

Dutiny pod dnom hornej nádrže prečerpávacej vodnej elektrárne Čierny Váh

VILIAM NEVICKÝ

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

(1 obr. a 4 foto v texte)
Doručené 12. 3. 1980

Пустоты на дне верхней плотины Чёрный Ваг

ПВЕ Чёрный Ваг принадлежит к редким постройкам в Чехословакии. Её верхний бассейн содержащий 3,6 миллиона м³ воды находится на доломитах и известняках содержащих много выщелоченных пустот. В течении геологоразведочных работ пустоты были обнаружены но не очень чётко определены. После очистки пород на дне водохранилища, еще перед запуском воды, эти пустоты разведовались более детально. Пробурилось почти 500 буровых скважин глубиной до 15 м. Было обнаружено и ликвидировано всего 53 пустоты с объёмами над 2 м³.

Cavities under the Čierny Váh pumped-storage power plant upper reservoir

The Čierny Váh pumped-storage power plant belongs, from several viewpoints, to unique hydro-electric power plants in Czechoslovakia. Its upper reservoir of 3.6 million cubic metres capacity is founded in karstified dolomite and limestone. The engineering-geological survey preceeding the construction ascertained karst phenomena but not of particular intensity in the reservoir site. After the remove of the rock mass for the projected reservoir, cavities attaining several tens of cubic metres were found to occur at the reservoir bottom. Contemporaneously with ongoing construction, a complementary survey aimed at identification and maintenance of cavities. The survey used geophysical measurements and coreless drilling. Almost 500 drill-holes have been realized to average 15 m depth. A total amount of 53 cavities with volume over 2 m³ ascertained and subsequently maintained.

Neveľká náhorná plošina pri kóte
Turková (1172 m n. m.) na rozvod-

nici povodia Bieleho Váhu a Čier-
neho Váhu na severných svahoch

Nízkych Tatier je morfológicky vhodným miestom na vybudovanie hornej nádrže PVE Čierny Váh.

Nadmorská výška územia náhornej plošiny bola pred započatím stavebných prác 1130—1162 m n. m. a jej priemerný generálny sklon na S bol okolo 6°. Projektovaná a skutočná kóta dna nádrže je 1131 m n. m. Inžinierskogeologický prieskum prebiehajúci v niekoľkých etapách sa realizoval z povrchu terénu 29 m nad dnom budovanej nádrže. To čiastočne sťažilo najmä geofyzikálne merania uskutočnené pred etapou podrobného prieskumu. Ovplyvnilo to aj možnosť priamo dokumentovať geologické prostredie pomocou šachtíc, z ktorých len malá časť dosiahla úroveň projektového dna. Vychádzalo sa totiž zo všeobecne prijatej zásady, že sa smerom do hĺbky charakter horninového prostredia zlepšuje. Ale v danom prípade sa tento predpoklad, ako uvádzame ďalej, ukázal ako nesprávny.

