

# HYDROUZOL GABČÍKOVO - ZAKLADANIE A BETONÁRSKE PRÁČE HYDROSYSTEM GABČÍKOVO - FOUNDATION AND CONCRETING

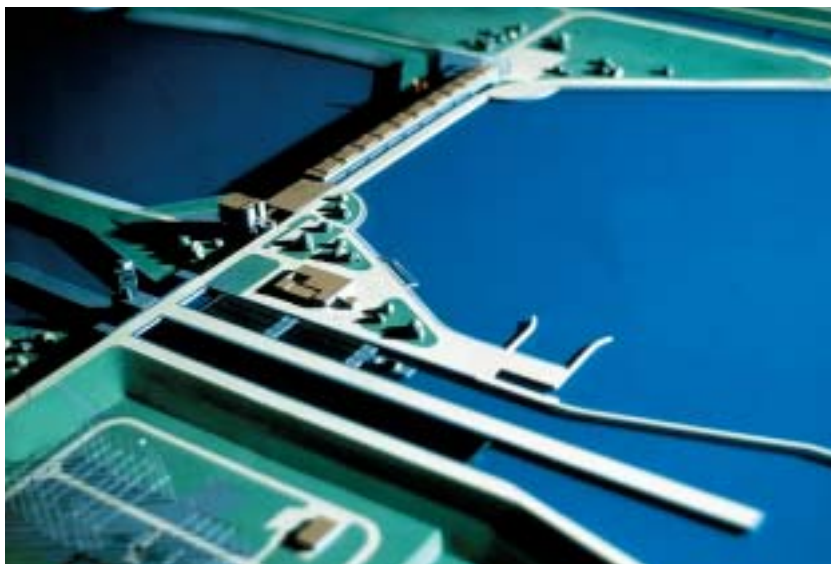
ZDENKO BRUTHANS

Príspevok popisuje technológie použité pri výstavbe vodnej elektrárne a plavebných komôr Hydrouzla Gabčíkovo budovaného v rokoch 1979 až 1991. Zaoberá sa spôsobom zakladania suchých stavebných jám v podmienkach zvodnelých štrkopiesčitých náplavov a spôsobom výroby a kontroly vodotesných mrazuvzdorných betónov, tvoriacich prevažnú časť všetkých konštrukcií.

The article engages with technologies used for building works of the water power station and navigation constructions in Gabčíkovo built from 1979 to 1991. It describes the way of the foundation of dry ditches in the conditions of water-bearing gravel sands and the ways of the production and checking of waterproofing and frost resistance concretes used in the most of those constructions.

## POPIS VODNÉHO DIELA

Vodné dielo Gabčíkovo je súčasťou československo-maďarského projektu sústa-



Obr. 1 Hydrouzol Gabčíkovo – model  
Fig. 1 Hydrosystem Gabčíkovo – model

vy vodných diel Gabčíkovo-Nagyymaros. Z pôvodného projektu bol zrealizovaný len stupeň Gabčíkovo s príslušnými ochrannými opatreniami, ktoré spočívali v prehĺbovaní koryta Dunaja a v zvyšovaní vodotesnosti hrádzí medzi Gabčíkovom a Štúrovom. Gabčíkovský stupeň pozostáva zo zdrže Hrušov, prírodného kanála gabčíkovskej vodnej elektrárne (VE), plavebných komôr (PK) a odpadového kanála odvádzajúceho vodu od elektrárne späť do koryta Dunaja.

Hrušovská zdrž vznikla prehradením Dunaja pod Bratislavou. Z nej je voda privádzaná 17 km dlhým prírodným kanálom ku gabčíkovskej VE. Hĺbka vody sa v ňom pohybuje od 7,3 do 14,3 m, šírka dna je 560 m pri vtoku zo zdrže, následne sa zužuje na 267 m a nakoniec rozširuje až na šírku 737 m pri elektrárni. Celý kanál je situovaný nad úrovňou terénu a je tvorený štrkopiesčnými hrádzami zhutnenými na objemovú hmotnosť  $2\ 100\ \text{kgm}^{-3}$ . Sklon hrádzí návodnej strany je 1:2, na vzdušnej 1:3 v spodnej časti a 1:2 pod korunou hrádzce. Jej šírka je 6 m. Na výstavbu hrádzí boli použité štrkopiesky vykopané zo stavebných jám

