

Prof. Ing. Jozef Hulla, DrSc.

Katedra geotechniky SvF STU, Radlinského 11, 81368 Bratislava, Tel. 00421259274666, hulla@svf.stuba.sk

RNDr. Gustáv Mosendz

Keller špeciálne zakladanie, spol. s r.o., Martinská 49, 82105 Bratislava, Tel.: 00421243411014, G.Mosendz@keller-slovakia.sk

Ing. Ján Hummel

Vodohospodárska výstavba, Závod TBD, Nobelova 7, 883102 Bratislava, Tel.: 00421244453500, hummel@tbd.sk

KONTROLNÉ A INJEKČNÉ PRÁCE V MIMORIADNYCH PODMIENKACH

CONTROL AND GROUTING WORKS IN EXTRAORDINARY CONDITIONS. As consequence of failures in sealing elements of dilatation joints in great navigation locks, flowing water eroded gravel subsoil and their surroundings. Additional sealing procedures of joints with polyurethane resins must be made in several stages. At the control the groundwater level measurements, settlements and penetration test used were. For strengthening of weak positions under foundation plate grouting with cement suspension executed were. Penetration tests and grouting works perform were at the extraordinary conditions, at the water pressure difference of 150 kPa.

1. Úvod

O problémoch existencie netesností v dilatačných škárach plavebných komôr v Gabčíkove a ich riešení boli na Ostravských seminároch prezentované viaceré príspevky.

Komplikovaná lokalizácia netesných polôh a prvé informácie o dotiesňovaní škár polyuretánovými živcami Bevedan – Bevedol WT potápačmi boli predmetom príspevku Hullu a Hummela v roku 2000. Účinnosť dotiesňovacích prác sa posudzovala na základe zmien hladinového a rýchlostného režimu prúdenia podzemnej vody v okolí komôr. Získané poznatky poukázali na potrebu vykonávania dotiesňovacích prác vo viacerých etapách.

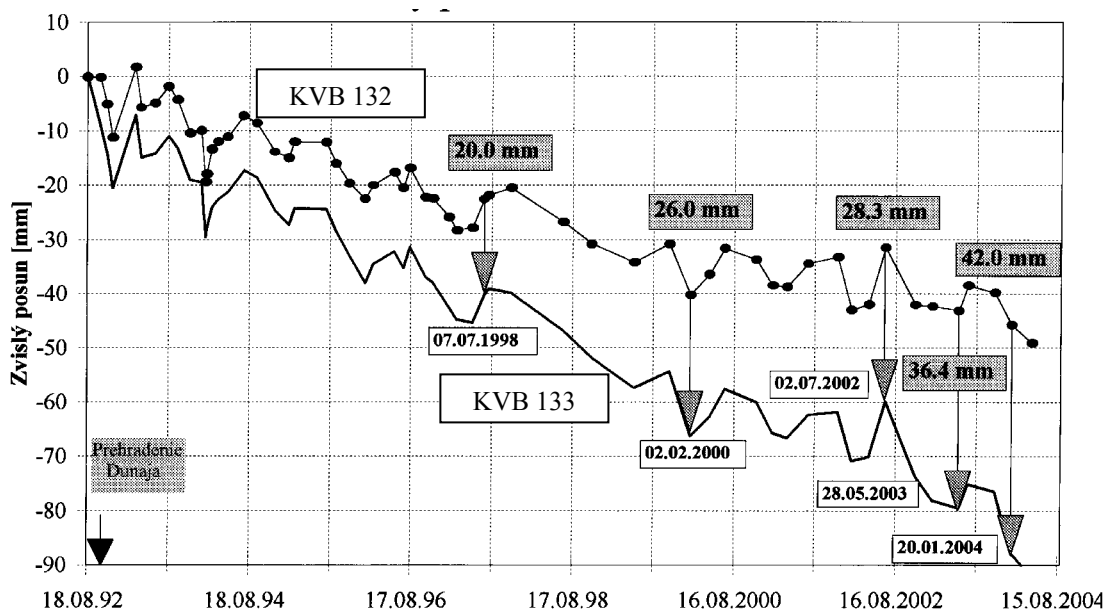
V zásade sa od prvého dotiesnenia škár očakávali lepšie výsledky. Okrem iného sa pri hodnotení výsledkov vyskytli pochybnosti o vlastnostiach použitých polyuretánových živíc. Nasledovali experimenty v Technickom a skúšobnom ústave v Bratislave, ktoré tieto pochybnosti vyvrátili. Informovali sme o nich v roku 2002.

