

Mineralia slov.
17 (1985), 2, 153—165

Poznatky z prieskumu a geologického dozoru prečerpávacej vodnej elektrárne Čierny Váh

VILIAM NEVICKÝ

IGHP, n. p., závod Žilina, Rajecká cesta, 010 51 Žilina

(2 obr. v texte)

Doručené 13. 2. 1984

Сведения полученные при разведке и геологическом наблюдении пере- черпывающей водной электростанции

Район перечерпывающей водной электростанции (ПВЭ) Чирни Ваг имеет сложные геологическо-тектонические и фундаментальные условия. Постройка верхнего водоёма расположена на территории с карстовыми феноменами а нижний водоём на тектонической зоне. Вопросы связанные со стабилизацией склонов правобережья плотин и другие сведения полученные в результате инженерногеологической разведки и геологического надзора для этого сооружения и являются предметом этой работы.

Knowledge from geological investigation and supervision of the pumped storage hydropplant Čierny Váh

There are very complicated geological, tectonic and foundation conditions on the place of the erected Čierny Váh drawing hydraulic power-station. The contents of submitted article is as follows: foundation of the upper basin on the area with demonstration of atypical karst phenomenon; foundation of the lower basin dam on valey fault zone; problems of slope stability of the right-hand valey bank and other knowledge obtained in the course of engineering-geological investigation and geological supervision for this construction.

O výstavbe prečerpávacej vodnej elektrárne Čierny Váh (ďalej PVE) sa uvažovalo a rozhodovalo dlhší čas. Prvý nekomplexný orientačný prieskum otázku realizovateľnosti diela nezodpovedal. Celková stabilita územia, relatívne nevhodná zá-

kladová pôda pod plánovanou elektrárnou a nebezpečenstvo krasu v hornej nádrži boli príčinou toho, že sa konečné rozhodovanie o realizovateľnosti PVE presunulo až do ďalších etáp prieskumu. O stavbe sa definitívne rozhodlo až v etape podrob-

ného prieskumu po sovietskej expertíze v Moskve na jar 1974.

Dielo bolo ukončené roku 1982. V mieste jeho výstavby sú veľmi zložité geologické a tektonické pomery a ich riešenie si vyžiadalo rozsiahly a nákladný prieskum vo viacerých etapách. Poznatky z prieskumu a z geologického dozoru počas výstavby diela sa doteraz súhrnne nepublikovali a zhrňame ich v tomto príspevku.

Nevelká náhorná plošina na rozvodnicovom chrbte medzi Bielym a Čiernym Váhom na severnom svahu Nízkyh Tatier v priestore kóty Vyšné Sokoly a Turková vo výške okolo 1150 m n. m. bola pri voľbe miesta pre PVE Čierny Váh rozhodujúca. Je tam priaznivý hydraulický spád medzi hornou a dolnou nádržou (420 m), ako aj morfológické a horninové podmienky umožňujúce dosiahnuť priaznivú reláciu medzi výkopmi nádrže a násypmi obvodovej sypanej hrádze. Po odstránení kvartéru sa relácia blížila pomeru 1 : 1.

Po výbere tohto miesta projektantom (HYCO Bratislava) sa plnila ďalšia dôležitá požiadavka na výstavbu PVE, overovala sa realizovateľnosť, resp. podmienky na realizáciu stavby z hľadiska inžiniersko-geologických a hydrogeologických pomerov.

Prvé etapy prieskumu sa zamerali na zistenie celkovej geologickej a tektonickej stavby územia, výber optimálneho situovania priehradného profilu dolnej nádrže a na získanie podkladov na voľbu medzi podzemným či povrchovým umiestnením elektrárne.

Etapy predbežného a podrobného prieskumu viac-menej splynuli, pretože rozhodnutie federálnej vlády o začatí stavby stanovilo náročný časový limit, v ktorom bolo nevyhnutné prieskum uskutočniť. Tomu sa prispôbil aj druh a rozsah prieskumných prác.

V rámci tejto etapy sme ďalej sledovali najdôležitejšie inžiniersko-geologické otázky, ktoré rozhodovali o realizovateľnosti stavby celého diela a podrobne sme overovali vlastnosti jednotlivých typov základovej pôdy pod konkrétnymi objektmi.

Hlavnými objektmi vybudovanej PVE Čierny Váh sú: *horná nádrž* — obvodová, kamenitá, sypaná, celkový objem 3,6 mil. m³, výška hladiny 25 m, kolísanie v priebehu špičky 24 m, dno aj svahy nádrže sú utesnené asfaltobetónom; *podzemné privádzače* — 3 paralelné oceľové potrubia s rozstupom 30 m, priemer 3,8 m, hrúbka potrubia dimenzovaná na tlak zohľadňujúci spoluúčasť horninového prostredia, sklon šikmého úseku 45°, celková dĺžka jedného privádzača (šikmý úsek + 2 horizontálne) je 1300 m, usporiadanie pozri na obr. 1; *elektrárň* — je súčasťou hrádze dolnej nádrže, hĺbka založenia 30 m, 6 turbín, inštalovaný výkon 665 MW, dĺžka špičky 5,53 hod., výškový rozdiel oproti hornej nádrži 430 m; *dolná nádrž* — hrádzu tvoria betónové objekty elektrárne a injekčnej štólne + kamenitý prísyp; obsah nádrže 3,7 mil. m³, výška hladiny 17 m, denné kolísanie hladiny v špičke 11 m, svahy údolia chránené proti sufózii prísypom a geotextilovou fóliou; *vtokový objekt* — výška vtokovej veže 58 m, hĺbka založenia 45 m.

Geologicko-tektonická charakteristika územia

Stratigraficky územie budujú súvrstvia vrchného permu, triasu, jury a spodnej kriedy. Ich rozloženie ilustruje obr. 2 (Biely, 1959). Vrchný perm je zastúpený psamiticko-psefitickým a peliticko-psamitickým súvrstviem a rozlíšil sa v ňom sivý a hnedočervený polymiktný zlepenec, arkóza, droba, pieskovec, ílovité bridlice a zmiešané typy brekciovitého charakteru.