Obr. 2 Konštrukcia v mieste uloženia turbíny

Fig. 2 The concrete structures for placing hydraulic turbine



VE a PK a štrkopiesky ťažené pri hĺbení odpadového kanála za elektrárňou a pri prehĺbovaní koryta Dunaja. Steny kanála sú z návodnej strany tesnené dvojito vrstvou asfaltobetónu. Dno kanála je tesnené kombináciou ílovej vrstvy a tesniacej fólie. Jedná sa o najväčší kanál svojho druhu na svete. Maximálna kapacita prietoku vody kanálom je  $5000\ \text{m}^3\text{s}^{-1}$  [1]. V rámci budovania stupňa Gabčíkovo a ochranných opatrení na dolnom toku Dunaja sa zhutnilo 49,7 mil.  $\text{m}^3$  násypov a položilo 2,3 mil.  $\text{m}^2$  asfaltobetónových a 7 mil.  $\text{m}^2$  foliových tesnení. [2].

Voda od elektrárne odtieká 8,2 km dlhým odpadovým kanálom so šírkou dna 185 m, ktorý vznikol vybávaním pôvodného terénu. Prierez kanála má miskovitý tvar, svahy kanála sú v rozsahu kolísania hladín opevnené kamenným násypom a kanál je z oboch strán opatrený ochrannými hrádzami. Hĺbka kanála pri elektrárni je 18,5 m. Odpadový kanál je napojený na prehĺbené koryto Dunaja pri obci Palkovičovo.

Vlastný Hydrouzol, situovaný cca 3 km od ľavého brehu Dunaja pri obci Gabčíkovo, tvorí vodná elektráreň a plavebné komory (obr. 1). Boli budované v suchých stavebných jamách. Rozmery sta-



Obr. 3 Betonáž plavebných komôr  
Fig. 3 Concreting of navigation chambers



Obr. 4 Horná rejsa plavebných komôr  
Fig. 4 The entrance to navigation chambers

vebnej jamy VE boli v jej dne 236 x 53 m a v úrovni terénu 371 x 214 m. Jej základová doska je 33 m pod úrovňou terénu. Rozdiel hladiny vody v prievodnom kanáli a vtokovej časti turbín poháňa osem kaplanových turbín s celkovým výkonom 720 MW (obr. 2).

Každá z dvoch plavebných komôr má rozmery 275 x 34 m a hĺbku 28 m. Plnia sa kanálovým systémom z priestoru pred elektrárnou. Rozmery plavebnej komory umožňujú preplavovanie lodného vlaku, ktorý pozostáva z remorkéra a deviatich člnov, každý s výtlakom do 1600 t (obr. 3). Na plynulé vplávanie a vyplávanie z PK slúži objekt hornej rejsy, v ktorej sú lode chránené pred vlnobitím (obr. 4).

#### ZAKLADANIE HYDROUZLA GABČÍKOVO

VE a PK boli založené vo zvodnelých štrkopiesčitých náplavoch, ktoré v oblasti Gabčíkova dosahujú hĺbku 360 m. Hladina spodnej vody je v tejto oblasti tesne pod terénom a priepustnosť podložia je charakterizovaná koeficientom filtrácie  $k = 3 \cdot 10^{-3} \text{ ms}^{-1}$ .

Pre oba objekty boli vybudované tesniace základové vane. Tesniace dna základových vaní vznikli zainjektovaním 7 m hrubej vrstvy štrkopieskov v základovej vani VE a v hrúbke 5 m v základovej vani PK. Injektované dno pod VE má tvar oblúka, najspodnejšia úroveň je v jeho strednej časti v hĺbke 62,5 m a postupne sa dvíha k päte tesniacej stien. V základovej vani PK je zainjektované dno rovné a jeho spodná úroveň je 45,5 m pod terénom.

Injektáže prebiehali v dvoch etapách pre primárnu injektáž boli použité cemento-

bentonitové zmesi. Injektážne vrty boli šachovnicovito usporiadané vo vzdialenostiach 7 m. Injektovávalo sa systémom klakáží, kedy sa tlak injektovanej zmesi zvyšoval dovtedy, pokiaľ nedošlo k porušeniu homogenity injektovaného podložia. Na každom vrte sa injektovalo po etážach vzdialených 0,33 m. Maximálne injekčné tlaky sa pri rýchlosti sýtenia vrtu 20 až 25  $\text{lmin}^{-1}$  pohybovali okolo 4 MPa.

