hráze, v kombinaci s vrstevními spárami. Trhliny systému A mohou, vzhledem ke své velké průběžnosti, propojovat krátkými průsakovými trasami prostor návodní a vzdušní paty hráze s hydraulickým spádem až 1,4. Vzhledem ke strmému sklonu těchto diskontinuit, a v podmínkách zdravého masívu malé hustotě, je jejich účinné zachycení svislými injekcemi

vrty vcelku obtížné. Tuto skutečnost bude, podle našeho názoru, nutné reflektovat při návrhu provedení injekční clony.

Tabulka č. 7.1: Přehled hlavních zastižených puklinových systémů

Označení puklinového systému	Směr sklonu (°)	Velikost sklonu (°)
A	330-30/150-210	70-85
B	280	40-60
C	různý	Převážně <50
Vrstevní plochy	85-105	55-65

Obrázek č. 7.1: Tektonogram – systémy ploch nespojitosti – generalizovaný průběh



7.5 Navětrání hornin

Navětrání hornin ovlivňuje propustnost horninového masívu v několika aspektech. V podmínkách intenzivněji navětralého horninového masívu je obvyklá větší četnost trhlin, jejich větší rozevření a častá výplň vplavenými jílovitými sedimenty (obrázek č. 7.2) nebo produkty zvětvávání.

Obrázek č. 7.2: Jílovitá výplň trhlin v navětralém horninovém masívu.



Betonová hráz bude podle (4) založena v hloubce až 8 m pod úrovní stávajícího terénu. Prakticky to znamená, že v základové jámě bude odtěžena vrstva zvětralých a silně navětralých hornin tříd R4-R5 a v základové spáře hráze budou vystupovat převážně slabě navětralé až zdravé horniny tříd R2-R3. Trhliny v tomto horninovém prostředí jsou sevřené až mírně rozevřené (generelně do 3 mm), bez výplně, místy s nálety oxidů železa na odlučných plochách. V každém případě je žádoucí při realizaci injekční clony před vlastní injektáží v maximální možné míře „vyčistit“ trhliny, resp. vrstevní spáry tlakovou vodou. Mimo jiné také z tohoto důvodu je třeba důsledně provádět a vyhodnocovat vodní tlakové zkoušky.

7.6 Hydrogeologické podmínky

Hydrogeologické podmínky v rámci realizace injekčního pokusu hodnotíme ze dvou hledisek:

- a) Úrovně hladiny podzemní vody jako jednoho ze vstupních parametrů pro výpočet zkušebních tlaků
- b) Agresivity podzemní vody na injekční směs

Ad a) Podzemní voda mělkého oběhu je vázána na průlinově propustný kolektor fluvialních štěrkovitých zemin budujících bázi údolní terasy. Režim hladiny podzemní vody je spjat s kolísáním volné hladiny v řece Opavě, z níž jsou údolní štěrky převážně dotovány. Menší část dotace připadá na infiltrované atmosférické srážky a podzemní vodu přitékající z horninového masívu v údolních svazích. Hladina podzemní vody byla v údolní nivě zastižena v hloubce cca 1,5 m.

Podzemní voda hlubšího oběhu cirkuluje v puklinovém prostředí kulmského horninového masívu. Zčásti je dotována vertikální infiltrací z bazálních štěrků údolní terasy, převážně však nejspíše přítoky z prostoru údolních svahů.

Ad b) Agresivita podzemní vody na stavební materiály byla zkoumána laboratorně na vzorcích odebraných z průzkumných šachtic provedených v rámci podrobného inženýrskogeologického průzkumu. Podle ČSN EN 206 – 1 – Beton – část 1: *Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda* analyzované vzorky podzemní vody vykazují žádný (S316) nebo slabý stupeň (S318, S319) uhličitánové agresivity na betonové konstrukce.