Súčasnou permu je aj vulkanogénny komplex na konci zátopy dolnej nádrže, zastúpený bazickými pyroklastikami, ale najmä olivinickými diabázmi, melafýrmi, porfýritmi a kremitými porfýritmi (Biely, 1960).

Spodný trias zastupujú viaceré petrografické typy, navyše modifikované účinkom tektonických pohybov. Je to svetlosivý celistvý kremenec, bridličnato-pieskovcové súvrstvie červenofialovej farby, detriticko-karbonátové súvrstvie zelenej a sivej farby. Jeho veľká časť je intenzívne tektonicky porušená, má brekciovitú textúru a vysoké percento dolomitu vo forme úlomkov a plávajúcich blokov, v základnej, prevažne zemitej substancii (Nevický, 1973).

Stredný trias v mieste objektov je naj-

mä z dolomitu, v menšej miere z guttensteinského vápenca.

Vrchný trias sa overil v zastúpení lunzských vrstiev s charakteristickým striedaním ílovitých bridlíc, ílovca a pieskovca.

Jurské vrstvy reprezentuje tmavosivý až čierny jemnozrnný krinoidový vápenec so spongolitmi.

Spodná krieda je v záujmovom území najmladším útvarom a zastupuje ju tmavosivý slienitý vápenec a slieňovec.

Tektonická stavba územia a príľahlej oblasti je mimoriadne komplikovaná. Horninové komplexy sú výrazne poznačené širokou škálou mechanických diskontinuit, a to od neúplných až po úplné. Ich frekvencia je taká veľká, že sa pri prieskumných, ako aj pri výkopových prá-



Obr. 1. Situácia hlavných objektov PVE. 1 — horná nádrž, 2 — dolná nádrž, 3 — privádzače, 4 — elektrárň

Fig. 1. Location of main structures in the pumped storage power plant. 1 — upper reservoir, 2 — lower reservoir, 3 — penstocks, 4 — power plant

cach nezaznamenal ani 1 m³ bez diskontinuit. Príčinou je pestrá geologická minulosť prostredia, v ktorom prebehlo viac horotvorných a dotváracích tektonických procesov. Celé územie je súčasťou chočskej tektonickej jednotky a z toho vychodí, že charakteristickou črtou jeho tektonickej stavby je vrásovo-prikrovová stavba (Maheľ, 1963).

Medzi najvýraznejšie prejavy tektoniky v záujmovom území patrí výrazná zlomová tektonická línia prebiehajúca údolím Čierneho Váhu a sledovateľná na vzdialenosť 15–20 km (Biely, 1960). V mieste výkopovej jamy pre elektrárne má smer VSV–ZJZ a sklon okolo 80° na JJV. Línia tvorí ostré rozhranie dvoch výrazne odlišných celkov, ktoré sa dalo sledovať v 30 m hlbokom a takmer na celú šírku údolia dlhom výkope. Na pravej strane údolia, s presahom cca 30 m do jeho údolnej časti, je to dolomitový masív, ostatnú časť údolia vyplňa atypický komplex tektonicky prerenených hornín prevažne brekciovitého charakteru. Celé údolie v mieste dolnej nádrže elektrárne možno považovať za rozsiahlu tektonickú zónu širokú viac ako 100 m (Nevický, 1973).

Ďalšia významná tektonická porucha, ktorú prieskum zistil a ktorá ovplyvnila situovanie objektu elektrárne (pôvodne mal byť v podzemí), prechádza pravostranným dolomitovým masívom s priebežnosťou niekoľko 100 m. Orientácia poruchy je SV–JZ a sklon 35–40° na JV. Jej sklon je približne paralelný so sklonom svahu, čo má nepriaznivý vplyv na stabilitu viac ako 400 m vysokého pravého svahu.

Okrem uvedených a ďalších makrotektonických prvkov sledovateľných na morfológii terénu, v prieskumných dielach alebo pri výkopových prácach sa v rámci prieskumu venovala pozornosť meraniu a hodnoteniu drobnotektonických prvkov mechanickej diskontinuity. Vyčlenilo sa

dovedna 5 súborov mechanických diskontinuit (v podstate zhodných s prácami Poláška, 1968), ktoré sa odlišujú priestorovou orientáciou, vekom, priebežnosťou, charakterom výplne, roztvorenosťou, ako aj vplyvom na stabilitu výrubov a celkovú stabilitu svahov (zhodnotené v správe Nevického, 1973). Boli to súbory: A — 150/50 — 85° — najpočetnejší, paralelný s násunovou tektonikou, B — 240–255/40 — 80°, C — 105–120/50 — 85°, D — 210/50 — 80°, E — smer sklonu premenlivý, veľkosť sklonu do 25°.

Horná nádrž

Priestor hornej nádrže predstavoval plochý chrbát s miernym sklonom na S a s plochou do 1 km². Územie je z dolomitu stredného a vrchného triasu, jurského krioidového vápenca, dolomitického vápenca a guttensteinského vápenca. Ako to jednoznačne dokázali aj výkopové práce, rozhranie medzi vápencom a dolomitom je paralelné s tektonickým stykom medzi čiernovážskou a bielovážskou sériou a prebieha približne stredom nádrže v smere SV–JZ. Kvartérny pokryv tvorila hlina a sutina s mocnosťou do 3 m, lokálne do 14 m. Pred etapou podrobného prieskumu (v rozsahu 14 jadrových vrtov do 50 m a 80 šachtíc s hĺbkou max. do 17 m) sa vykonal geofyzikálny prieskum metódou elektrického odporového sondovania a profilovania a dosiahol dobré výsledky. Overovala sa najmä priepustnosť hornín, a to s ohľadom na nevyhnutnosť utesnenia nádrže, kvalita základovej pôdy pod násypmi hrádze, vhodnosť materiálov zo zátopy do násypov obvodovej hrádze a stabilita svahov pod násypmi. Horniny predkvartérneho podkladu sú veľmi intenzívne tektonicky postihnuté, najmä široké otvorené trhliny a medzivrstvové špáry vyplnené zatečeným kvartérnym materiálom s častými puklinami a porušenými horni-

novými blokmi. Najväčším problémom pri zakladaní hornej nádrže bola priepustnosť hornín. Komplikovali ju ešte otvorené dutiny v dolomitickom vápenci a vápenci. Rozsah dutín, viažúcich sa genézou a priestorovo na tektonické zóny, a najmä ich križovania, do hĺbky 30 m zastierali kvartérne záteky. Vysoká priepustnosť potvrdená úplnou stratou vyplachovača pri vŕtaní a nalievacích skúškach, si vyžiadala vybudovať úplné plášťové tesnenie dna aj svahov nádrže. Z hľadiska únosnosti a stlačiteľnosti boli horniny predkvartérneho podkladu ako základná pôda na založenie násypov bez ďalších úprav vhodné. Výnimkou boli najexponovanejšie násypy na severnej a východnej strane hrádze, kde sa navrhlo založenie päty pomocou zazubenia porušenejších častí skalného podložia. Väčšia časť hornín z územia zátopy bola vhodná na budovanie násypov. Dve miesta s vysokým zastúpením výplňového hlinito-ílovitého materiálu (40–50 %) boli vyčlenené a materiál z nich deponovaný.