V roku 2004 bola po vyčerpaní vody z pravej plavebnej komory realizovaná tretia etapa dotiesňovacích prác v dilatačných škárach. Okrem nich sa vykonali vo vybratých polohách podľa projektu J. Cábela (2004) hodnotné prieskumné a sanačné práce podložia komôr v mimoriadnych podmienkach daných pretlakom vody s hodnotou vyše 150 kPa.

2. Vývoj sadania

Na základe starostlivých výsledkov meraní, ktoré na kontrolných výškových bodoch osadených pri dilatačných škárach na múroch a zhlaviach plavebných komôr vykonáva Vodohospodárska výstavba, š.p. - Závod TBD a špeciálnych meraní možno usúdiť, že rozdiely sadania medzi nimi existujú, ale nie sú väčšie ako 7 mm. Pri takýchto posunoch sa gumové tesnenie v dilatačných škárach môže naťahovať, ale nemôže sa porušiť, ak je šírka dilatačnej škáry aspoň 20 mm.

Väčšie rozdiely sa prejavujú len na ľavom múre dolnej časti pravej komory medzi blokmi 5 a 6, na ktorých sú osadené kontrolné výškové body 132 (na 5. bloku) a 133 (na 6 bloku). Vývoj posunov týchto dvoch bodov je znázornený na obr. 1; po prehradení Dunaja sa prejavilo rýchlejšie sadanie bodu 133 na 6. bloku. Rozdiely sa postupne zväčšovali a pri meraniach 20.1.2004 dosiahli dosiaľ maximálnu hodnotu 42 mm. O porušení gumového tesnenia svedčí výtok vody z ľavého múra pri dne komory. Dilatačná škára medzi 5. a 6. blokom pravej komory ako aj jej ľavý múr v bloku 6 sa stali prioritnými pri prieskume a injektovaní podlažia v roku 2004.



Obr. 1 Vývoj sadania kontrolných výškových bodov v okolí dilatačnej škáry medzi 5. a 6. blokom ľavého múra pravej plavebnej komory.