Výsledky inžinierskogeologického prieskumu

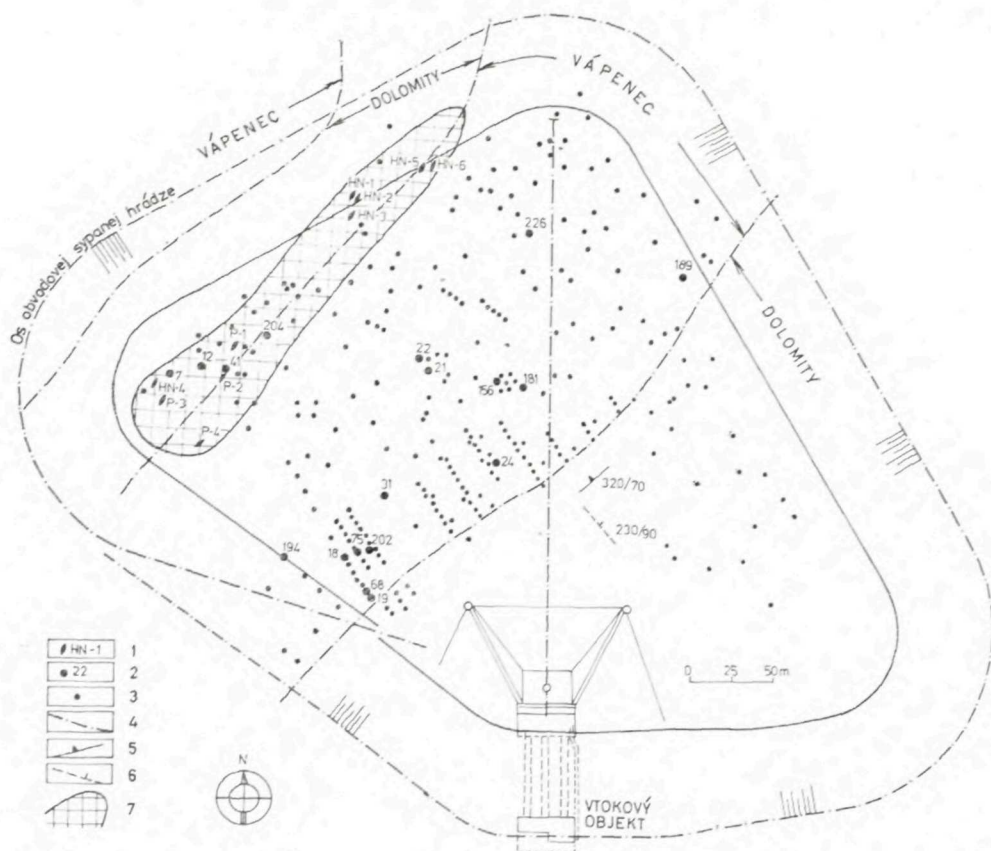
Územie hornej nádrže budujú kvartérne sedimenty priemerne do 3 m, ojedinele do 15 m, a z hľadiska opisovanej problematiky nemajú väčší význam. Pod kvartérom je vrchnotriasový dolomit a vápence liasu. Dolomit pokrýva 40 % plochy nádrže a pri prieskume sa charakterizoval ako navetraný, silne porušený, veľmi rozpukaný až po-

drvený, krehký, silne rekryštalizovaný, s brekciovitou štruktúrou a s malými stopami skrasovatenia. Vápence, ktorých styk s dolomitom je tektonický a budujú ostatných 60 % podzákladia hrádze (obr. 1), sú horninovým prostredím s najväčším množstvom zistených krasových javov. Prieskum hodnotil vápenec ako navetraný, pevný, jemnokryštalický až hrubokryštalický, tenkolavicovitý až hrubolavicovitý, silne tektonicky porušený, s puklinami, trhlinami a medzivrstvovými špármi vyplnenými zátekmi kvartérnej ílovej hliny a úlomkov do hĺbky niekoľko desiatok m (foto 1).

Pri nalievacích skúškach sa vo vrtoch najmä v hlbších etážach zistila vysoká priepustnosť prostredia a interpretovala sa ako otvorené tektonické trhliny a dutiny, príp. kaverny. To si vyžiadalo doplnkový



Foto 1. Stupeň porušenia vápencov vo východnej stene hornej nádrže
Photo 1. Grade of limestone disruption in the east wall



Obr. 1. PVE Čierny Váh — horná nádrž. Vysvetlivky: 1 — dutiny zistené stavebnými prácami, 2 — dutiny zistené overovacími vrtmi, 3 — podstatná časť overovacích vrtov, 4 — rozhrania horninových typov, 5 — priemerná vrstvitosť v severozápadnej polovici územia, 6 — priemerné plochy puklín, 7 — priestor maximálneho výskytu dutín (vyplnené a nevyplnených)

Fig. 1. PVE Čierny Váh — upper basin. Explanations: 1 — cavities ascertained by building works, 2 — cavities ascertained by exploratory boreholes, 3 — essential parts of exploratory boreholes, 4 — boundary of rock types, 5 — average stratification in NW half of the area, 6 — average planes of joints, 7 — space of maximum occurrence of cavities

prieskum na detailné overenie príčin vysokej priepustnosti podložia a rozsahu signalizovaných krasových javov.