Počas výstavby hornej nádrže sa po vyhlbení dna nádrže po projektovanú úroveň (okolo 31 m pod pôvodným terénom) ukázal rozsah dutín oveľa väčší, ako ho zistili vrty a početné šachtice, ktoré sa nehĺbili pod úroveň projektovaného dna. V tomto prípade sa zvyčajne prijímaný predpoklad, že horniny smerom do hĺbky svoju kvalitu zlepšujú, ukázal ako chybný. Otvorené trhliny a dutiny práve do hĺbky cca 30 m pod terénom začali enormne zväčšovať svoj objem a zátek kvartéru ich nevyplňal. Preto sa v priebehu výstavby musel vykonávať doplnkový prieskum na identifikáciu všetkých dutín a dutiny sa následne sanovali. Objem dutín bol taký veľký, že by pri výške hladiny 25 m a kolísajúcom dynamickom zaťažovaní dna nádrže hrozilo nebezpečenstvo prelomenia konštrukčných a tesniacich vrstiev nádrže, a tým jej celková havária.

Na čo najrýchlejšie vyhľadanie dutín sa použilo viac geofyzikálnych metód paralelne na celej ploche nádrže vrátane svahov, aby sa riziko vynechania niektorej dutiny znížilo na minimum. Použila sa mikrogravimetrická, geoelektrická a seizmická metóda. Od uvažovaného vyhľadávania pomocou radaru sa z finančných a technických dôvodov upustilo. Po čiastkových výsledkoch sa prestala používať seizmická metóda, lebo ostatnými dvoma sa dosiahli spoľahlivejšie výsledky. Výsledkom geofyzikálnych meraní bolo priestorové vymedzenie anomálií, a teda aj otvorených dutín. Pre striktné termíny výstavby sa volili čo najrýchlejšie a pritom spoľahlivé metódy overovania zistených anomálií, ako aj sanácie. Na overovanie geofyzikou zistených anomálií sa použil rýchly a, ako sa ukázalo, aj spoľahlivý systém bezjadrového vŕtania so vzduchovým vyplachovačom na malé profily lomárskymi vrtnými súpravami fy Ingersoll. Priebeh vŕtania kontinuálne hodnotil geológ, ktorý okrem farby vynášaného média zaznamenal postup vŕtania, a najmä poklesy vrtného náradia jednoznačne indikujúce dutiny v hornine. Hĺbka vrtovej bola 15 m, čas hĺbenia jedného vrtu 45 až 60 min. Tam, kde navrhnutá sieť zachytila dutinu, bola sieť vrtovej zahustená vŕtaním do križa, aby sa vymedzil priestorový dosah zistenej dutiny. Všetky vrty boli premerané kavernometricky. V niektorých vrtoch sa na obhliadku dutín použil vrtný periskop. Na celom území hornej nádrže sa vyhlúbilo viac ako 200 overovacích vrtovej a dovedna sa zistilo 53 dutín s objemom nad 2 m³. Niektoré z nich boli otvorené po dno nádrže, mali priemer viac ako 1 m a boli prístupné speleologickému vyhodnoteniu. Najväčšia z dutín pohltila 650 m³ zmesi. Konštatovalo sa, že napriek vysokému objemu spotrebovanej zmesi, ktorá je impresívna, je technická realita priaznivejšia, pretože prevažne ide o úzke a

strmé dutiny s veľkým hĺbkovým a dĺžkovým dosahom. Podľa charakteru dutín z hľadiska genézy nešlo o typické krasové kaverny. Boli to zväčša trhliny a dutiny spôsobené tektonickými pohybmi a sekundárne dotvorené pôsobením vysokého horizontálneho napätia a presakovaním povrchovej vody po preferovaných cestách. Iba tri z preskúmaných dutín mali krasový charakter, výraznú krasovú výzdobu a čiastočné kalcitové vyhojenie (Pavlarčík, 1979).

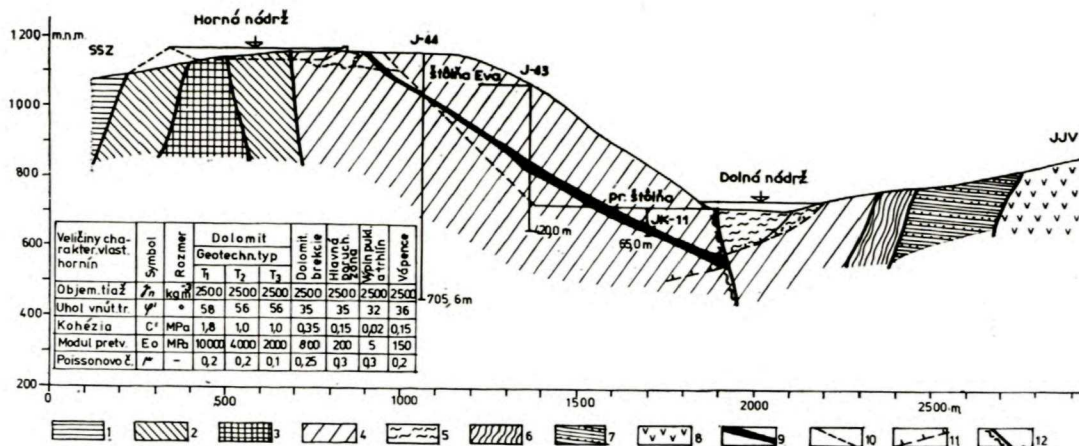
Ihneď po vymedzení každej dutiny nasledovala jej sanácia. Používala sa na to riedka betónová zmes, aby prenikla aj cez prípadné zúžené miesta do vzdialenejších častí rozširujúcej sa dutiny. Zmes sa plnila od stredových vrtov k obvodu pomocou vsunutých rúr dovrchným spôsobom pod tlakom.

