ZOSILŇOVANIE ŽELEZOBETÓNOVÝCH VALCOVÝCH NÁDRŽÍ ČOV VONKAJŠÍM PREDPÄTÍM

Chandoga Milan[1)]

ABSTRACT

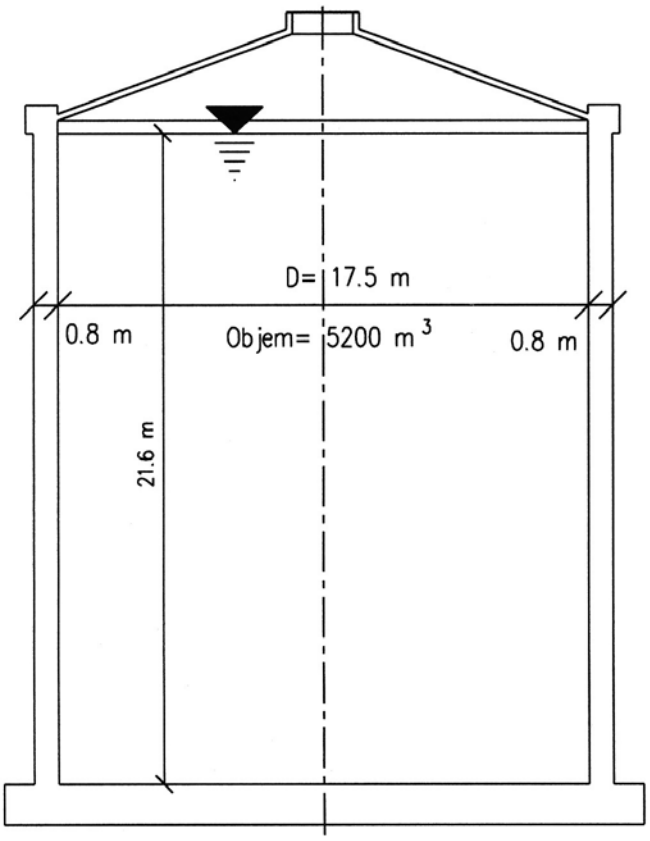
V deväťdesiatych rokoch sa u nás vybudovalo viacero vyhnívajúcich železobetónových valcových nádrží ČOV technológiou posuvného debnenia (Trnava, Petržalka, Nitra, Humenné), s objemom asi 5.000 m^3. Pri kontrolných skúškach vodotesnosti sa ukázalo, že nádrže tečú a je ich potrebné zosilniť pomocou vonkajšieho predpätia.
Príspevok sa zaoberá problematikou zosilňovania železobetónových valcových konštrukcií technológiou PROJSTAR VK, ktorá bola vyvinutá firmou Projstar-PK, s.r.o. v roku 1998 a prvýkrát použitá pri sanácii nádrží ČOV v Petržalke (1). Technológia, založená na princípe vonkajších predpínacích káblov (z toho je označenie VK) bola použitá pri zosilňovaní ďalších nádrží ČOV v Trenčíne, Pezinku, Nitre, Poprade a najnovšie bude aplikovaná aj v Humennom.

1. Potreba zosilnenia nádrží

Hore spomenuté nádrže na čistenie odpadových vôd (ČOV) boli vybudované ako čistiarenská jednotka zložená z troch - štyroch samostatne stojacich železobetónových valcových nádrží. Niektoré z nich, produkujúce bioplyn (reaktory), sú prekryté kupolou (obr,1). Každá nádrž má obsah asi 5 000 m^3. Ešte pred uvedením nádrží do prevádzky, pri skúške vodotesnosti a plynotesnosti, nevyhoveli požiadavke, ktorá stanovuje dlhodobú vodotesnosť a plynotesnosť (únik bioplynu). V projekte, i pri realizácii nádrží s požiadavkou zachytávania bioplynu, neboli dodržané podmienky a kritériá normy a pôvodný projekt neoprávnene predpokladal, že vodotesnosť a plynotesnosť objemných železobetónových nádrží (obr. 1) sa dosiahne kolmatáciou čistiarenským kalom.
Pri skúškach vodotesnosti nádrží v Trnave, Petržalke a Nitre na nádrži vznikli, od vnútorného hydrostatického tlaku typické zvislé trhliny, vlastné železobetónu (obr. 2). Okrem toho vznikali aj vodorovné priesaky pracovnými škárami, ktoré sú najpravdepodobnejšie v dôsledku technologických chýb pri posuvnej betonáži valcových stien. Malá tuhosť posuvného debnenia pri vibrovaní betónu nemôže zabezpečiť dostatočné zhutnenie požadované pre vodotesný betón.
Rovnaké problémy vznikli pri všetkých spomínaných ČOV nádržiach, ktoré sa budovali v približne rovnakom období. Požadovaná vodotesnosť nádrží sa nedosiahla ani po aplikácii technologicky náročných vnútorných tesniacich náterov.