8. VYHODNOCENÍ PRŮZKUMNÝCH PRACÍ

8.1 Vstupní podmínky

Při hodnocení průběhu a výsledků injekčního pokusu vycházíme z těchto vstupních podmínek:

- a) Testovaný horninový masív představuje v zásadě izotopní prostředí budované prakticky výlučně pevnými kulmskými drobami tlustě deskovité, převážně však lavicovité odlučnosti, vymezené vrstevními spárami skloněnými 45° až 65°, průběžnými v řádu minimálně desítek metrů.
- b) Kontinuita horninového prostředí je dále porušena třemi systémy ploch nespojitosti, z nichž rozhodujícím je puklinový systém A, probíhající subparalelně s osou údolí (kolmo na osu hráze). Trhliny systému A jsou průběžné v řádu metrů až desítek metrů, jsou strmě ukloněné a mohou vytvářet krátké průsakové cesty pod základovou spárou hráze.
- c) Propustnost horninového masívu je určována především intenzitou jeho rozpukání, průběžností trhlín a jejich výplní. Řízeně zvyšované zkušební, resp. injekční tlaky

nezpůsobují celkovou dezintegraci hornin, skokový nárůst ztrát vody je důsledkem násilného rozevírání trhlin.

Hodnocení propustnosti horninového prostředí je provedeno podle kritérií běžně používaných v přehradním stavitelství:

- Jähdeho kritérium – přípustná ztráta vody při tlaku 0,3 MPa činí 0,3-0,5 l/m/min.
- Lugeonovo kritérium – přípustná ztráta vody při tlaku 1 MPa činí 1 l/m/min.

Je třeba zmínit, že uvedené ztráty se obecně připouští do hloubek cca 10-15 m pod základovou spárou hráze. V nižších partiích skalního podloží lze, podle dosavadních zkušeností, uvažovat i se ztrátami několikanásobně vyššímu – v závislosti na konkrétních geologických podmínkách.

8.2 Vodní tlakové zkoušky

Pole injekčního pokusu je umístěno mezi archívními vrty KJ3, resp. KJ4 (příloha č. 2), přičemž vrt KJ4 byl proveden cca 10 m jižně od vrtu J320A2. V obou archívních vrtech byly do hloubek cca 30-32 m zaznamenávány velmi vysoké ztráty vody (až 20 l/m/min. při srovnávacím tlaku 0,3 MPa). Od této úrovně, v podstatě skokovitě, spotřeby vody klesly na hodnoty generelně do 3 l/m/min., považované v odborné literatuře za ztráty přípustné pro nízké přehradu.

Ve vrtech prvního pořadí (J320A) injekčního pokusu, vzájemně vzdálených 6 m (příloha č. 2, příloha č. 3.1) byly při zkušební tlaku 0,3 MPa zaznamenány maximální ztráty vody cca 3 l/m/min. Ve vrtu J320A1 je dobře patrný trend k poklesu ztrát vody s hloubkou, naopak ve vrtu J320A2 spotřeby mírně narůstají. Nicméně v porovnání s vodními tlakovými zkouškami ve vrtech K3 a K4 jsou námi zjišťované spotřeby vody výrazně nižší.

Ve vrtu J320B je patrný pokles průměrných spotřeb vody při srovnávacím tlaku 0,3 MPa (tabulka 8.1). Pokles spotřeb je patrný zejména v hloubkách do cca 20 m, níže jsou rozdíly ve spotřebách vody mezi vrty I. pořadí a vrtem J320B spíše nepatrné. V etáži 36-40 m nebylo dosaženo teoretického injekčního tlaku (1,6 MPa).

Ve vrtech III. pořadí jsou průměrné hodnoty spotřeb vody při tlaku 0,3 MPa v hloubkové úrovni do 26 m podstatě totožné se spotřebami ve vrtu J320B.

Tabulka č. 8.1: Přehled průměrných spotřeb vody při VTZ v pokusných vrtech

Označení vrtu	Zkušební tlaky (MPa)					
	0,15	0,30	0,30-1,00	0,30-1,00	0,30	0,15
			1,00	1,00		
J320A1	0,53	1,16	2,90	3,47	1,20	0,56
			1,13	1,16		
J320A2	1,02	1,87	3,15	3,24	1,90	1,12
			2,27	2,28		
J320B	0,44	0,82	1,09	1,05	0,78	0,44
			1,64	1,67		
J320C1	0,64	1,02	1,66	1,63	0,87	0,46
J320C2	0,38	0,76	0,83	0,78	0,70	0,39
J320K	0,28	0,60	1,44	1,46	0,62	0,27
			0,83	0,87		

Ve vrtech I. pořadí dochází k mírnému nárůstu spotřeb vody ve druhé tlakové větvi, což indikuje vyplavování jemnozrnných výplní trhlin během vodní tlakové zkoušky. Naopak u částí etáží vrtu J320B a vrtů III. pořadí přepočtené spotřeby v průměru klesají v důsledku kolmatace trhlin přemísťovanými výplněmi.