3. Dynamické penetračné skúšky

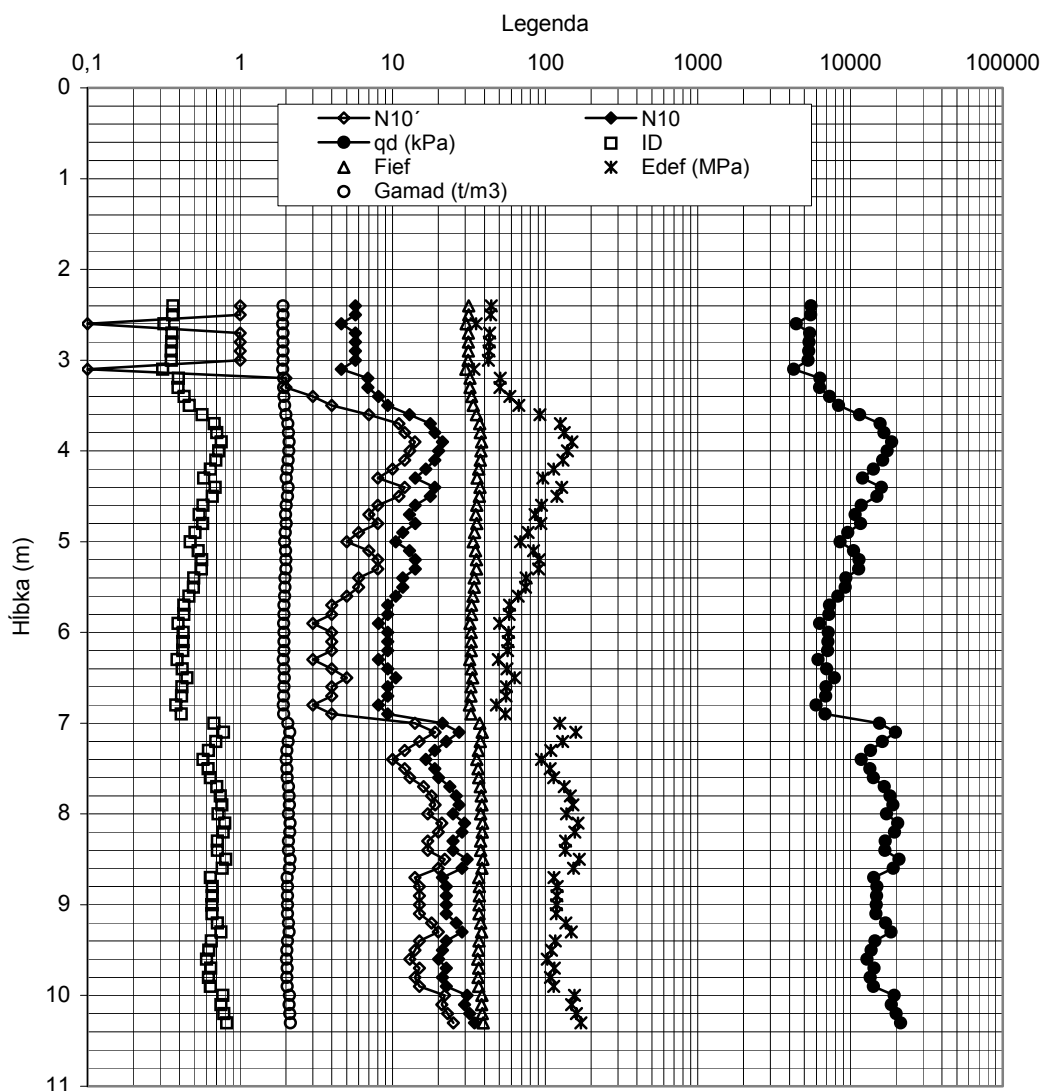
Za mimoriadne možno označiť aj podmienky vytvárania vrto v silne armovanej základovej doske a v pásoch pod dilatačnými škárami. Po prevrtaní týchto betónových konštrukcií s hrúbkou 2,4 až 4,2 m, z niektorých vrto vytekala čistá voda, z iných striekala voda do výšky 4 m, pričom boli z podlažia vynášané aj piesočnaté a štrkovité častice. Ihneď po prevrtaní boli hlavy vrto uzavreté drevenými kužeľmi.

Dynamické penetračné skúšky boli vykonávané v štrkovitom prostredí pod prevrtanou železobetónovou doskou ťažkou súpravou (hmotnosť barana 50 kg, výška pádu 50 cm, priemer hrotu 43,7 mm, vrcholový uhol 90°). Obdivuhodne jednoducho sa pracovníci firmy Keller vysporiadali so silnými výronmi vody a pevných častíc z podlažia po otvorení vrto; penetračnú súpravu postavili na drevenú paletu prikrytú pružnou gumovou platňou, ktorá usmernila silný prúd vody do horizontálneho smeru. Skúšky sa vykonávali do hĺbky 10 m alebo aj menej, ak hrot narazil na tvrdé polohy vytvorené výronmi injekčných zmesí pri tesnení dna stavebnej jamy.

Na vyhodnotenie skúšok bola použitá STN 72 1032 „Dynamická penetračná skúška“ a poznatky z literatúry (Hulla a kol. 2002). Príklad vyhodnotenia je uvedený na obr. 2; jedná sa o vrt v dolnej časti bloku 6 pri ľavom múre pravej komory. Výsledky z tohto vrto patrili medzi tie, ktoré charakterizovali podlažie bloku v najhoršom stave: do hĺbky 0,8 m stačil na vnik koncovky o 10 cm jediný úder (N_{10}), v tejto polohe boli štrkovité zeminy kypré ($I_D =$

0,31 – 0,36), hlbšie stredne hutné, len ojedinele hutné; uhly vnútorného trenia (φ_{ef}) sa pohybovali v rozsahu 31 – 39°; moduly pretvárnosti $E_{def} = 34 – 170$ MPa; objemové tiaže $\gamma_d = 19 – 21$ kN/m³. Na obr. 2 sú ešte uvedené hĺbkové závislosti upravených počtov úderov s ohľadom na vplyv vody (N_{10}) a merné dynamické penetračné odpory (q_{dyn}).