---

[1] Doc. Ing. Milan Chandoga,PhD., Katedra betónových konštrukcií a mostov, Stavebná fakulta, Slovenská technická univerzita, Radlinského 11, 813 68 Bratislava, Projstar –PK spol. s r. o., Nad Dunajom 50, 84104 Bratislava tel. +421903722252, e-mail: chandoga@svf.stuba.sk , milan.chandoga@stonline.sk



Obr.1 Schéma a parametre nádrží ČOV vybudovaných na Slovensku v deväťdesiatych rokoch

Ak konštrukcia musí súčasne dôsledne spĺňať aj požiadavky životnosti, plynotesnosti a ochrany životného prostredia, pretože kal patrí medzi látky ohrozujúce akosť a zdravotnú nezávadnosť vôd, vidíme, že železobetón ako stavebný materiál je pre nádrže takéhoto typu a veľkosti (obr. 1) nevhodný.
Hospodárnosť a uplatnenie návrhu železobetónových nádrží ako reaktorov ČOV primárne závisí od prípustnosti trhlín v betóne. Konštrukcia so stenou dimenzovanou na medzi vzniku trhlín vychádza značne masívna, nehospodárna, a použiteľná len pre nízke nádrže.
Pre budúcnosť preto treba hľadať spoľahlivú náhradu namiesto valcových železobetónových nádrží, dnes už klasického tvaru. Predpätý betón je v súčasnosti vhodným materiálom na riešenie tohto problému. Riešenie však predpokladá návrh staticky opodstatneného tvaru a vhodnej technológie debnenia, betonáže a predpínania.
Pri posudzovaní vzniku zvislých trhlín železobetónovej nádrže je jediným účinným prostriedkom obvodové predpätie. V hornej časti steny nádrže ani pri naplnení, ani počas skúšky vodotesnosti nevznikli trhliny do výšky vodného stĺpca asi 8 m.
Prstencová únosnosť steny hrúbky 800 mm vystuženej pri obidvoch povrchoch 5ϕV20/m podľa pôvodného projektu pri vzniku trhlín je pre:

– betón B 20 HV12, R_{btn} = 1,4 MPa => N_r = 951,64 kN,
– betón B 30 HV12, R_{btn} = 1,8 MPa => N_r = 1 270,74 kN.