Sekundárna injektáž bola vykonaná che-

mickými injekčnými zmesami na báze vodného skla koagulovaného kyselinou citrónovou. Bola nutná vzhľadom na častý výskyt tekutých, veľmi jemných pieskov, kde injektáž cementobentonitovými injekčnými zmesami neposkytovala záruku dokonalého utesnenia. Maximálne injekčné tlaky sa pri rýchlosti sýtenia vrtov 10 až 12  $\text{lmin}^{-1}$  pohybovali v rozmedzí 4 až 5 MPa [3].

Fyzikálno-mechanické parametre ce-

Obr. 5 Cementobentonitová suspenzia v podzemnej stene

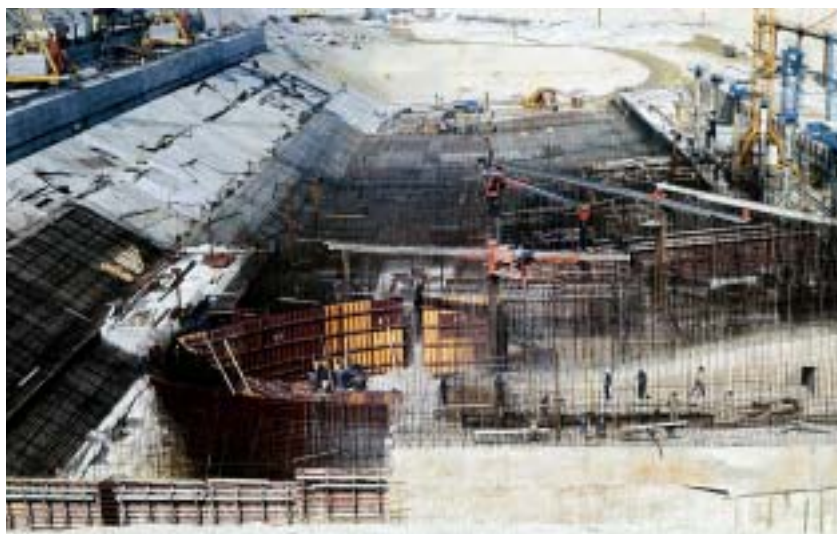
Fig. 5 Cement-bentonite suspension in the diaphragm wall



Obr. 6 Hlbiaca súprava pre podzemné steny

Fig. 6 The excavating equipment for diaphragm walls





Obr. 7 Pohľad do stavebnej jamy vodnej elektrárne

Fig. 7 The view of the ditch of the water power station

mentobentonitových injekčných zmesí boli nasledovné: zdanlivá viskozita čerstvej zmesi meraná časom ich výtoku cez Marshov lievik bola 35 až 40 sekúnd, objemová hmotnosť  $1180 \text{ kgm}^{-3}$ , max. odstoje vody 2 % za 2 hodiny, pevnosť v tlaku zatvrdnutej injekčnej zmesi bola 0,2 až 0,4 MPa, koeficient filtrácie  $k$  bol rádovo  $10^{-8} \text{ ms}^{-1}$ .

Fyzikálnomechanické parametre chemických injekčných zmesí boli nasledovné: zdanlivá viskozita meraná časom ich výtoku cez Marshov lievik 28 až 31 sekúnd, objemová hmotnosť  $1080$  až  $1100 \text{ kgm}^{-3}$ , doba koagulácie 2 až 6 hodín a strihová pevnosť 2 až 2,9 kPa po 24 hodinách tvrdnutia.