Podobne ako v uvedenom vrte boli zistené a vyhodnotené výsledky penetračných skúšok v 23 vrtoch. Umožnili lokalizovať kypré polohy v štrkovitých zeminách pod základovou doskou a určiť vlastnosti zemín. Výsledky sa vyznačovali veľkou heterogenitou v horizontálnom i vo vertikálnom smere. Už počas hĺbenia vrtov pre čerpacie studne a pozorovacie vrty sa súčinitele filtrácie pohybovali vo veľkom rozsahu, až troch rádov. Na viacerých miestach sa kypré polohy nevyskytovali. Penetračné skúšky poskytli dobré informácie pre následné injektovanie podložia. Penetračné vpichy boli užitočné aj preto, že po čiastočnom vyplavení piesočnatých a štrkovitých častíc počas vyťahovania sútyčia, vytvorili lepšie podmienky pre šírenie injekčnej cementovej suspenzie v danom anizotropnom štrkovitom prostredí aj do väčšej hĺbky.



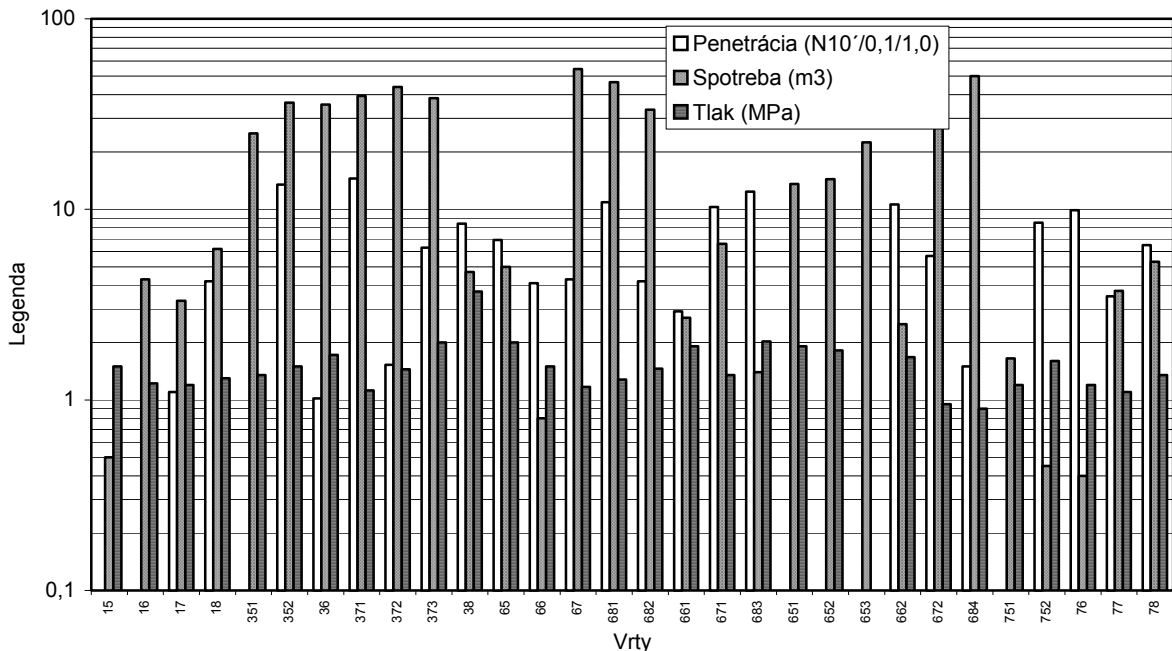
Obr. 2 Výsledky dynamickej penetračnej skúšky v podloží pravej komory.

4. Injekčné práce

Po vykonaní penetračných skúšok boli do vrtov vložené, upevnené a utesnené injekčné rúrky s možnosťou úniku cementovej suspenzie v hĺbke približne 10 cm pod železobetónovou konštrukciou. Takéto usporiadanie injektáže bolo zvolené preto, že bolo potrebné vyplniť najmä prípadné dutiny a kypré polohy v štrkovitých zeminách bezprostredne pod základovou doskou.