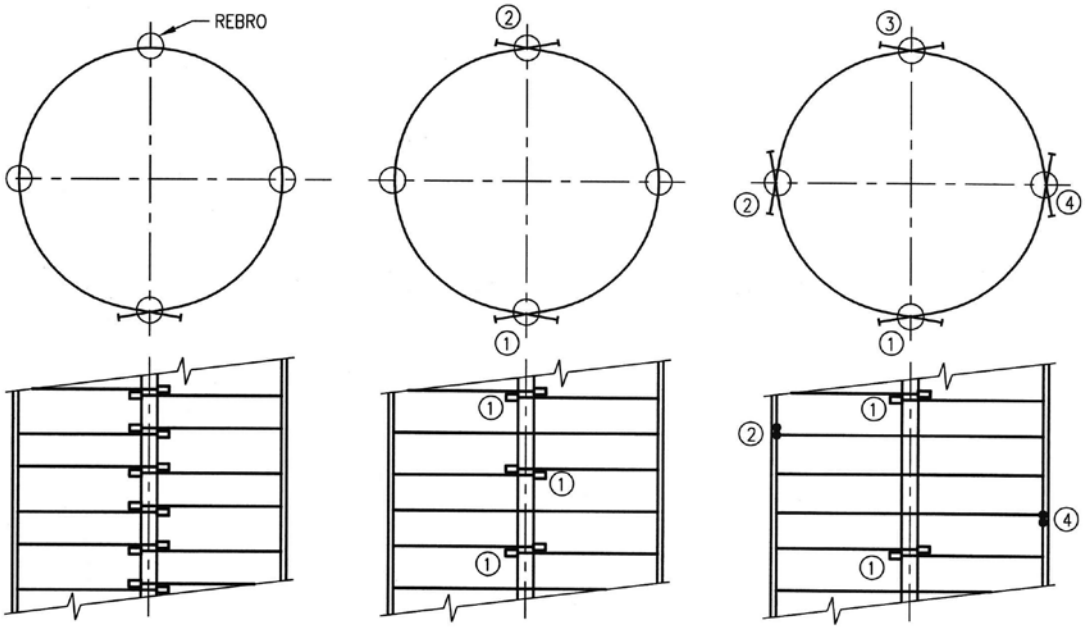
Skutočné namáhanie prstenca od vnútorného tlaku stĺpca náplne je v tejto výške asi 800 kN a platí N_r = 951,64 kN > 800 kN, preto trhliny v tejto výške nemohli vzniknúť.

Potvrdzuje to obr. 2 (ČOV Petržalka). Horná časť stien nádrží zostáva bez trhlín, z čoho môžeme usudzovať, že únosnosť steny, ako železobetónovej vystuženej podľa pôvodného projektu, zodpovedá výške približne 8 m hydrostatického tlaku náplne.

Obr.2 Zvislé trhliny po skúške vodotesnosti nádrží ČOV Petržalka

2. Technológia zosilňovania valcových nádrží PROJSTAR VK

Technológia Projstar VK je založená na princípe vonkajších nesúdržných káblových slučiek, ktorých konce sú vzájomne prekotvené vo zvislom oceľovom rebre. Kotvenie káblových slučiek je možné realizovať v jednom až štyroch radoch kotevných rebier, ukotvených po obvode valcovej konštrukcie (obr.3). Každé lano obopína celý obvod a jeho zakotvenie sa pôdorysne vystrieda v závislosti od počtu kotevných rebier. V prírubách rebra vyrobeného z valcovaného profilu UPE 140 sú otvory veľkosti ϕ25 mm pre prechod lana chráneného proti poškodeniu PE rúrkou. Vzdialenosť prechodových a kotevných otvorov je daná hustotou ovíjania.
Kotvenie koncov káblovej slučky v kotevnom rebre je oproti sebe výškovo posunuté o 50 mm. Profil rebra UPE 140 má v mieste kotiev výstuhy z plechu hrúbky 5 mm, ktoré zabraňujú deformácii prírub od ich sústredeného tlakového namáhania (obr.4). Rebrá sú chránené proti korózii povrchovou žiarovou zinkovou úpravou.