Steny tesniacich základových vaní šírky 0,6 m boli budované do hĺbky 47,5 m na VE, resp. 44 m na PK z modifikovaných cementobentonitových suspenzií. Steny sa budovali hĺbením ryhu, v ktorej sa vyťa-

žený výkopok priebežne nahrádzal cementobentonitovou suspenziou (obr. 5). Hĺbenie sa vykonávalo hĺbiacou súpravou, ktorá pozostávala z rýpadla so žeriavovým zariadením Link Belt LS 318, pevne vedenej teleskopickej tyče Kelly K70 a hydraulického drapáku H 70. Šírka rozvetria čelustí drapáku bola 3 m a súprava mohla hĺbiť až 50 m hlboké steny [4] (obr. 6). Striedavým hĺbením dvoch 3 m dlhých primárnych záberov, oddelených 1,5 m dlhým sekundárnym záberom hĺbeným nakoniec sa realizovala tesniaca podzemná stena bez pracovných škár. Táto technológia významne prispela k zabezpečeniu vysokej vodotesnosti základovej vane ako celku. Po celý čas potrebný na hĺbenie stien bola cementobentonitová suspenzia tekutá a pažila hĺbenú ryhu. Po ukončení výkopu zatvrdla a prebrala tesniacu funkciu.

Cementobentonitová suspenzia sa vyrábala zmiešaním bentonitovej suspenzie

s troskopordlandským cementom a chemickými prísadami. Používal sa Plastifikátor S (SPC Ružomberok) a plastifikátor Ralentol 25 (ZAZ Hrádek nad Nisou). Kombinovaný účinok oboch prísad zabezpečil dokonalú dispergáciu cementu v bentonitovej suspenzii a potrebnú retardáciu, ktorá sa regulovala dávkou prísad. Pred použitím na výrobu cementobentonitovej suspenzie sa musela bentonitová suspenzia po predpísanú dobu, závislú od kvality bentonitu, premiešavať s vodou. Bentonit je montmorilonitický íl s trojvrstvou štruktúrou, schopný pohlcovať vodu. Výsledkom je zvýšenie vnútornej viskozity bentonitovej suspenzie, ktorá dokáže niesť cementové zrná bez ich sedimentácie. Vzhľadom na hĺbku budovaných podzemných stien, bola stabilita cementobentonitovej suspenzie najdôležitejším faktorom ovplyvňujúcim vodotesnosť podzemných stien v celej ich výške.

Fyzikálnomechanické parametre bentonitových suspenzií: zdanlivá viskozita meraná časom ich výtoku z Marshovho lievika 30 sekúnd, objemová hmotnosť  $1100 \text{ kgm}^{-3}$ .

Fyzikálnomechanické parametre cementobentonitových suspenzií: zdanlivá viskozita meraná časom ich výtoku Marshovým lievikom 38 až 40 sekúnd, objemová hmotnosť  $1180 \text{ kgm}^{-3}$ , pevnosť v tlaku zatvrdnutej suspenzie 0,2 až 0,4 MPa, koeficient filtrácie  $k$  bol rádovo  $10^{-8} \text{ ms}^{-1}$ , modul deformácie 20 až 50 MPa.

Obr. 8 Betonáže masívnych konštrukcií  
Fig. 8 Concreting of massive structures



Obr. 9 Betonárky Elba 120 s automatickým riadením výroby  
Fig. 9 Mixing plants Elba 120 with automatic production control



**KONTROLA KVALITY A ROZSAH PRÁC PRI ZAKLADANÍ**

Kontrola kvality prác pri zakladaní bola trojstupňová a na danú dobu priam vzorová. Prvý stupeň tvorila kontrola dodávateľmi prác. Váhostav, dodávateľ injektáží a Hydrostav, dodávateľ tesniacich stien mali vlastné kontrolné laboratóriá, ktoré kontrolovali kvalitu vstupných materiálov, riadili kvalitu vyrábaných zmesí a dodržiavanie stavebných postupov určených Technologickými predpismi. Ďalším stupňom kontroly bola kontrola investora, prostredníctvom technicko-dozorných správ. Posledným stupňom boli kontroly vykonávané TSÚS Bratislava.

Fyzikálnomechanické vlastnosti vyrábaných hmôt sa hodnotili matematicko–štatistickými metódami, kedy sa hodnotili parametre: priemerná hodnota, smerodajná odchýlka, variačný koeficient, kritérium bezpečnosti a kritérium hospodárnosti výroby. Výsledky týchto hodnotení vykazali vysokú kvalitu vykonaných prác, čo sa následne preukázalo aj v praxi pri čerpaní vody zo stavebných jám. Projekt počítal s čerpaním 2000 l s<sup>-1</sup> vody, realita však bola takmer udivujúca. Po celú dobu výstavby v stavebných jamách Hydrouzla sa čerpalo spočiatku 240 l s<sup>-1</sup> vody, neskôr po ustálení priesakov dokonca len 180 l s<sup>-1</sup> (obr. 7).