Na registračných zariadeniach sa starostlivo sledovali všetky predpísané parametre, najmä injekčné tlaky, rýchlosti sýtenia a celkové spotreby injekčných zmesí. Vizúálne bolo potrebné sledovať tiež prieniky zmesí do vnútorných priestorov plniacich a prázdniacich kanálov plavebnej komory z podlažia cez netesnosti v dilatačných škárach.

Maximálne hodnoty injekčných tlakov boli stanovené s ohľadom na nebezpečenstvo porušenia tesnení dilatačných škár v rozmedzí 1 až 2 MPa, celkové spotreby injekčných zmesí nemali prekročiť v jednom vrte 50 m^3 . Súhrnný prehľad je uvedený na obr. 3. Pre každý vrt sú uvedené výsledky z penetračných skúšok, spotreby zmesí a maximálne injekčné tlaky.



Obr. 3 Súhrn informácií o penetračných skúškach a injekčných prácach v podlaží komory.

Výsledky penetračných skúšok sú dané priemerným počtom úderov N_{10} do hĺbky 1 m pod základovou doskou. Konkrétne hodnoty sa pohybujú v rozmedzí od 1 do 13 (vo vrtoch 15 a 16 neboli vykonané penetračné skúšky).

Spotreby injekčnej cementovej suspenzie sa v jednotlivých vrtoch pohybovali v rozsahu od $0,45$ do 55 m^3 . Tieto hodnoty nemožno považovať za smerodajné pri posudzovaní stavu podlažia. Injekčné práce boli vykonávané v jednotlivých vrtoch postupne, pre neskoršie injektované vrty teda už bola časť voľného priestoru v ich okolí vyplnená zo vzdialenejších vrtov. Preto neexistuje korelácia medzi výsledkami penetračných skúšok a spotrebami injekčných zmesí. Takúto koreláciu by negatívne ovplyvnili aj veľké rozdiely priepustností prírodného štrkovitého prostredia v podlaží komôr.

Injekčné tlaky sa zväčšovali postupne a maximálne hodnoty (0,9 až 2,5 MPa) sa dosahovali obvykle až na konci injektovania.

Počas injektovania boli sledované vývery suspenzie hlavne v najbližších dilatačných škárach príslušného vrtnu. Zmes sa preukazne šírila do vzdialeností až 60 m a vnikla aj do vypúšťacích kanálov dolného zhlavia. Na začiatku injekčných prác neboli dilatačné škáry spoľahlivo dotesené, kanály boli vyplnené vodou, takže vývery zmesi neboli dobre identifikovateľné.

5. Zmeny hladinového režimu

Cez netesné dilatačné škáry uniká voda do okolia komory počas jej plnenia a prevádzky, zvyšujú sa hladiny v pozorovacích vrtoch. Pozorovacie objekty sú zabudované v prostredí, ktoré je tesnené zo strán podzemnými stenami a zo spodu injektovaným dnom. Tieto tesniace prvky boli použité pri zakladaní plavebných komôr, zostali v zemi, boli len na niektorých miestach čiastočne odstránené. Zbytky tesniacich prvkov zintenzívňujú zmeny hladinového režimu v bezprostrednom okolí komôr.

Obvykle sa používa na preplavovanie lodí len jedna komora, druhá je prázdna, má otvorené dolné vráta, takže hladina je totožná s odpadným kanálom. Netesné dilatačné škáry vytvárajú zvláštnu situáciu; prázdna plavebná komora sa správa ako drén. Časť vody zo susednej plnej komory nevteká do štrkovitých zemín v okolí, ale cez prázdnu komoru odteká do odpadného kanála. Počas dotesňovania porušených dilatačných škár sa drenážna schopnosť plavebných komôr znižuje, čo sa prejavuje zvyšovaním hladín v pozorovacích vrtoch okolo komôr.

Na obr. 4 je znázornený vývoj hladín v pozorovacom vrte PR-4, ktorý je zabudovaný najbližšie k pravému múru pravej komory, v jej dolnej časti.