Elektrárň a dolná nádrž

Podľa pôvodného projekčného zámeru mala byť podzemná elektrárň v pravostrannom dolomitovom masíve údolia Čierny Váh. Pre geologické pomery v masíve zistené predbežným inžinierskogeologickým prieskumom sa postavila povrchová elektrárň. Pri rozmeroch elektrárenského komplexu (viac ako 100) a hĺbke jeho založenia (27 m p. t.) tvorí elektrárň súčasť hrádze, a preto ich možno hodnotiť spolu.

Úlohou prieskumu bolo z hľadiska inžinierskogeologických podmienok stanoviť relatívne najvhodnejšie miesto na situovanie hrádze a elektrárne, a to v priestore limitovanom technickými možnosťami riešenia projektu PVE. Táto úloha nebola ľahká. Celá údolná niva Čierneho Váhu, v limitovanom priestore široká okolo 200 m, je vlastne tektonickou zónou. Pod vrstvou kvartérneho zvodeného štrku v mocnosti do 6 m je predkvartérne pod-

ložie, ktoré nemá povahu skalných hornín. Pôvodné horniny, ktorými boli dolomity, bridlice a v menšej miere pieskovec s kremencom, sú tu mimoriadne intenzívne tektonizované, premiešané a sčasti druhotne chemicky premenené (Vodzinskas, 1965). Mocnosť tohto komplexu je niekoľko desiatok m, narastá v smere od ľavej časti údolia po pravú (obr. 2). Rozlíšili sa v ňom najmä dva celky: monomiktne dolomitové brekcie a polymiktne brekcie. V prvom celku výrazne prevláda karbonátová zložka, najmä vo forme zemitej a stredne až dobre spevnenej poloskalnej substancie s ojedinelými úlomkami a plávajúcimi blokmi pôvodnej dolomitovej zložky. Komplex je sivej a žltosivej farby. Pri polymiktých brekciách, ktoré majú obdobný geotechnický charakter, figuruje okrem karbonátov aj bridlica, pieskovec a kremenec, a to opäť ako rozptýlená zložka v základnej zemitej a poloskalnej hmote. Základové podmienky sa overovali jadrovými vrtmi, šachticami a dvoma veľkopriemerovými (3 m) kruhovými šachtami do hĺbky 50 m. Jedna z nich bola situovaná tak, aby zachytila obidva komplexy a v nich sa vykonali zafažovacie skúšky in situ. Niektoré laboratórne zistené geotechnické parametre zo vzoriek zeminy, ako aj in situ (presimetričné skúšky, ploché lisy) uvádza obr. 2. Technické vlastnosti obidvoch komplexov umožňovali hĺbiť základové jamy bez trhacích prác bagrami. Treba poznamenať, že vlastnosti brekcií záviseli od prítomnosti podzemnej vody. V prirodzenom stave boli komplexy brekcií prakticky suché a pri vysokom podiele slienito-ílovitkej zložky takmer nepriepustné. Pri styku s vodou sa ich geotechnické vlastnosti rýchlo a podstatne menili. Preto bolo treba zamedziť prítok vody z kvartérneho štrku (k_f vypočítaný z čerpacích skúšok vo vrtach $2,02 \cdot 10^{-3}$ — $8,15 \cdot 10^{-4}$ m/s) do stavbanej jamy elektrárne a definitívne zá-



Obr. 2. PVE Čierny Váh. Inžinierskogeologický profil. 1 — sivý, tmavosivý, guttensteinský vápenec, anis (začiatok bielovážskej série), 2 — krinoidový, rohovcový vápenec, jura, 3 — vápenec, dolomitový vápenec, ladin, 4 — dolomit (Hauptdolomit) — stredný trias, 5 — dolomitové brekcie, polymiktné brekcie, 6 — slienité bridlice, porušený slienitý vápenec, kampil, 7 — pieskovec, bridlice, konglomeráty, 8 — efuzívne melafýry, 9 — hlavná poruchová zóna, 10 — podzemné privádzače, 11 — násunová tektonika, 12 — zlomová tektonika

Fig. 2. The Čierny Váh pumped storage power plant. Engineering geological profile. 1 — grey, dark-grey Gutenstein limestone, Anisian (lower part of the Biely Váh group), 2 — crinoidal cherty limestone, Jurassic, 3 — limestone, dolomitic limestone, Ladinian, 4 — dolomite (Hauptdolomit), Middle Triassic, 5 — dolomite breccia, polymict breccia, 6 — marly shale, dislocated marly limestone, Campilian, 7 — sandstone, shale, conglomerate, 8 — effusive melaphyre, 9 — main dislocation zone, 10 — underground penstock, 11 — thrust fault, 12 — normal fault

kladové škáry blokov ihneď chrániť proti atmosférickým vplyvom. Pred výkopovými prácami sa na základe prieskumu vybudovala podzemná tesniaca bentonito-cementová stena izolujúca vodu kvartéru do hĺbky 8 m, t. j. cca 2 m zapustená do brekcií. Tak sa dosiahol priaznivý celkový prítok do stavebnej jamy, ktorý počas celého hĺbenia nepresiahol 15 l/s. Podzemná voda z niekoľkých vrtov vykázala v priebehu prieskumu zvýšenú síranovú agresivnosť až do 960 mg/l, čo sa muselo brať do ohľadu pri príprave betónovej zmesi. Svahové časti údolia, ktoré je v mieste hrádze asymetrické, sú z dolomitu. Na ľavej strane je svetlosivý dolomit stredného triasu s celistvou až kryptokryštalickou štruktúrou, veľmi silno rozpukaný, s otvorenými trhlinami a polohami dolomito-

vého piesku a múčky. V okrajovej časti sú do dolomitu zavrásnené polohy kampilských vrstiev vo forme porušených zelených a fialových útržkov bridličnato-pieskovcových vrstiev. Celková mocnosť dolomitu sa nezistila, ale presahuje 100 m. Priepustnosť dolomitu je veľmi vysoká, a preto sa na ľavostranné zaviazanie navrhla trojradová injekčná clona. Kontakt medzi ľavostranným dolomitom a údolnými brekciami je tektonický (násunový) a sprevádzaný výraznými mylonitizovanými zónami a vrstvami premiesneného ílu mocného až 3 m. Má generálny smer sklonu na SSZ a pri veľkosti sklonu 30–45° sa ponára do údolia.