Zakladanie stavebných jám Hydrouzla Gabčíkovo prebiehalo v rokoch 1979 až 1982, pričom sa zabudovalo 148 361 m<sup>2</sup> cementobentonitových tesniacich podzemných stien a zainjektovalo 1 090 041 m<sup>3</sup> štrkopieskov v dne stavebných jám [3 a 4].

**BETONÁŽE HYDROUZLA GABČIKOVO**

Betonárske práce na hydrouzle Gabčíkovo prebiehali v rokoch 1983 až 1990. V suchých stavebných jamách sa postupne uložilo 1,5 mil. m<sup>3</sup> vyrobených vodostavebných betónov, z ktorých bolo 80 % prevzdušnených. V betonárskej špičke v rokoch 1983 až 1986 sa denne vyrábalo a na stavbe spracovávalo 2000 až 3000 m<sup>3</sup> (obr. 8) betónov. Vyrábali sa na dvoch betonárkach typu Elba 120 (obr. 9), s maximálnym výkonom 2 x 120 m<sup>3</sup> za hodinu. V nepretržitej troj-smennej prevádzke.

Kamenivo sa ťažilo z odpadového kanála a triedilo sa na štyri frakcie mokrou cestou. Prakticky všetky betóny, až na zálievky hradidiel, sa vyrábali z frakcií 0/4, 4/8, 8/16 a 16/32 mm. Vzhľadom na masívnosť betónovaných blokov 300 až 1500 m<sup>3</sup> bolo pôvodne uvažované aj s frakciou 60 mm. Od tejto varianty sa upustilo z dôvodov hustého armovania konštrukcií a nedostatku tejto frakcie.

Cement sa používal troskoportlandský SPC 325 Rohožník. Na stavbu sa privážal železničnými cisternami a ukladal sa do šiestich tisíc tonových zásobných síl, z ktorých sa na betonárky dopravoval pneumaticky.

Prísady sa používali od samého počiatku betonáží. Okrem toho, že optimalizovali dávky cementu, významne uľahčovali čerateľnosť a spracovanie betónu v konštrukcii, šetřili čerpadlá a vibrátory. Jednalo sa o plastifikátory lignosulfoňanového typu Ligoplast NA a neskôr aj Ligoplast SF, a o prevzdušňujúcu prísadu Poralan VD, a neskôr Poralan BRG. Výrobcom bola

Dehtochema České Budějovice. Prísady sa na stavbu dopravovali železničnými cisternami a skladovali v temperovanom sklade vo štyroch nádržiach s objemom 50 m<sup>3</sup>.

Betóny sa vyrábali podľa ČSN 73 2400 v značkách od B10,5 po B40. Približne 80 % betónov bolo vodotesných, mrazuvzdorných B20 V8 T100 a B20 V8 T150 s dávkami cementu SPC 325 v množstvách 340 a 350 kg m<sup>-3</sup> (obr. 10). Skladba jednotlivých frakcií kameniva pre betóny B20 bola nasledovná: 40 % 0/4 mm, 12 % 4/8 mm, 18 % 8/16 mm a 30 % 16/32 mm.

Dávky plastifikátorov sa pohybovali v rozmedzí od 0,6 do 1 % z hmotnosti cementu pre betóny B15 až B40. Konzistencia vyrábaných betónov sa pohybovala v rozmedzí 120 až 160 mm sadnutia Abramsovhov kužela.