Obr.3 Schéma vonkajšieho predpätia

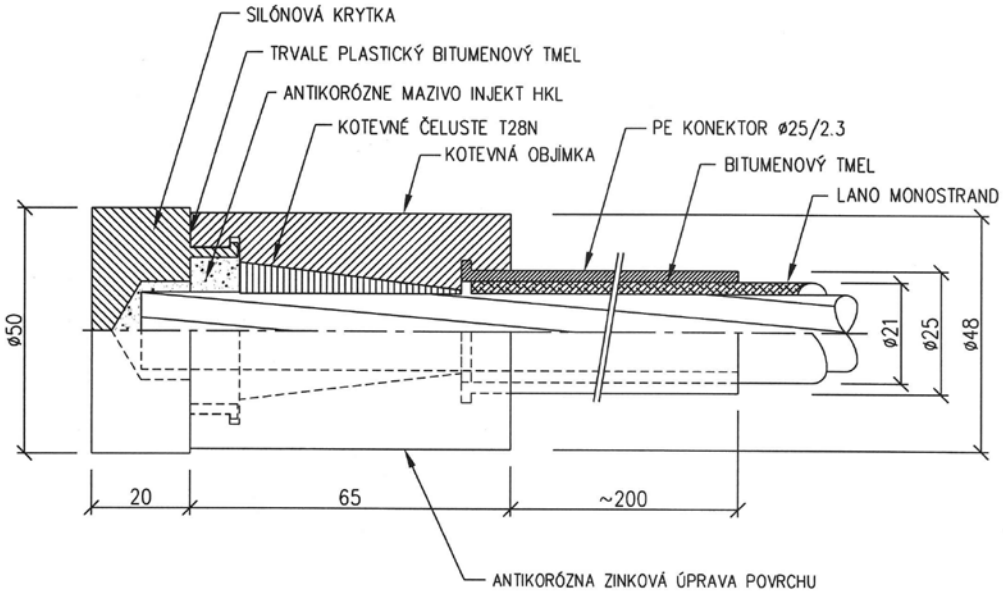
Kotva PROJSTAR CH-1/VK – jednolanová (obr.4,5) je konštrukčne vyvinutá pre dodatočné predpínanie (ovíjanie) valcových konštrukcií. Spĺňa dôsledne všetky požiadavky únosnosti a najmä protikoróznej ochrany. Ochranu prechodu lana do kotevnej objímky zabezpečuje PE konektor, ktorý je po natavení konca zasunutý do osadenia v kotevnej objímke tak, aby nedošlo k jeho uvoľneniu. Pred nasunutím kotvy sa konektor vyplní vhodným mazivom, ktoré plní funkciu utesnenia a antikoróznej ochrany predpätia. V prípade, keď je kotvenie vystavené poveternosti, utesňuje sa priestor vhodným trvale plastickým tesniacim tmelom.

Čelo kotvy je chránené PE krytom, ktorý sa vyplnení antikoróznym mazivom a natlačí do osadenia v kotevnej objímke, prípadne oceľovým krytom nalisovaným do osadenia v kotevnej objímke. Priestor krytu sa dodatočne vyplní antikoróznym mazivom alebo pomocou tlakového lisu (dekalamitkou) cez mazničku. Kotevné objímky sú pozinkované.

Nesúdržný kábel je možné navrhnúť viacerými spôsobmi. Rozhodujúcimi sú faktory, ako drsnosť a nerovnosť povrchu betónovej konštrukcie z hľadiska poškodenia ochranného PE plášťa predpínacieho lana, stupeň antikoróznej ochrany predpätia, strata predpínacej sily z trenia a podobne. Najčastejšie sa používajú štandardné nesúdržné predpínacie laná Monostrand (obr.4,6a). V prípadoch, keď je povrch predpätia vystavený slnečnému žiareniu, HDPE plášť sa stabilizuje UV stabilizátorom. Odolnosť plášťa je možno zvýšiť jeho hrúbkou, alebo použiť Monostrand s dvojplášťovou ochranou (obr.6b). Krajným riešením môže byť aj sekundárna ochrana Monostrandu PE rúrkou.

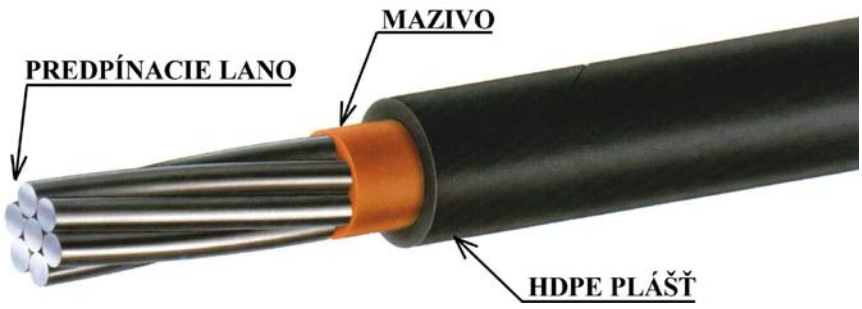
Na napínanie sa používa osvedčený predpínací jednolanový dutý lis PAUL TENSA SM 240 kN. Pri napínaní je niekedy potrebné vychýliť lis od steny valcovej konštrukcie pomocou priameho, alebo ohnutého nadstavca predpínacieho lisu. Vzhľadom na veľkosť strát predpínacej sily predpína sa slučka z oboch koncov. Na obr.9 je zostava napínacej súpravy - jednolanový lis Tensa SM 240 kN a hydraulické mini čerpadlo Paul.