Pravú stranu údolia tvorí sivý až tmavosivý dolomit stredného až vrchného triasu čiernovážskej série. Zasahuje v mieste

osi hrádze cca 30 m do aluviálnej časti údolia, kde je od brekciovitých komplexov opäť oddelený tektonickým stykom prebiehajúcim pozdĺž pôvodného koryta Váhu. Styk je ostrý a má sklon 70–80° do údolia. Vysoký stupeň tektonického porušenia dolomitu na obidvoch stranách údolia spôsoboval veľké problémy pri výnose požadovaného percenta jadra pri rozličnej technológii vrtania. Najlepšie výsledky sa dosiahli pri použití tvrdokovových korún s väčším priemerom vrtania (220 mm). Tam, kde nedostatočný výnos jadra znemožňoval dôkladnú geologickú dokumentáciu horninového prostredia, sa použil vrtný periskop, resp. obhliadka vrtu televíznou sondou, čo zároveň umožnilo stanoviť priestorovú orientáciu prvkov mechanických diskontinuit.

Potrebný rozsah vybudovaného tesniaceho prvku dolnej nádrže sa overoval viacerými injekčnými pokusmi v ľavostrannom a pravostrannom dolomite, ako aj v údolných brekciách. Po zhodnotení injekčných skúšok sme v mieste pravostranného zaviazania navrhli urobiť dvojradovú injekčnú clonu do hĺbky 60 m, v ľavostrannom zaviazaní trojradovú clonu do hĺbky 60–70 m a v dĺžke 70 m a v údolnej nive dvojradovú clonu do hĺbky 30 m. Pri budovaní injekčnej clony sa použili viaceré typy zmesí. Bola to cementovo-bentonitová zmes s 30 % -ným podielom cementu, ďalej zmes Cb 40 a Cb 10 so 40 a 10 % -ným podielom bentonitu v injekčnej hmote. V etážach s vysokou stratou vody sa použila cementová zmes (Šmid, 1972). Časť prostredia bola injektovaná chemickou zmesou z vodného skla a hexametafosfátu. Pôvodne navrhnutú formamidovú zmes zamietol hlavný hygienik SSR. Výrazné tektonické línie prebiehajúce v údolí Čierneho Váhu a nízka stabilita pravostranného masívu si vynútili citlivé osadenie výkopu pre elektráreň. Bol situovaný tak, aby celou plochou za-

sahoval iba komplex brekcií (obmedzenie nerovnomerného sadania) a aby bol čo najďalej od päty pravého svahu (úsilie zachovať rovnováhu síl). Na sypané prísypky krídiel hrádze sa použil aluviálny štrk zo zátopného územia, kvalitatívne vhodný zrnitosťou a obsahom výplne do 20 %.

Privádzače

Najväčším problémom pri prieskume bol dolomitový masív, v ktorom mala byť umiestnená podzemná elektráreň a podzemné privádzače.

Morfológia svahu je v tangovanom mieste natoľko pestrá a členitá, že alternatíva povrchového vedenia privádzačov neprichádzala vôbec do úvahy. Navyše to bola práve morfológia svahu, ktorá od samého začiatku viedla k pochybnostiam o stabilite masívu, a tým aj realizovateľnosti celého diela. Územie je súčasťou TANAPu a pre pozemný pohyb mechanizmov je s ohľadom na morfológiu nedostupné. Preto sa v prvej etape prieskumu pre podzemnú elektráreň a privádzače navrhla a cca 7 m nad päťou svahu vyrazila 200 m dlhá prieskumná štôlna, ktorú ešte doplnili podzemné horizontálne a vertikálne vrty, ako aj rad geotechnických skúšok hornín in situ.

V úvodnej časti štôlny sa až do hĺbky 50 m (ojedinele aj do 120 m) od ústia štôlne vyskytovali úplné mechanické diskontinuity vo forme väčšinou zovretých nevyplnených puklín približne paralelných so svahom, ale s väčším sklonom. Prítomnosť diskontinuit zväčšovala obavy o trvanie krípkového pohybu časti masívu. V ďalšej časti prieskumnej štôlny horninový masív prestupovalo päť súborov mechanických diskontinuit rozličnej kvalitatívnej povahy, ale samonosnosť klenby výrubu, ako aj výsledky skúšok mechaniky

hornín in situ naznačovali, že kvalita horniny v úrovni štólne realizovateľnosť podzemnej elektrárne nevylučuje. Vertikálny vrt v mieste projektovanej kaverny elektrárne vrtaný v podzemí zistil v hĺbke 51 m výraznú tektonickú poruchu, t. j. prítomnosť nevhodnej základovej pôdy v podzákladi. To si vyžiadalo ďalší prieskum, orientovaný hlbšie do masívu. Jeho súčasťou bolo predĺženie štólne do 522 m, vyrazenie kolmých rozrážok po 150 m do tvaru T, vyhlásenie 2 jadrových vrtov z priestoru hornej nádrže a svahu až po úroveň prieskumnej štólne (hĺbka 705 a 420 m), vyrazenie ďalšej štólne v hornej štvrtine svahu (pomocou lanovky) a rad iných menej náročných prieskumných diel, ako aj skúšok a meraní, napr. zafazovacie a šmykové skúšky hornín metódou plochých lisov, radiálnych lisov, meranie napätosti horninového masívu, seizmické a mikroseizmické skúšky, skúšky fotoelasticimetrické, modelové riešenie napätosti masívu a i.