Dávky prevzdušňovacích prísad sa na betonárkach pohybovali v rozmedzí 0,15 až 0,25 % z hmotnosti cementu. Kolísali v závislosti od podielu jemných zŕn v piesku, za ktoré bol považovaný prepád sitom 0,25 mm a doby miešania betónu po pridaní prevzdušňovacej prísady. Prevzdušnenie čerstvého betónu, okrem iných faktorov, závisí predovšetkým od dávky prísady a doby miešania po pridaní prísady. Pre zabezpečenie konštantného prevzdušnenia, ktoré sa pohybovalo od 4 do 6 % a meniacej sa dobe miešacieho cyklu, ktorá kolísala od 15 do 40 sekúnd podľa momentálne potrebnej výrobnéj kapacity betónu, bolo nutné pre jednotlivé časové cykly miešania betónu určiť samostatné dávkovanie prevzdušňujúcej prísady. Keďže betonárky boli riadené po-

Obr. 10 Mrazuvzdorné betóny vtokových pilierov elektrárne  
Fig. 10 Frost resistance concretes of inlet piers in the water power station



Obr. 11 Armovacie práce na vodnej elektrárni  
Fig. 11 Reinforcement works in the water power station



Obr. 12 Graf vývoja teploty v masívnom betóne

Fig. 12 Graph of hydration heat development in massive structures

čítačom, obe prísady sa dávkovali samostatnými dávkovačmi.

Doprava betónu do konštrukcie sa realizovala na trase betonárky – stavebné jamy autodomiešavačmi a vaňovými prepravníkmi objemu 5 m<sup>3</sup>. Priamo v konštrukcii vodnej elektrárne boli betóny ukladané pomocou pásových dopravníkov fy Rotec, ktoré boli ukončené tzv. swingrom, otočným uzlom, ktorý cez gumennú hadicu (tak ako čerpadlo na betón) dokázal v horizontálnom i vertikálnom smere ukladať betónovú zmes na požadované miesta. Dopravný výkon pásových dopravníkov bol 100 m<sup>3</sup>h<sup>-1</sup> a na vani elektrárne boli nainštalované dve súpravy. Do ostatných konštrukcií – plavebné komory, vtokové krídla, horná a dolná rejsa sa betóny ukladali mobilnými alebo stacionárnymi betonárskymi čerpadlami a v prípade nutnosti i košmi.

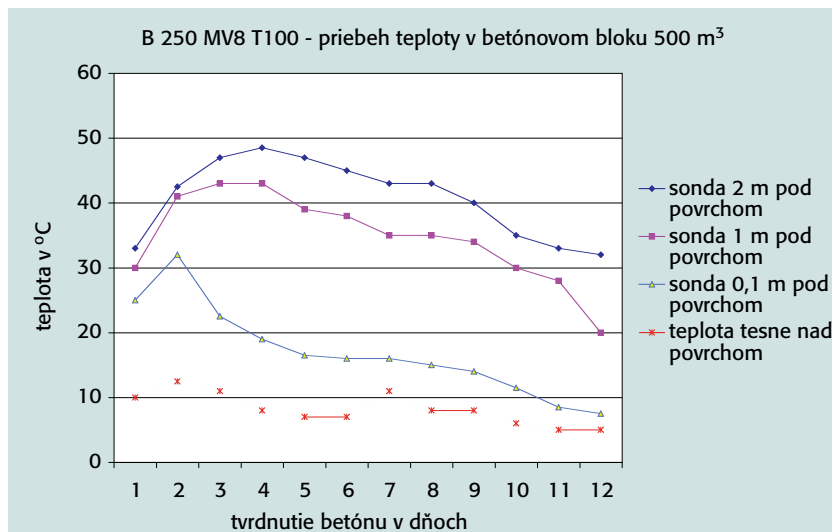
Hutnenie betónu prebiehalo ručne, pomocnými vysokofrekvenčnými vibrátormi a táto operácia bola limitujúca pre rýchlosť postupu betonárskych prác. Masové nasadenie baterií vibrátorov bolo pre hustotu a spôsob armovania použiteľné len v minimálnom rozsahu (obr. 11).

Technickým úskalím boli betonáže masívnych blokov o objeme 500 až 1500 m<sup>3</sup>. Merali sa teploty betónu vo vnútri blokov i tesne pod povrchom, aby sa správne mohol určiť čas, pokiaľ nemožno zabetónované bloky vyhriať hydratačným teplom pri rôznych teplotách okolia oddebníť bez rizika vzniku trhlin v dôsledku vysokého teplotného spádu na povrchu konštrukcií (obr. 12). Väčšinou bolo treba čakať týždeň, pokiaľ bolo možné masívne bloky bezpečne oddebníť.