Doplňkový prieskum krasových foriem bolo treba vykonať počas stavebných prác, a to po vylámaní

hornín po projektované dno nádrže. Aby sa nenarušilo plnenie harmogramu výstavby PVE Čierny Váh, museli sa použiť metódy prieskumu identifikujúce tektonické poruchy, dutiny, resp. kaverny čo najrýchlejšie.

Výskyt krasových foriem v takom rozsahu bol aj napriek náznakom a zisteniam pri predchádzajúcich prieskumných prácach istým prekvapením.

Dutiny a ich vplyv na výstavbu nádrže

Pri výkopových prácach na úrovni projektového dna nádrže (1131 m n. m.) sa v apríli 1977 pod násypom hrádze zistili podzemné dutiny HN-1 a HN-2 (foto 2 a 3). Dutiny boli široké okolo 1 m a hlboké viac ako 7 m.

Pri prerokúvaní návrhov na riešenie sa odporučila tamponáž dutín riedkou cementovou zmesou. Na vyplnenie dutiny HN-1 sa spotrebovalo 22,2 m³ a HN-2 8,0 m³ zmesi. Pri stavebných prácach v júni 1977 sa pod kontrolnou drenážnou chodbou zistila HN-3 s kruhovým prierezom $\varnothing$ 3 m a hĺbkou 30 m. Bola priamo dostupná a speleologicky ju zdokumentovali pracovníci Správy slovenských jaskýň. Odstránila sa obdobným spôsobom ako predchádzajúce, pričom spotreba cementovej zmesi bola 150 m³.

Po zistení dutiny HN-3 (foto 4) bolo prijaté rozhodnutie urýchlene vykonať doplňujúci prieskum celého priestoru hornej nádrže. Jeho cieľom bolo overiť lokalizáciu ďalších podzemných priestorov, zistiť ich objem a odstrániť ich. Riziko havárie pri prípadnom ponechaní podzemných dutín pod dnom nádrže by bolo reálne.

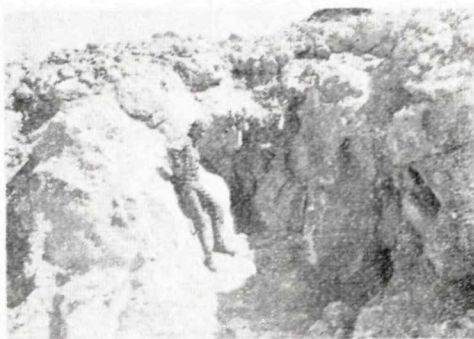


Foto 2. Dutina HN-1 — vstup
Photo 2. Cavity HN-1 — entrance

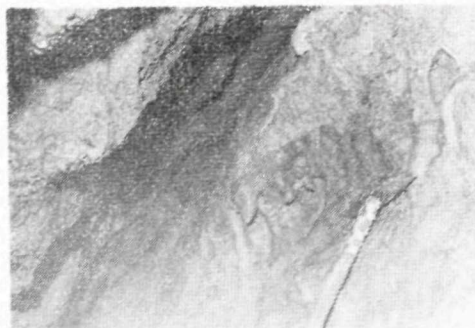


Foto 3. Dutina HN-2
Photo 3. Cavity HN-2



Foto 4. Dutina HN-3
Photo 4. Cavity HN-3

Horná nádrž má asfaltovo-betónové tesnenie dna i svahov, aby sa zabránilo akémukoľvek úniku vody z nádrže. Možné presakovanie by znamenalo nielen ekonomickú stratu (pre nevyužitie prečerpanej vody), ale mohlo by vzhľadom na geologický charakter podzákladia a materiálu násypov vyvolať aj veľký sufózný účinok, a tak viesť ku vzniku porúch a k narušeniu stability násypových či prirodzených svahov.