Obr.4 Detail kotvenia a prechodu slučky v rebre

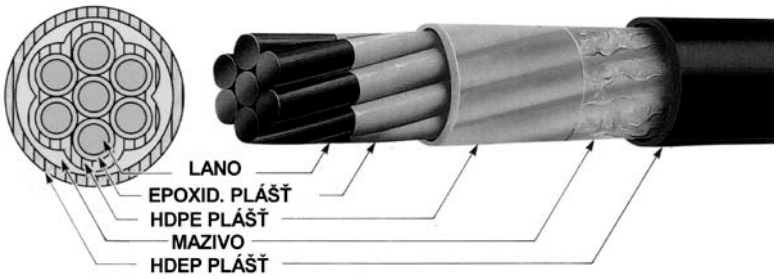


Obr.5 Konštrukcia kotvy PROJSTAR CH-1/VK

Kontrola vnesenej predpínacej sily bola pri napínaní monitorovaná pomocou magneto-elastických snímačov sily (obr.11). Snímače slúžili nielen na kontrolu veľkosti vnesenej predpínacej sily, ale aj na overenie postupu napínania lana a strát predpätia z trenia predpínacej výstuže o stenu nádrže. Distribúcia predpínacej sily po obvode nádrže odpovedala očakávaným hodnotám vypočítaným s koeficientom trenia 0,05.
Koncepciu kotvenia predpínacích lán a konštrukciu usporiadania detailov vyvinula, vyskúšala a laboratórne preukázala firma Projstar-PK, s.r.o. na výrezoch rebier skutočných rozmerov.



*Obr.6*a *Konštrukcia nesúdržného kábla* MONOSTRAND



Obr.6b Konštrukcia nesúdržného kábla MONOSTRAND s dvojitou ochranou

Technologické otvory sú väčšinou umiestnené v oblasti, kde je vysoká koncentrácia predpínacích jednotiek. Odklonenie lán sa rieši pomocou oceľových deviátorov. Na obr.7 je príklad riešenia deviácie lán Monostrand okolo väčšieho otvoru.
Deviačné sily sú zachytené oceľovými platňami hrúbky 8 – 10 mm, na ktorých sú navarené oceľové usmerňovače s pásovej ocele. Platne sú kotevné do steny nádrže pomocou kotiev do

betónu. Pri napínaní lán treba zvoliť taký postup, aby nedochádzalo k jednostrannému zaťaženiu oceľových platní.

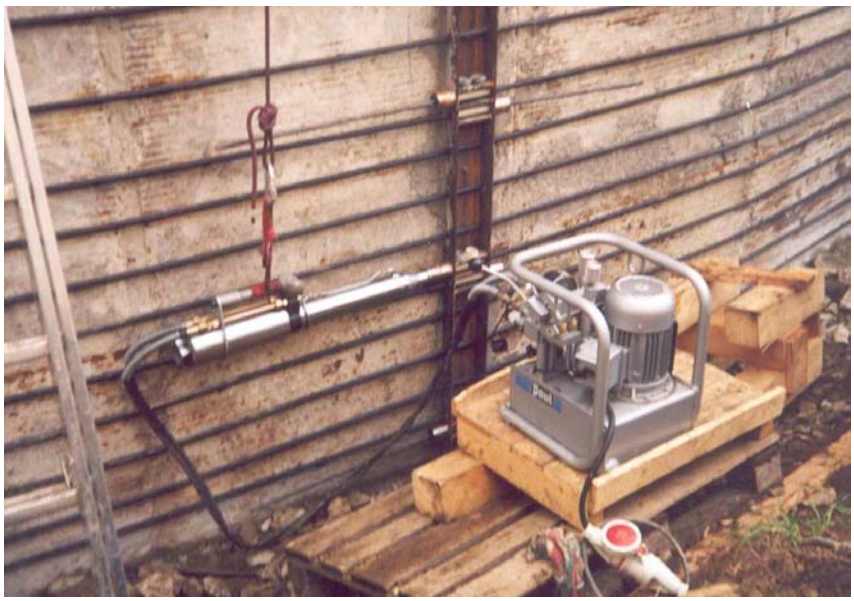
Obr.7 Deviácia lán v oblasti prestupových otvorov