Kontrolním vrtem J320K byl potvrzen pokles spotřeb vody při jednotlivých tlakových stupních – zejména v povrchové zóně horninového masívu (do 20 m). V hlubších partiích, pod úrovní dna vrtu J320C1, jsou patrné vyšší spotřeby ve dvou jednotlivých etážích, což nejspíše souvisí se zastižením nezainjektovaných subvertikálních trhlin. Do hloubky 26 m, tedy dosahu injektáže vrtů III. pořadí vyhovělo Jähdeho kritériu pět etáží ze šesti. V hloubce 26-50 m nevyhověly Jähdeho kritériu dvě etáže ze šesti. Při hodnocení propustnosti masívu podle Lugeona lze konstatovat, že v hloubkovém intervalu 23-50 m nevyhověly v kontrolním vrtu dvě etáže ze sedmi.

8.3 Stanovení injekčních tlaků

Za účelem stanovení optimálních injekčních tlaků byly ve vrtu J320A1, po dokončení vodních tlakových zkoušek v jednotlivých etážích, postupně zvyšovány zkušební tlaky až na hodnoty, při nichž docházelo k násilnému rozevírání trhlin, projevujícím se skokovým nárůstem spotřeb vody. Bylo zjištěno, že v intervalu 8-20 m dochází ke klakázím při tlacích s koeficientem 1,7-1,8, prakticky bez ohledu na hloubku testované etáže. Domníváme se proto, že při těchto tlacích není překonávána „strukturní“ pevnost masívu určená jeho objemovou hmotností a smykovou pevností, nýbrž dochází k lokálnímu násilnému rozevírání subvertikálních trhlin a relativně strmě ukloněných vrstevních spár. V hloubkách od 20 m byl ve všech etážích vrtu J320A1 aplikován tlak 2.p.H, aniž by docházelo ke klakázím. Pro pokusnou injektáž v ostatních vrtech zkušební pole byly v hloubkách 8 – 20 m použity tlakové koeficienty 1,1 až 1,4.

Stanovení injekčních tlaků při provozní injektáži bude vycházet ze způsobu realizace clony, tzn. zda injektáž bude prováděna z podkladního (vyrovnávacího) betonu ve dně odkryté stavební jámy nebo z již hotové injekční štoly, kde lze uvažovat s přitížením masívu tíhou přehradní hráze.

8.4 Pokusná injektáž

Součástí průzkumných prací bylo provedení pokusné injektáže s cílem alespoň orientačně ověřit spotřeby směsi (sušiny). Je zřejmé, že pokusná injektáž byla provedena v omezeném počtu vrtů a spotřeby směsi se v přehradním profilu zcela jistě budou měnit v závislosti na povaze těsněného prostředí. Lze nicméně konstatovat, že injekční pokus byl proveden v horninovém prostředí charakteristickém pro větší úsek přehradního profilu (souvrvství s převládajícím podílem pevných drob), zahrnující levý svah a údolní část - zhruba po levý břeh toku Opavy.

Injektáž byla z důvodů uvedených v kap. 6.5 provedena cementovou směsí s pouze malým podílem bentonitu. Zkušenost je taková, že dobře aktivovaná stabilní jílocementová směs vykazuje lepší pronikací schopnost i do mírně rozevřených diskontinuit v horninovém prostředí (z důvodu vyššího podílu jemných částic a absence ostrohranných cementových zrn). Lze proto předpokládat, že reálné spotřeby injekční směsi budou vyšší. Podle zkušenosti z realizace injekční clony na vodním díle Slezská Harta je spotřeba aktivované jílocementové směsi cca 1,2 x vyšší, než spotřeba cementové směsi podobné objemové hmotnosti.