Voda v nádrži bude značiť veľké statické zafaženie dna (výška hladiny 26 m) a bude mať veľmi nepriaznivé dynamické účinky — kolísanie hladiny $2 \times$ denne o 25 m. Je zrejmé, že podzemné dutiny pod dnom nádrže by pôsobením statického či dynamického zafaženia mohli porušiť asfaltovo-betónové tesnenie, ako aj ďalšie konštrukčné vrstvy. To by viedlo k strate vody z nádrže a prípadne ďalším negatívnym prejavom, a to napriek tomu, že pod celým dnom nádrže je vybudovaný kontrolný drenážny systém.

Bolo nevyhnutné zvoliť metodiku zaručujúcu čo najväčší úspech pri vyhľadávaní dutín, pretože aj jediná nezistená dutina „väčších“ rozmerov by mohla spôsobiť veľké škody.

Metodika prieskumu a docielené výsledky

Pri návrhu metodiky prieskumných prác sa vzali do úvahy tieto aspekty: cieľ, ktorý bolo treba spl-

niť; geologická stavba a s ňou súvisiaca priestorová orientácia dutín; technické možnosti prieskumných metód za daného stavu poznania a prírodných podmienok; časový faktor ohrozený harmonogramom výstavby nádrže; priestorový rozsah skúmaného územia.

Podľa tvaru, rozmerov, priestorového priebehu a sprievodných znakov je väčšina dutín tektonického pôvodu a v niektorých prípadoch sa uplatnilo aj následné skrasovanie.

Vo vzdialenosti okolo 150—200 m od dutín HN-1 až HN-3 (obr. 1) prebieha násunová tektonická línia medzi bielovážskou a čiernovážskou sériou chočského príkrovu. Je pravdepodobné, že sily, ktoré viedli k jej vzniku, súčasne spôsobili relatívne pohyby nielen na kontaktoch medzi súvrstviami vápencov a dolomitov priľahlej oblasti, ale aj v rámci jednotlivých súvrstiev po vrstvových polohách, najmä vo vápencoch.

Pri výlomových prácach bolo možno sledovať intenzívne porušenie strmo uložených vrstiev vápencov. Prejavovalo sa najmä veľkým oddialením vrstvových kontaktov, pričom sa tieto priestory spravidla vyplnili kvartérnym materiálom zavlčeným z povrchu (foto 1). Intenzita porušenia a druhotného vyplnenia materiálom bola taká veľká, že okolo 30 % faženého materiálu predstavovala kvartérna výplň trhlín, dutín a porúch.

Pozoruhodné je zistenie, že tektonické trhliny a dutiny boli vy-

plnené približne do úrovne zodpovedajúcej kóte projektovaného dna nádrže, ale vo svojej hlbšej časti zostali prázdne (foto 2). Väčšina dutín či skôr trhlín malého rozmeru (niekoľko cm až dm) mala pretiahnutý tvar, pričom priebeh dutín koincidoval s priebehom vrstvovitosti a mal sklon $70-90^\circ$ (foto 3).

Najväčším rozmerom dutín bola ich hĺbka. Dutiny tohto typu väčšinou nemali stopy krasových foriem, resp. išlo len o minimálne stopy. V miestach križovania vrstvovitosti zhodnej s najvýraznejším tektonickým smerom $320/70^\circ$, daným násunovou líniou s výraznejšie vyvinutými prvkami puklinového systému $230/90^\circ$ kolmého na vrstvovitost, ojedinele vznikli rozmernejšie dutiny. Medzi dutiny tohto typu patrila najmä HN-3 a neskôr zistená HN-5, 6, 7 (foto 3). Mali približne kruhový, resp. oválny prierez, priemer 1 až 3 m a boli aj priestorovo najväčšie. Viazali sa na vápence v pásme susediacom so súvrstvím dolomitov až dolomitických vápencov, ktoré boli intenzívne porušené a s abnormálne vysokým stupňom rekryštalizácie.