2. Príklady realizácie zosilnenia nádrži vonkajším predpätím

Sanácia predpätia – prefabrikovanej sedimentačnej nádrže v Trenčíne

Na sedimentačnej nádrži v Trenčíne došlo k pretrhnutiu viacerých drôtov ovinutého drôtového predpätia, ktoré spínalo stenové prefabrikáty. Havarijný stav si vyžadoval okamžité riešenie. Nakoľko náhrada za sedimentačnú nádrž nebola a priesaky neboli veľké, bolo rozhodnuté vymeniť len predpätie. Po odstránení predpínacej výstuže boli steny nádrže očistené pomocou tlakového vodného lúča. Väčšie diery a trhliny v škárach segmentov sa vyplnili cementovou maltou. Predpínacia výstuž Monostrand bola zakotvená v dvojici rebier. Celá konštrukcia predpätia bola po predopnutí lán zakrytá oceľovou sieťovinou na ktorú sa naniesol striekaný betón (obr.8).

Obr.8 Sanácia predpätia – prefabrikovaná sedimentačná nádrž v Trenčíne



Obr.9 Predpínacia súprava PAUL

3. Monolitické železobetónové sedimentačné nádrže a reaktory

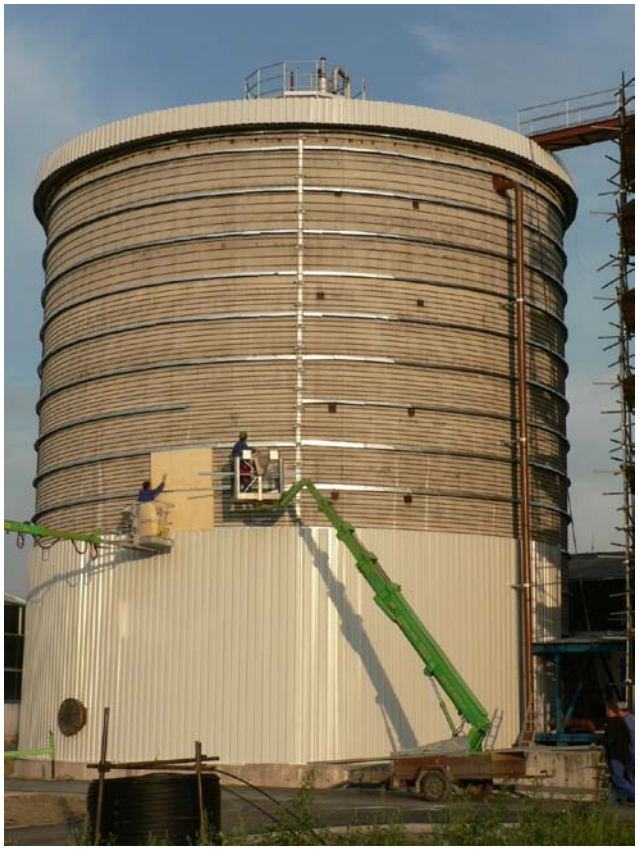
Železobetónové nádrže **ČOV v Nitre a Poprade** boli postavené v deväťdesiatych rokoch. Sú skoro tej istej konštrukcie ako nádrže ČOV v Petržalke (1), ktoré pri skúškach vodotesnosti nevyhoveli a museli byť preto zosilnené predpätím (obr.2). Vzhľadom na konštrukčnú zhodnosť a dobré skúsenosti s výsledkami sanácie a zosilňovania nádrží v Petržalke, bola prijatá ta istá koncepcia aj pri týchto nádržiach . Na kotvenie káblových slučiek boli použité 4 zvislé rebrá, ktoré veľmi dobre rozptyľujú stratu z predpätia - trenia po obvode nádrže. Ich poloha bola predurčená umiestnením technologických otvorov v stenách nádrží. Predpätie sa inštalovalo až po dôslednej sanácii oboch povrchov stien nádrží. Po silovej sanácii vonkajším predpätím nasledovalo zateplenie a opláštenie vonkajšej steny nádrže.