Výsledkom podrobného prieskumu bolo okrem iného zistenie, že dolomitový masív skrýva predpokladaný znehodnocujúci prvok, a to výraznú poruchovú zónu (obr. 2). Jej pravá mocnosť na úrovni štólne je 20, nepravá cca 40 m. Smerom k hornej nádrži sa jej mocnosť výrazne redukuje až na 1 m. K priestorovej orientácii zrejme z obr. 2 treba dodať, že zistená priebežnosť poruchy je niekoľko 100 m. O nezvyčajnej priebežnosti svedčilo aj to, že pod poruchou bolo vo všetkých výruboch suché horninové prostredie, lebo poruchová zóna vytvorila infiltrovanej vode dokonalú bariéru. Pritom horninové prostredie nad poruchou má vysokú puklinovú priepustnosť. Generálna hodnota smeru sklonu je 140° , t. j. na JV, s osou údolia Čierneho Váhu zvierá uhol 35° a veľkosť sklonu je $35\text{--}40^\circ$. Prieskumná štôlna križuje strop poruchy v staníceni 278 m. Kontakt dolomitu s porucho-

vou zónou je výrazne ostrý. Dolomit sa končí takmer ideálne rovným a stovky m^2 priebežným tektonickým zrkadlom. Vlastná porucha sa začína žltohnedým tektonickým ílom mäkkej konzistencie s prímiesou piesku a úlomkov do 2 cm. Mocnosť vrstvy ílu je 10–30 cm, lokálne až 50 cm. Mineralogicky je íl z minerálov skupiny illitu (40–60 %), z karbonátov a ojedinelého výskytu iných minerálov. Vrstva prechádza plynule do hrdzavohnedého slieňa s prechodom do slieňovca. Prevažnú časť celej poruchovej zóny tvorí sivý až zelenkastý slieňovec a slienitá bridlica. Obsahujú plávajúce úlomky až balvany dolomitu. Slieňovec má povahu stredne až dobre spevnenej poloskalnej horniny. Vzorky boli podrobené aj skúmaniu pod elektrónovým mikroskopom. Elektronogramy ukazujú, že hornina bola vystavená vysokému tlaku, prekonalá značný posun a bola dokonale premiešaná (Kazda, 1973). Z hľadiska genézy predpokladáme sedimentárny pôvod slieňovcovej vrstvy, ktorá ako menej kompetentný prvok v dolomitovom súvrství bola pri ďalších tektonických pohyboch intenzívne využitá a ovplyvnená.

Ešte predtým ako prieskumná štôlna prešla poruchovou zónou, bolo treba z hľadiska termínov projektovanej prípravy rozhodnúť o realizovateľnosti podzemnej alternatívy elektrárne.

Priestorové rozloženie poruchy a sprešádajúce porušenie okolitého masívu neumožňovali v tom čase výber vhodného a dostatočne veľkého miesta na situovanie podzemnej elektrárne. Preto sme odporučili povrchovú alternatívu elektrárne, a to čo najviac vzdialenú od pravého svahu.

Poruchová zóna v masíve podporila nevyhnutnosť zaoberať sa v rámci prieskumu stabilitou pravostranného masívu. Najmä stropná časť poruchy svojou priebežnosťou, rovinným priebehom a prítomnosťou mäkkého ílu bola teoreticky ideál-

ným predpokladom vzniku šmykovej plochy. Pripadné relatívne pohyby na tejto ploche sa overovali osadením a meraním bodov pomocou presnej hydrostatickej nivelácie, geoakustickou metódou a osadením terčového meradla TM-71 (systém interferenčných mriežok — moiré). Celková stabilita masívu sa navyše zisťovala matematickou metódou konečných prvkov (Mencl, 1974) a fyzikálnym modelom zohľadňujúcim odľahčenie päty svahu výkopom pre elektrárňu. Pri nijakej z týchto metód sa nepreukázal pohyb masívu ani jeho časti, a preto sme výstavbu PVE Čierny Váh odporučili. Na situovanie privádzačov sme navrhli zvoliť iný priestor, ako ho navrhol projekt, a to tak, aby lomové body medzi horizontálnymi a šikmými úsekmi privádzačov boli za poruchovou zónou, kde bol horninový masív suchý a podstatne menej tektonicky porušený. Návrh generálny projektant prijal. Pri razení šikmých úsekov privádzačov so sklonom 45° bola možnosť v praxi overiť, že pri profile šikmej predrážky 2,2 m sa rozpojené sypané horniny a zeminy vonkoncom nesprávajú ako voľná sypanina, najmä ak je k nim primiešaná súdržná zemina ako v našom prípade. Rozpojený dolomit sa v mieste križovania predrážky s poruchou premiešal s rozmočeným ílom a vytváral v predrážkach celoprofilové upchávkové dlhé niekoľko desiatok metrov, ktoré spôsobovali dodávateľovi stavby nesmierne ťažkosti.

Záver

Výber vhodného miesta pre PVE predpokladá veľký výškový rozdiel medzi hornou a dolnou nádržou na pomerne krátku horizontálnu vzdialenosť, t. j. akýsi morfológický skok.

Z geologického hľadiska však takýto skok vždy znamená istú anomáliu a tej

treba od počiatku prieskumu venovať náležitú pozornosť.

Geologická stavba v takomto území je spravidla veľmi komplikovaná a jej riešenie malým rozsahom prieskumných diel alebo použitím sólových metód by mohlo viesť k nesprávnym záverom. Pri projektovanej podzemnej elektrárni pokladáme za nevyhnutné raziť prieskumnú štôľňu do uvažovaného miesta už v etape rozhodovania o realizovateľnosti stavby. Vlastné miesto elektrárne treba dostatočne priestorovo obvrátať. Ak je v skúmanom území predpoklad výskytu krasového fenoménu, nemala by sa podceňovať náležitá hĺbka a hustota prieskumných diel, ako aj plánovanie geofyzikálnych meraní do geologického dozoru a harmonogramu výstavby, a to najmä tam, kde ide o základové škáry náročných objektov zakladaných hlboko pod pôvodným terénom.

Pri riešení zložitej problematiky spätéj s prieskumom pre PVE Čierny Váh pomáhali IGHP najmä pri špeciálnych prácach viaceré inštitúcie, napr. VÚT Brno, GP Ostrava, Geotest Ostrava, Stavební geologie Praha, PFUK Bratislava, Výskumný ústav hornický Ostrava-Radvanice, Geofyzika Brno, Uránové doly Sp. N. Ves, ČSAV Praha, GP Sp. N. Ves. Im, ako aj ďalším patrí vďaka za vynaložené úsilie a odborný prínos.