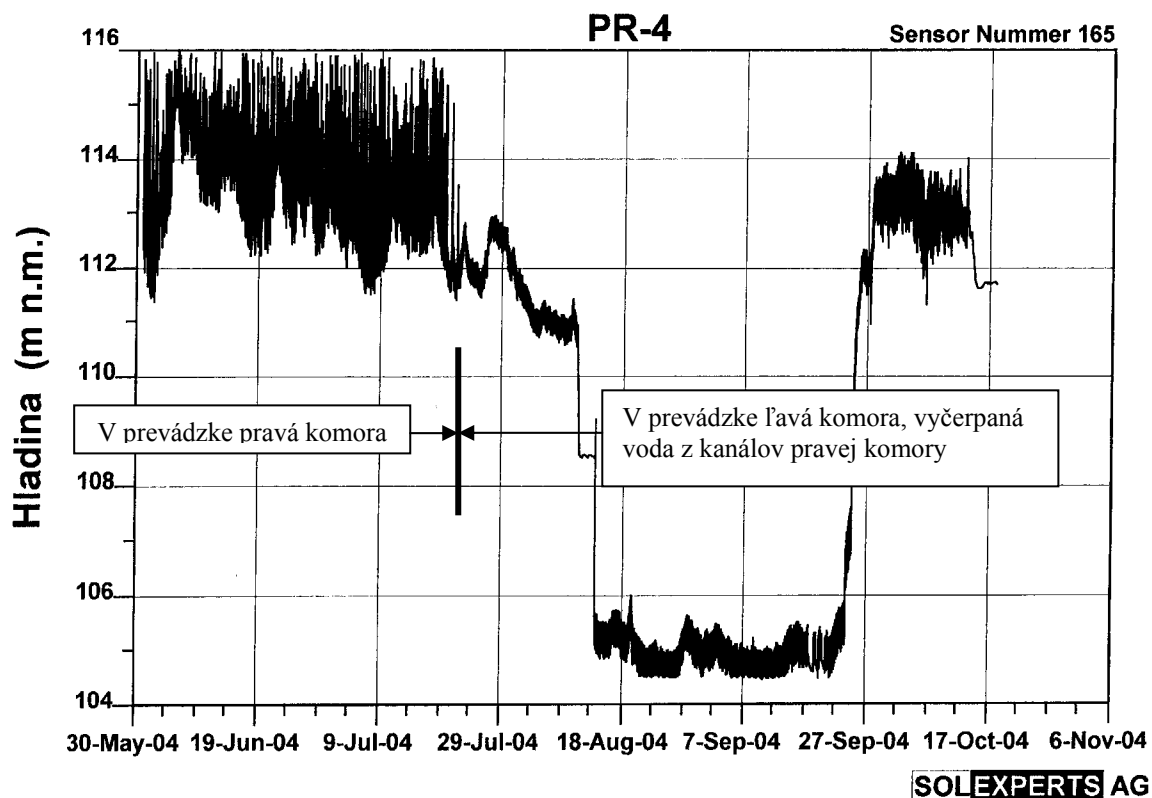
Na porovnanie uvádzame, že pred prvou etapou dotesňovania dilatačných škár sa pri prevádzke jednej z komôr zvyšovala hladina v tomto vrte približne o 10 m.

Keď bola v máji až júli 2004, po dvoch etapách dotesňovania v prevádzke pravá komora a ľavá bola prázdna, zvyšovali sa vo vrte PR-4 hladiny približne o 2 m; na obr. 4 je to rozptyl hladín registrovaný približne do 20. júla 2004.

Potom bola plavba preložená do ľavej komory; rozptyl hladín sa zmenšil približne na 0,5 m. Z toho možno usúdiť, že ľavá komora mala v blízkosti dolného zhlavia lepšie dotesené dilatačné škáry a zmeny hladín vo vrte PR-4 ovplyvňoval aj drenážny účinok menej tesnej pravej komory.

V druhej polovici augusta 2004 bola vyčerpaná voda z napúšťacích a vypúšťacích kanálov pravej komory, čo sa prejavilo výrazným znížením hladiny vo vrte PR-4, približne o 6 m; aj v týchto podmienkach bol rozptyl hladín okolo 0,5 m v dôsledku prítoku vody z ľavej komory.