V tabulce č. 8.2 je prezentován vývoj spotřeb injekční směsi v pokusných vrtech. Spotřeby ve vrtu J320A1 jsou zřeslené v důsledku aplikace zkušebních tlaků vedoucích k násilnému rozevírání trhlin. Průměrná spotřeba sušiny ve vrtech I. pořadí je vyšší jak 30 kg/m a vývoj spotřeb cementové směsi v podstatě kopíruje vývoj spotřeb vody při VTZ.

Ve vrtu II. pořadí činí průměrná spotřeby sušiny cca 18 kg/m, je tedy celkově výrazně nižší, než u vrtů I. pořadí, přičemž lze pozorovat trend snižování spotřeb s hloubkou. Ovšem v poslední etáži 36-40 m byla zaznamenána jedna z nejvyšších spotřeb směsi vůbec.

Tabulka č. 8.2: Přehled průměrných spotřeb injekční směsi v pokusných vrtech

Vrt	J320A1		J320C1		J320B		J320C2		J320A2		J320K	
etáž	směs	sušina	směs	sušina	směs	sušina	směs	sušina	směs	sušina	směs	sušina
	l/m	kg/m	l/m	kg/m	l/m	kg/m	l/m	kg/m	l/m	kg/m	l/m	kg/m
8-11	71.7	97.5	3.3	4.5	10.0	13.6	17.7	24.0	11.7	15.9	4.3	5.9
11-14	55.0	74.8	11.7	15.9	21.7	29.5	4.3	5.9	11.0	15.0	9.3	12.7
14-17	28.3	38.5	15.0	20.4	14.3	19.5	8.3	11.3	18.3	24.9	10.0	13.6
17-20	60.0	81.6	22.7	30.8	7.7	10.4	9.3	12.7	22.7	30.8	10.0	13.6
20-23	17.7	24.0	20.0	27.2	3.3	4.5	14.0	19.0	17.7	24.0	17.7	24.0
23-26	16.0	21.8	15.0	20.4	6.7	9.1	21.7	29.5	11.7	15.9	11.0	15.0
26-29	18.3	24.9			9.3	12.7			13.3	18.1	11.7	15.9
29-32	22.7	30.8			4.3	5.9			12.7	17.2	7.7	10.4
32-36	8.8	15.9			5.0	9.1			31.3	56.7	27.5	37.4
36-40	18.3	33.1			35.8	64.8			31.3	56.7	3.8	5.1
40-45	4.6	10.4							10.6	24.0	25.0	34.0
45-50	2.6	5.9							36.6	83.0	7.0	9.5
Průměr	27.0	38.3	14.6	19.9	11.8	17.9	12.6	17.1	19.1	31.8	12.1	16.4

Ve vrtech III. pořadí je průměrná spotřeba sušiny v podstatě stejná jako ve vrtu J320B, ve většině sousedních etáží jsou ve vrtech III. pořadí spotřeby směsi dokonce vyšší. Ve vrtu J320K, umístěném mezi vrty J320A1 a J320C1, je patrný pokles spotřeb směsi v hloubkovém intervalu 8-26 m – v porovnání s vrtem J320C1. Projevuje se účinek injektáže mezi sousedními vrty, vzájemně vzdálenými 1,5 m. V hloubkové úrovni 26-40 m jsou spotřeby v kontrolním vrtu obecně vyšší, než ve vrtu J320B, proinjektování masívu mezi vrty vzdálenými 3 m se tedy neprojevuje.

9. ZÁVĚRY A DOPORUČENÍ

Na základě výsledků provedeného injekčního pokusu lze konstatovat:

- Testováno bylo horninové prostředí budované převážně masívními kulmskými droby vysoké pevnosti, charakteristické pro levobřežní a údolní části přehradního profilu.
- Kontinuita horninového masívu je porušena trhlinami soustředěnými ve dvou hlavních systémech a vrstevními spárami, podmiňujícími lavicovitou odlučnost skalního podloží. Z hlediska celkové propustnosti horninového masívu a rizika vzniku krátkých průsakových cest podloží hráze je nejdůležitější puklinový systém A probíhající kolmo k ose hráze, zahrnující průběžné, převážně strmě ukloněné diskontinuity. Průběžné v řádu min. desítek metrů jsou vrstevní spáry, skloněné pod úhly 45-65° směrem k východu. V jádrových vrtech nebyly zastiženy tektonické dislokace.