Recenzoval M. Ingr

LITERATÚRA

- Biely, A. 1959: Geologické pomery medzi Bielym a Č. Váhom. *Manuskript — Geofond Bratislava*.
 Biely, A. 1960: Chočský príkrov na severných svahoch Nízkyh Tatier. *Geol. práce, Správy (Bratislava)*, 20.
 Každa, J. 1973: Komplexní průzkum mineralogického složení a mikrostruktury vzorků z lokality Černý Váh. *Manuskript — Geofond IGHP Žilina*.
 Maheř, M. et al.: Regionální geologie ČSSR. Díl II/1. Praha,

- MaheI, M. 1963: Several Tectonic Styles, the Influence of Rock Properties and Orientation of Overtures in Central Carpathian Mesozoic. *Geol. práce, Správy (Bratislava)*, 28.
- Menci, V. — Mejzlík, J. 1974: PVE Čierny Váh — výpočet stability metódou konečných prvkov. *Manuskript — Geofond IGHP Žilina*.
- Nevický, V. et al. 1973: PVE Čierny Váh — záverečná správa z podrobného prieskumu. *Manuskript — Geofond IGHP Žilina*.
- Nevický, V. 1978: PVE Čierny Váh — vyhľadávanie dutín na hornej nádrži, správa z doplnkového prieskumu. *Manuskript — Geofond IGHP Žilina*.
- Pavlarčík, S. — Šavrnach, J. 1979: Jaskyne na vodnej nádrži Čierny Váh. *Slovenský kras*, 17.
- Polášek, S. — Janovič, L. 1965: Prečerpávací vodná elektrárň Čierny Váh, orientačný prieskum. *Manuskript — Geofond IGHP Žilina*.
- Polášek, S. 1968: Inžinierskogeologické podmienky výstavby PVE Čierny Váh. *[Kandidátska dizertačná práca.]*
- Smid, L. 1972: PVE Čierny Váh — injekčný prieskum. *Manuskript — Geofond IGHP Žilina*.
- Vodzinskas, E. V. 1965: Obrazovanie dolomitičskej muki i rozdolomičených porod v dolomitoch Litvy. *Moskva*.

Knowledge from geological investigation and supervision of the pumped storage hydroplant Čierny Váh

VILIAM NEVICKÝ

Pumped storage hydroplant (PSH) Čierny Váh is the largest peak power station in CSSR. It is situated in the northern part of the Low Tatra mountains. The main stage of the engineering — geological investigation had been performed in several steps during the years 1969—1974. The construction took 8 years, from 1974 till 1982. Testing operation was finished in 1983.

The principle objects of this energetical system are as follows: *Upper storage* with peripheral rockfill dam, active capacity of 3,6 millions m³, the height of water level is 26 m. *Underground penstocks* — 3 metal tubes, diameter 3,8 m, the length each of them is about 1300 m, oblique part between two horizontal ones has the angle of 45°. *Lower storage* has the capacity of 3,7 millions m³, the height of water level is 17 m, daily ballance of water level during the peak hours is 11 m. *Power station* is the constituent part of lower storage dam, it has 6 reversible turbines of 665 MW power.

The altitude of upper storage is 1162 m a. s. level, the lower one 722 m. The hydraulic gradient is therefore 430 m, at the horizontal distance of 1,1 km. Quite entire energetical complex is positioned in carbonatic rocks of Mesozoic Era. The first stage of investigation was aimed to recognizing the overall geological and tectonical setting of the touched

area which is very complicated. The tectonical structure was formed during at least 3 orogenic movements of different significance. The whole territory belongs to "choč" tectonic unit considered as an tremendous overthrust mass which was drifted several kilometers from South to North. The "Čierny Váh serie" is one of the tectonical components of the choč unit and PSH system is situated just within it. The Čierny Váh river valley where the lower storage and power station are situated is the structural valley. Significant tectonic fault was found in the dolomitic massif where it crosses the penstocks (see fig. 2). The tectonic fault wasn't favorable for positioning of the underground power station. On the upper storage territory several tectonic dislocations were found. Between the Čierny Váh and Biely Váh series is an overthrust fault. The other faults were found on the contacts limestone-dolomite and on some bedding planes.

The whole area in question is formed by melaphyre, porphyrit, sandstone, arcose, conglomerate. *Lower Trias*: quartzite, schistose-sandstone series of strata, detrital-carbonic series of strata of green and grey color and high percentage of dolomite in the clastic and block form. *Middle Trias*: dolomite, limestone. *Upper Trias*: dolomite, dolomitic-limestone, "lunz-layers". *Jurra*: Fine grained

crinoidea limestone of dark grey color with spongolites. *Lower Creta*: dark grey marly limestone, marlite.

The upper storage area had the suitable morphology for locating it just to this place. The territory is formed by dolomites, dolomitic-limestones and limestones which are greatly tectonically disrupted. During the investigation there was found very high permeability caused by opened cracks, caverns and opened bedding joints. That was the reason why the upper storage was proposed to construct as completely watertight basin. After the rock excavation to the designed level of storage bottom it was found that the rocks comprises more open caverns than stated by investigation. It was necessary to perform additional geophysical measurements aimed for finding all opened spaces below the basin bottom. The microgravimetric, geoelectrical and seismic methods were used. The best results were achieved by the first two of them. The indicated anomalies were verified by drillholes. There were used the drill machines Ingersold with the airlift. The drilling time of one 15 m borehole of diameter 80 mm took about 45–60 minutes. The log of each borehole have been made by geologist during the drilling. Except common logging any down-motions of boring rod were registered. All boreholes were measured cavernometrically, boreholes with caverns were prospected by borehole periscope. All open spaces found were immediately filled by the liquid cement mixture to penetrate even to the most narrow cracks. There were drilled together more than 200 boreholes. 53 caverns were filled with bulk more 2 m³. Some of them with diameter more than 1 m were opened to the storage bottom and were described by direct speleological inspection. The biggest from the caverns needed 650 m³ of mixture for complete fulfilling. The presence of caverns was mostly connected with cross cracks, tectonical lines and contacts of layers. They had in the most cases longitudinal, flat form, they were not the typical carstic caverns. The dripstone decoration was found only in 3 cases.