Na úrovni okolo 105 m n.m. sa hladina vo vrte PR-4 držala počas prieskumných a dotesňovacích prác až do 23. septembra 2005, kedy začala intenzívne stúpať. Takto sa prejavila účinnosť dotesňovania dilatačných škár polyuretanovými živícami, ale aj účinnosť dotesňovania a spevňovania podložia pravej plavebnej komory pod jej 6. blokom cementovou suspenziou.



Obr. 4 Vývoj hladín v pozorovacom vrte PR-4 počas dotesňovania škár a podložia pravej komory.

Koncom septembra a v priebehu októbra 2004 bola stále voda z kanálov pravej komory vyčerpaná a v prevádzke bola ľavá komora (obr. 4). V dôsledku výrazného zmenšenia drenážneho účinku dotesnenej pravej komory a jej podložia, sa pri prevádzke ľavej komory zväčšili rozdiely hladín vo vrte PR-4 a dosahovali hodnoty približne 1,5 m (pred dotesňovaním to bolo 0,5 m). Z toho vyplýva, že ľavá komora má ešte stále netesné dilatačné škáry a bude ich potrebné pri najbližšej príležitosti v budúcnosti dotesniť.

Pri etapovitom dotesňovaní dilatačných škár sa vždy zreteľne prejavilo zmenšenie rozdielov hladín v pozorovacích vrtoch v dôsledku dotesnenia plnej komory, ale aj zväčšenie rozdielov hladín v dôsledku dotesnenia a zmenšenia drenážneho účinku prázdnej komory. Takýto charakter mali vývoje hladín vo všetkých pozorovacích vrtoch okolo plavebných komôr.

6. Závery

Procesy sanácie netesností dilatačných škár plavebných komôr v Gabčíkove majú dlhodobý charakter. Hlavnou príčinou sú pomerne vysoké náklady na tieto práce a problémy so zabezpečovaním potrebných finančných prostriedkov. Nezanedbateľné sú však aj mimoriadne zložité technické podmienky pri lokalizácii a sanácii netesností.

Dlhodobý charakter prác má však aj pozitívne stránky. Prejavujú sa v zvyšovaní kvality tesniacich látok a technológií, významne sa zdokonalili vrtacie zariadenia, prieskumné a injekčné postupy. To všetko umožňuje sústrediť pozornosť na najslabšie články. Na začiatku sa napríklad vyskytovali názory, že treba dotesniť všetky dilatačné škáry. Po prvej

etape prác, ktoré umožnili vyčerpať vodu z napúšťacích a vypúšťacích kanálov, sa požiadavky na dotiesňovanie škár výrazne zredukovali len na zreteľne netesné polohy.

Z hľadiska geotechniky ide najmä o stabilizáciu 6. bloku pravej komory. Počas kontrolných a injekčných prác v podloží boli starostlivo sledované všetky dôležité údaje. Možno oprávnene predpokladať, že tieto práce budú účinné a zastavia ďalšie neúmerne zväčšovanie sadania tohto bloku.

Pri podobných prácach v budúcnosti treba zabezpečiť v prvom rade dotiesnenie dilatačných škár polyuretanmi, súčasne sa môžu vykonávať aj vrtné práce a penetračné skúšky, ale injekčné práce v podloží musia nasledovať až po nich.

7. Literatúra

Hulla, J. – Hummel, J.: Účinnosť dotiesňovania dilatačných škár plavebných komôr v Gabčíkove Bevedanom a Bevedolom. In: Zpěvňování a těsnění hornin a stavebních konstrukcí 2000. VŠB - TU Ostrava 2000, s. 115-121.

Hulla, J. – Turček, P. – Baliak, F. – Klepsatel, F.: Predpoklady a skutočnosť v geotechnickom inžinierstve. Bratislava: Jaga, 2002, 254 s.

Slašťan, P. - Hulla, J.: Uplatnenie polyuretanových živíc na Slovensku v roku 2001. In: Zpěvňování, těsnění a kotvení horninového masivu a stavebních konstrukcí 2002. VŠB - TU Ostrava, 2002, s.154-159.

Príspevok bol spracovaný v rámci projektu VEGA č. 1/2148/05 "Geotechnické štruktúry pri mimoriadnych zaťažovacích stavoch"