Obr.10 Zosilnenie nádrží ČOV v Nitre

Obr.11 Meranie strát z predpätia pomocou EM senzorov PSS 20

Obr.12 Zosilnenie nádrží ČOV v Poprade

Obr.13 Predpínanie lán Monostrand



Obr.14 Zateplenie a opláštenie nádrže v Poprade

V prípadoch zosilňovania nádrží ČOV v Trnave, Petržalke, Nitre a Popradu bola betónová konštrukcia relatívne v dobrom technickom stave. Zvislé trhliny, spôsobené hlavne zaťažením od tlaku vody, pri skúške vodotesnosti boli injektážne utesnené vhodným sanačným materiálom. Vodorovné trhliny a dutiny spôsobené zlým spracovaním betónu, ale najmä nevhodným použitím technológie posuvného debnenia, museli byť riešené radikálnejšie. Po odstránení nekompaktného betónu boli dutiny vyplnené vhodnou sanačnou maltou a tiež bola vnútorná stena natretá vhodným penetračným náterom.
Skúšky vodotesnosti, ktoré nasledovali po predopnutí predpätia boli u týchto nádrží úspešné.

Posledná várka železobetónových nádrží, čakajúcich na sanáciu, sa nachádza v **ČOV Humenné**(obr.15). Nádrže vybudované v r.1992 -1994 tou istou nevhodnou technológiou posuvného debnenia ako v predchádzajúcich prípadoch a sú na hranici opraviteľnosti. Bude to rébus najmä pre firmu, ktorá bude realizovať vyspravenie betónov stien nádrží. Rozsah porušenia, spolu s časovou degradáciu betónov a výstuže je veľký (obr.16).

Obr.15 Nádrže ČOV Humenné

Na obr.16 sú ukážky typického porušenia povrchov vonkajších stien nádrží od technologicky nezvládnutého ťahu posuvného debnenia. Pod tento zlý stav sa podpísala aj nízka kvalita betónov a viacročná odstávka nádrží vystavených korozívnemu vplyvu vonkajšieho

prostredia. Degradácia povrchových vrstiev betónu zasahuje na niektorých miestach do hĺbky cca 100 mm. Vnútorný povrch nádrží je o v niečo lepšom stave. Skutočný rozsah porušenia nádrží bude známy až po otryskaní povrchov vysokotlakým vodným lúčom.

Otvor po odbere vzorky

Obr.16 Typické poruchy vonkajších stien nádrží ČOV Humenné

4. Závery

Pri výstavbe nádrží čistiarní odpadových vôd (ČOV) sa oprávnene vyžadujú sprísnené environmentálne požiadavky. Pri nádržiach zo železobetónu sa sprísnili hľadiská na ich funkciu, vodotesnosť a plynotesnosť, pretože klasický železobetón ich nemôže spoľahlivo splniť. Riešením je dodatočne predpätý betón. Na predpínanie môžu byť použité dodatočne predpäté káble injektované cementom, alebo nesúdržné káble zostavené z lán Monostrand, ktoré nevyžadujú (nie vždy spoľahlivo vykonanú) dodatočnú cementovú injektáž. Dodatočné predpätie už vybudovaných klasických železobetónových valcových nádrží ich vonkajším ovinutím nesúdržnými lanami Monostrand vyriešilo požiadavku vodotesnosti a plynotesnosti. Uvedené riešenie možno použiť aj pre výstavbu nových nádrží. Pre prípadnú rekonštrukciu starších železobetónových valcových nádrží je uvedené riešenie ideálne.

Literatúra:

[1] Chandoga, M. a kol.: Sanácia železobetónových nádrží ČOV Petržalka, Inžinierske stavby, roč.47, 1999, č.8-9, str.285-289

[2] Chandoga, M. a kol.: Projekty zosilnenia nádrží ČOV v Petržalke, Trenčíne, Nitre, Poprade, PROJSTAR-PK, s.r.o., Bratislava 1998 až 2006

[3] Vonkajšie predpätie valcových nádrží lanami MONOSTRAND. TchP 251, PROJSTAR PK s.r.o., Bratislava, Marec 1999