Pre nepriaznivý vplyv vedľajších účinkov, orientáciu a relatívne malé rozmery väčšiny dutín bola voľba optimálnej metodiky prieskumu na PVE Čierny Váh náročným problémom. Pre veľkosť plochy (dno má 96 tisíc m^2), časový faktor, ako aj zlé skúsenosti s výnosom jadra nebolo možno použiť jadrové vrty a banské práce. Preto sa použili geo-

fyzikálne metódy v kombinácii s overovaním zistených anomálií pomocou bezjadrových vrto.

S ohľadom na potreby a možnosti stavby (časový harmonogram výstavby a len čiastočnú pripravenosť dna) sa prieskumné práce rozčlenili do niekoľkých etáp. V prvej sa použila geofyzika metódami mikrogravimetrie, seizmiky a geoelektriky.

Geoelektrická metóda spočívala v kombinácii symetrického odporového profilovania v troch rozličných rozstupoch, s krokom merania 5–10 m a s vertikálnou elektrickou sondážou. Merania vykonali pracovníci Uránového prieskumu, závod Spišská Nová Ves. Mikrogravimetrický prieskum sa urobil meraním bodov v pravidelnej sieti s rozstupom 3 m, v dolomitoch, v ktorých bol minimálny predpokladaný aj skutočný počet dutín, s rozstupom 5 m.

Seizmické merania sa vykonali refrakčnou metódou v profiloch vzdialených 24 m, dĺžka profilov bola 22,5 m, rozmiestnenie geofónov vo vzdialenosti 7,5 m.

Vzhľadom na priestorovú orientáciu a veľkosť dutín sme na overenie použili zvislé vrty do hĺbky 15 m. Rozmiestnenie prvej série overovacích vrto (zisťujúcich význam nameraných geofyzikálnych anomálií) záviselo od tvaru, rozsahu a významu zistených anomálií. Plošné anomálie väčšieho predpokladaného významu sa overovali pomocou štvorcovej siete vrto s rozstupom

5 m, profilmi orientovanými kolmo a paralelne na vrstovitost. Výrazné bodové anomálie sa overovali samostatnými vrtmi. Len čo sa vrtaním a zvýšenou spotrebou cementovej zmesi preukázala niektorá z anomálií ako pozitívna, v okolí sondy sa vyhýbali zahusťovacie vrty, spravidla do križa s rozstupom 1 m. Vrty mali priemer 80 mm. Hĺbenie 1 vrtu trvalo okolo 40—60 minút. Vrtanie sa priebežne hodnotilo vizuálne, podľa farby vzduchom vynášaného prachu a drviny sa určoval typ prevrtávanej horniny. Podrobne sa registroval postup vrtného náradia, jeho pokles a hĺbka. V prvej etape sa vo všetkých vrtoch použil kavnometer a vo vrtoch so zistenými dutinami vrtný periskop BP-34.

Účelom meraní bolo spresniť hĺbku a objem dutín. Všetky vrty sa hneď likvidovali tamponážou cementovou zmesou pomocou injekčného zariadenia Putzmeister — Pioneer cez trubičky osadené v stropoch dutín, a to až po ústie vrtných dier. Spotreba zmesi bola v konečnej fáze najspoľahlivejším indikátorom skutočného objemu prázdnych podzemných priestorov. Sanácia zistených dutín teda bezprostredne nadväzovala na okamžité čiastkové výsledky prieskumných prác, spätne poskytovala informácie o potrebe zhusťovať overovacie a sanačné vrty v miestach zvýšenej potreby.