- c) Ve vrtech vyšších pořadí byl zaznamenán pokles průměrných spotřeb vody injekční směsi v porovnání s vrty prvního pořadí. Ve vrtech třetího pořadí byly spotřeby vody proměnlivé, celkový pokles ztrát vody v porovnání s vrty I. pořadí a vrtem II. pořadí byl zaznamenán ve vrtu J320C2. Pokles spotřeb je dobře patrný i v kontrolním vrtu J320K.
- d) Vodními tlakovými zkouškami nebyla zjištěna extrémní propustnost horninového masívu, uváděná v archívních vrtech K3 a K4. Maximální ztráta vody činila 5,6 l/m/min. při zkušební tlaku 0,55 MPa (J320A1, etáž 17-20 m). Od hloubek cca 20 m prakticky všechny testované etáže vykazovaly při tlaku 0,3 MPa spotřebu vody nižší jak 2,5 l/m/min., uváděnou v odborné literatuře jako přípustnou pro nízké přehrady.
- e) Vývoj spotřeb injekční směsi v jednotlivých vrtech pokusného pole je obdobný.

Úspěšnost injektáže podloží hráze vodního díla bude do značné míry záviset na tom, jaké množství průběžných subvertikálních trhlin probíhajících kolmo k ose hráze (puklinový systém A), se podaří injekčními vrty protnout a zatěsnit. Četnost průniků do trhlin skloněných průměrně 75° svislými vrty bude výrazně nižší, než vrty skloněnými cca 30° proti směru sklonu diskontinuit. Vzhledem k protiklonné orientaci puklin systému A (část trhlin se uklání směrem k severu, část k jihu) by bylo vhodné provádět injekční vrty rovněž protiklonně, tzn. „do kříže“. Technická náročnost takového řešení je zřejmá, navíc vyžadující důslednou průběžnou kontrolu prostorového průběhu injekčních vrtů. Jednodušší variantou je provádět injekční vrty svisle v konečné rozteči 1 m a šikmo provést krátké vrty fortifikační, přičemž jedna řada těchto vrtů (např. návodní) by byla skloněna k severu, druhá řada (vzdušní) pak k jihu. Tímto způsobem lze zajistit dokonalé proinjektování horninového masívu pod základovou spárou hráze.

Na základě výsledků injekčního pokusu (II. fáze, celek C) a výsledků vodních tlakových zkoušek v individuálních vrtech (II. fáze, celky B, E), s přihlédnutím k VTZ z předběžného průzkumu (3) doporučujeme injekční clonu provést do hloubky max. 35 m pod úroveň stávajícího terénu. Vzhledem k podobným spotřebám vody i sušiny ve vrtech II. a III. pořadí, což vyplývá z charakteru rozpukání horninového masívu, se domníváme, že injekční clonu lze provést ve dvou, resp. třech pořadích o konečné rozteči vrtů 1 m. Vrty všech pořadí by byly stejné délky.

Stanovení velikosti injekčních tlaků bude záviset na způsobu založení clony, tzn. zda vrtné práce budou prováděny ze dna stavební jámy nebo z již hotové injekční štoly, kdy bude možno při stanovení tlakových koeficientů uvažovat s tíhou betonového tělesa hráze. Zkušenost z injekčního pokusu je taková, že od hloubek cca 20 m lze injektovat tlakem odpovídajícím dvojnásobné tíze nadloží ($k=2$). V menších hloubkách (do 20 m) je vhodné tlakový koeficient postupně zvyšovat z $k=1$ (základová spára) až na $k=1,7$.

Injektáž je vhodné provádět aktivovanou jílocementovou směsí zdánlivé viskozity cca 36 s (měřeno v průtokovém viskozimetru March). Podíl jednotlivých složek ve směsi bude záviset na druhu použitého cementu i bentonitu. Dekantance směsi by se měla blížit 0%, pevnost v tlaku 8-12 MPa.

Budování injekční clony na vodních dílech je proces do značné míry interaktivní, nevylučující korekce projektem předepsané metodiky, úpravy hloubek injekčních vrtů, modifikace typu používané injekční směsi - v závislosti na konkrétně zjišťovaných podmínkách. Je proto nezbytné, aby vrtné a injekční práce řídili a prováděli kvalifikovaní pracovníci za trvalého dozoru inženýrskogeologického sledu.