For construction of the peripheral rockfill dam the rock material presented inside the retention territory was used, i. e. dolomites and limestones.

The area of the lower storage is mostly formed by atypical complex of soils and rocks. It is present within the large faulted

zone inhering quite the whole width of the valley. The complex is formed by monomict dolomitic breccia and polymict breccia. Its components are: marl, shale, sandstone, dolomite and quartz. These components are irregularly distributed and the mass is without any geometrical regularities. Complex as a unit is from geotechnical point of view like a very well cemented soil. Rock substance is present like clastics and blocks irregularly scattered in the basic mass. The complex is practically impermeable. Its water bearing capacity is minimal. In the contact with water this material significantly changes its geotechnical characteristics. Its consistency is converting into slurry. Inflow to the excavation for power station had to be minimalized. Separation of the Quaternary waters (from gravels) was achieved by constructing underground watertight wall inserted 2 m into the "bedrock". After this the total inflow into the excavation wasn't bigger than 15 liters per second. The underground water had the high sulphate mineralisation and was aggressive. It was necessary to use cement with enough resistivity against this factor. Engineering-geological investigation for the foundation of power station and lower dam was performed by core drillings and 2 big shafts with diameter of 3 m and the depth 50 m. In the shafts plate bearing tests and other survey were made. Several geotechnical parameters are listed in the fig. 2. The foundation soil under the power station and embankments of the dam is provided by two or three row grouted cut-off walls to the depth 30 m (in the valley) and 60–70 m (on the banks). There were used mixtures cement-bentonite as well as the chemical ones.

The most serious problem during the investigation was the stability of the rock massif in which had to be situated underground power station and the penstocks. Morphology of right bank of the valley is so dissected that surface positioning of the penstocks was impossible. The very complicated morphology evoked besides doubtfulness on the stability of the slope. The investigation was performed especially by two exploratory drifts and several boreholes (see fig. 2). The whole massif is formed by dolomites of different modifications and by the material of the dislocation zone. Besides the "main" dislocation zone (n. 9 in the fig. 2) rock massif contains several systems of mechanical

discontinuities that significantly influenced its quality. The main dislocation zone has the thickness up to 20 m. Its material is mostly the soil in the cemented form. The continuance of this zone is several hundred meters, its contact with dolomite is sharp, planar. It is a large fault polish. This zone is crossing the massif just in the place where the underground power station was planned. Finally the surface positioning of the power station was choosen. The mechanical discontinuities can be considered as a result of several repeted movements that took place in the past. Becouse the after effect of movement was possible we paid increased attention to observation of movement and stability calculations. In two biggest discontinuities were established devices measuring all movements with accuracy 0,1 mm. On the fixed points

were measured movements by exact hydrostatic levelling. Acoustical performance of the creeping massif was observed by geoacoustical method. Slope stability was calculated by finite elements method. Stability was also solved by the physical modelling of the slope.

Performed measurements, calculations and modelling have proved that the slope can be considered at present as in the state of stable equilibrium form. That's why we recommended the project for construction.

For the construction of PSH Čierny Váh was performed the most expensive and complex investigation ever made by our organisation. There were used all kinds of exploratory works and a large scale of special works and measurements.

ZO ŽIVOTA SPOLOČNOSTI

I. sedimentologické kolokvium usporiadané v rámci odbornej skupiny sedimentológie pri SGS 2.—4. októbra 1984 v Bratislave

Sedimentárne panvy nemožno bez sedimentológie komplexne analyzovať. Pred jej rozvojom sedimenty opísovala sedimentárna petrografia a stratigrafia. Sedimenty sa skúmali staticky, teda bez prihliadnutia na dynamiku prostredia. Súčasná sedimentológia poskytuje o fyzikálnom, biologickom a chemickom prostredí sedimentácie a jeho zmenách oveľa dynamickejší obraz. Koncepcia mnohostrannej analýzy sedimentárnych panví založená na sekvenčnej, paleoprúdovej analýze a petrológii výplne núti výskumníkov vracať sa do terénu a pestovať sedimentológiu ako významnú multidisciplínu geologických vied. Štúdium flyšu, molás, olistostrómov a ofiolitových pásov poukazuje na zóny maximálneho skrátenia, deformácie a nahromadenia zemskej kôry na mieste možných prejavov subdukcie. Aj platňová tektonika obnovila záujem o štúdium bazénov a zmenila spôsob myslenia a nazerania na geosynklinály, ale poukázala najmä na nevyhnutnosť novej klasifikácie bazénov. Tá by sa mala zakladať predovšetkým na tvare, usporiadaní sedimentárnej výplne, na zmenách facií a látkového zloženia, na paleoprúdovom výskume, na podiele vulkanických sérií, na pozícii vzhľadom na ak-

tívne alebo pasívne okraje zbiehavých platní, na pozícii voči vulkanickým ostrovným oblúkom, ako aj na vzťahu k súčasným geofyzikálnym poliam. Klasifikácia ukáže, koľko je základných typov bazénov a uľahčí vytváranie modelov. Správny výber modelu umožní odhad zakrytých tektonicky amputovaných a chýbajúcich častí bazénov a stanoví vedeckú prognózu ich surovinového potenciálu. Poznanie základných parametrov ich geodynamického vývoja bude nepostrádateľné pri objavovaní a využívaní zdrojov ropy, zemného plynu, uhlia, vody, soli, Mn, Fe, Al ložísk, stavebných, cementárenských, keramických aj strategických surovín. 90 % zdrojov týchto surovín obsahujú sedimenty.

I. sedimentologické kolokvium v seminárovej časti (2. 10.) sledovalo tému Sedimentárne prostredia karpatskej geosynklinály. V prednáškach sa preberali karbonátové formácie Západných Karpát z hľadiska silicifikácie (M. Mišík, PF UK), delťové formácie, ich stavba a podiel na vzniku a zachovaní plynových ložísk v neogéne Západných Karpát (R. Jiríček, Nafta), turbiditové formácie kriedy a paleogénu bradlového pásma a priľahlých oblastí a kolízny model Západných Kar-