V druhej etape, ktorá pokračovala po zime 1978/79 a skončila v júni 1979 (a tým sa skončil aj

celý prieskum), sa rozsah prieskumu zredukoval. Z geofyzikálnych metód sa využívali už len geoelektrické merania. Nimi sa dosiahli relatívne spoľahlivejšie výsledky ako seizmickou metódou, a preto sme seizmickú metódu v druhej etape nepoužili. Rovnako sme upustili od hodnotenia vrtovej pomocou kavnometrie a periskopu, ktorých výsledky neboli úmerné finančnému nákladu a navyše zdržiavali postup prác.

Na svahoch nádrže, ktoré tvoria podložie obvodovej sypanej hrádze, sa použila len geoelektrická metóda, lebo riešitelia gravimetrických meraní v tejto časti nezaručovali dostatočne presné a interpretovateľné výsledky.

Na celom skúmanom území hornej nádrže sa zistilo dovedna 53 dutín s objemom nad 2 m³. Z nich bolo 11 otvorených po úroveň dna, resp. svahov nádrže, 42 bolo overených vrtmi. Najväčšie objemy mali dutiny: HN-4 (650 m³), HN-5 (280 m³), VO-18 (159 m³), HN-3 (150 m³), VO-194 (76,6 m³), VO-12 (54 m³), VI/3 (51 m³), VO-21 (48 m³) (obr. 1).

Od objemu 20 do 40 m³ bolo 5 dutín, od 10 do 20 m³ 6 dutín. Ostatné mali menší objem ako 10 m³. Napriek objemu väčších dutín je skutočnosť relatívne priaznivejšia, pretože ide o úzke a strmo uložené dutiny s veľkým hĺbkovým a dĺžkovým dosahom.

Recenzoval M. Ingr

Cavities under Čierny Váh pumped-storage power plant upper reservoir

VILIAM NEVICKÝ

The Čierny Váh pumped-storage power plant represents a masterpiece of power-system construction of exceptional importance with a rated output of 660 MW. It is constructed in Mesozoic rocks with very complicated geological structure.

The paper appraises foundation problems which occurred at the upper reservoir. This artificial "vat" originated by break out of the rock mass to a bottom levelled at 1,131 m a. s. l., what represents a remove of 30 m thick rock pile beneath the original upland plateau surface. The total volume of the reservoir is 3.6 mil. cubic metres. The rock mass is represented by dolomite, limestone and dolomitic limestone, all strongly tectonized, of Middle Triassic to Jurassic age. Foregoing engineering geological survey stated karstification of lesser extent and resulted in originally proposed and designed bituminous concrete sealing of the reservoir bottom and slopes. After the break out of the projected reservoir bottom, several caverns of some cubic metres volume were found to occur there. Due to the possibility of crash of the reservoir construction which may have led to putting out of operation the whole power-plant, a complementary engineering-geological survey aimed at discovery and maintenance of all cavities below the reservoir bottom was necessary. The survey has been realized under continuing construction and it applied geophysical methods and coreless drilling. Geoelectrical, microgra-

vimetric and seismic methods were used. The best results were obtained by the first two methods. Ascertained geophysical anomalies were checked by vertical coreless drilling to 15 m depth using 80 mm diameter drilling device. Drill-holes were bored by rotary-percussion drilling with air-flush using Houser and Ingersoll drilling rigs. The time necessary for one drill hole was 50 min. The drilling rate has been evaluated continuously together with the rock material carried out by air-flush. Drill-holes were checked by cavernometer and partly controlled by a BP-34 drill-hole periscope. The larger caves have been partly documented by direct speleological observation. The investigation resulted in that cavities do not represent primary karst caves but they are of tectonic origin.

All ascertained cavities and realized drill-holes were filled by thin concrete mud transported by a Putzmeister-Pioneer injection equipment into the cavities. A total amount of 53 cavities having volumes above 2 cubic metres has been found. The biggest cavity needed 650 m³ concrete mixture. Over 300 identification drill-holes were realized and completed further by another 200 maintaining drillings. These all contributed to the beneficence of the rock mass for the reservoir foundation and operation.

Preložil I. Varga