#### KONTROLA KVALITY BETONÁRSKÝCH PRÁČ

Pri betonárskych prácach prebiehala trojstupňová nepretržitá kontrola výroby betónu i betonárskych prác realizovaná dodávateľom, technicko-dozornou správou investora a TSÚS Bratislava.

Priamo pri betonárkach pracovalo centrálné laboratórium v tom istom režime ako stavba. Laboratórium priamo ovplyvňovalo proces výroby na betonárkach. Všetky skúšky prebiehali podľa vypracovaného skúšobného plánu pre vstupné suroviny, čerstvý a zatvrdnutý betón, vrátane nedeštruktívnej kontroly betónu v konštrukcii.



vaného skúšobného plánu pre vstupné suroviny, čerstvý a zatvrdnutý betón, vrátane nedeštruktívnej kontroly betónu v konštrukcii.

Na čerstvom betóne sa kontrolovala a nastavovala konzistencia, obsah vzduchu, merali sa teploty a objemové hmotnosti betónov. Na zatvrdnutom betóne sa overovali pevnosti v tlaku, ťahu v ohybe, vodotesnosti a mrazuvzdornosti.

Výsledky skúšok sa hodnotili matematicko-štatistickými metódami. Napríklad betón B20 V8 T150 vykazoval nasledujúce výsledky: priemerná pevnosť v tlaku 28,05 MPa, pevnosť v ťahu za ohybu 3,93 MPa, hĺbka priesaku 47 mm, koeficient mrazuvzdornosti 0,93. Smerodajná odchýlka pre pevnosť v tlaku bola 3,01 MPa a variabilita 10,5 %.

Vcelku možno konštatovať, že kvalita vyrábaných betónov bola veľmi vysoká. Nevyhovujúce výsledky boli do 2 %. Ťažšie bolo kontrolovať a usmerňovať kvalitu hutnenia betónu, opracovávanie pracovných škár a správne vybudovanie dilatácií v konštrukciách. Po uvedení Hydrouzla do prevádzky bolo treba dotiesňovať pracovné a dilatačné škáry v rozsahu, ktorý bol, vzhľadom na veľkosť a namáhanie konštrukcií z pohľadu tlakov vody, primeraný.

#### VÝZNAM VODNÉHO DIELA GABČIKOVO

Po desiatich rokoch prevádzky stupňa Gabčíkovo sa ukázalo, že sa nenaplnili obavy z negatívneho vplyvu diela na životné prostredie, nakoľko do projektov boli doplnené a v praxi zrealizované všetky významné opatrenia doporučované ekológmi.

Od uvedenia do prevádzky roku 1992 elektrárňou vyprodukovala 24 mil. MWh

elektrickej energie bez znečistenia ovzdušia, či nutnosti budovania skládok rádioaktívneho odpadu.

Stupeň Gabčíkovo zabezpečil účinnú protipovodňovú ochranu po celom toku Dunaja, a to nielen na slovenskom území. Vďaka nemu bola v posledných rokoch pri veľkých vodách, pred povodňami uchránená i Budapešť, ako najväčší odporca výstavby tohto diela.

Posledným prínosom vodného diela je bezproblémové splavenie toku Dunaja na úseku Bratislava–Gabčíkovo. V dôsledku tektonického zlomu pri Gabčíkove tiekol tu Dunaj „do kopca“ a plavebná trasa sa rýchlo zanášala.

Dnes je splavnosť rieky v tomto úseku bezproblémová.

#### Literatúra:

- [1] Strahle G.: Sústava vodných diel Gabčíkovo-Nagymaros, Alfa Bratislava 1980, str. 31
- [2] Chmelár V. a kol.: Gabčíkovo do prevádzky, Electa Žilina 1991, str. 29
- [3] Janovič L.: Vrtné a injektážne práce na SVD Gabčíkovo, zb. prednášok Špeciálne zakladanie stavieb, Žilina 1986
- [4] Huječek O., Kmeť M.: Výstavba podzemných stien na stupni Gabčíkovo, Hydrotstav Bratislava 1980

Ing. Zdenko Bruthans  
Stachema Bratislava, s. r. o.  
900 41 Rovinka 411, Slovenská republika  
tel.: +421 245 985 500-2,  
fax: +421 245 985 319  
e-mail: bruthans@stachema.sk  
www.stachema.sk