

OPRAVA VNĚJŠÍHO PLÁŠTĚ CHLADICÍ VĚŽE V CHEMOPETROLU LITVÍNOV

REPAIR OF THE EXTERNAL JACKET OF THE
COOLING TOWER, CHEMOPETROL LITVÍNOV

RUDOLF HELA, LIBOR VELČOVSKÝ

*Celkový pohled
na sanovanou
chladicí věž*

*General view
of the cooling
tower under repair*

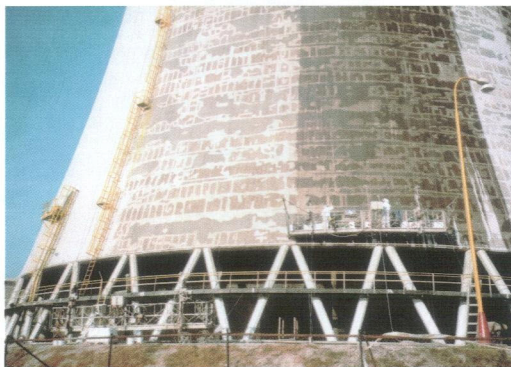
Sanace vnějšího pláště chladicí věže typu Itterson 100 m v Chemopetrolu Litvínov. Popsán je komplexní přístup k opravě včetně metod a výsledků podrobného stavebně-technického průzkumu (STP) a z toho vyplývajících požadavků na technologické postupy sanačních prací. Při STP byl zjištěn značný rozsah narušení pláště chladicí věže, která nebyla po celou dobu svého téměř 25-letého provozu v extrémních podmínkách chemického provozu opravována. Z těchto důvodů bylo nutno některé klasické sanační postupy upravit, některé konstrukce (79. pás) musely být dokonce kompletně vybourány a znovu provedeny.

Maintenance of the external jacket of a cooling tower, type Itterson 100 m in Chemopetrol Litvínov

This article describes a complex approach to the repair, including methods and results of a detailed site investigation, and the resulting demands on technological procedures of maintenance works. The site investigation revealed extensive damage to the jacket of the cooling tower which had not been repaired for its 25 years under extreme conditions of chemical operation. Therefore, some classic maintenance procedures had to be adjusted, some structures (the 79th band) had to be completely demolished and constructed again.

POPIS CHLADICÍ VĚŽE

V říjnu 1999 až květnu 2000 provedla firma BETVAR, a.s., opravu vnějšího pláště chladicí věže s přirozeným tahem typu Itterson 100 m v Chemopetrolu Litvínov. Věž je součástí souboru chladicích věží v areálu společnosti Chemopetrol, a.s., Litvínov – Záluží. Chladicí věž výšky 100,5 m je založena na kruhovém betonovém základovém pásu, který zároveň tvoří stěnu vodní nádrže. Do tohoto základu jsou vetknuty monolitické železobetonové osmiúhelníkové sloupy, které tvoří



*Aplikace
ochranných nátěrů*

*Application of
protective paints*



nosný systém věže. Tyto sloupy jsou umístěny po celém obvodu věže tak, že jsou vždy dvě skloněny proti sobě do tvaru písmene „A“. Na sloupy je osazen tahový komín chladicí věže ukončený ochozem. Plášť (tahový komín) věže je tvaru rotačního hyperboloidu o průměru 60,19 m ve spodní části, průměru 40,80 m v horní části a průměru 38,93 m v nejužším místě tahového komína. Tahový komín je železobetonový monolitický, vyrobený pomocí posuvného bednění. Maximální tloušťka je 500 mm, a to v dolní části tahového komína, od 21. pásu (číslováno odspodu) je pak tloušťka snížena cca na 130 mm a je pak zachována až k vrcholu tahového komína. Ochoz na vrcholu pláště věže je železobetonový monolitický. Slouží jednak jako ztužující konstrukce a jednak jako pochůzná konstrukce. Plášť věže byl navržen z betonu B III vyztuženého ocelí J 10 335 a V 10 425 o průměru 8,10,12,14 mm. Krycí vrstva byla navržena 20 mm.

Uvnitř věže je nosná konstrukce chladicího systému tvořená radiálně uspořádanými prvky. Svislé prvky – železobetonové sloupy paprskovitě uspořádané jsou založeny na betonových patkách umístěných ve vodní nádrži (bazénu). Vodorovné prvky – železobetonové trámy jsou uloženy ve 3 výškových úrovních. Ve spodní části chladicí věže je železobetonová monolitická vodní nádrž s odvodním potrubím a monolitickým železobetonovým rozlivným objektem. Věž byla realizována v letech 1976–1977. Současný stav betonové konstrukce chladicí věže odpovídá stáří vzhledem k prostředí chemické továrny, provozním vlivům a kvalitě provedení.

POSOUZENÍ STAVU PŘED SANACÍ – STP

Před zahájením sanačních prací byl VUT FAST Brno proveden podrobný stavebně-technický průzkum (STP) pláště chladicí věže, který měl za úkol zmapovat rozsah a typy narušení železobetonových částí. Vnější povrch pláště byl vyšetřován v 10 sjezdech a bylo prozkoumáno cca 66 % jeho povrchu. Pro jednoznačnou identifikaci porušených částí a zkušebních míst byl vnější plášť věže rozdělen na vodorovné pásy, jejichž délka byla ohraničena šířkou pracovního záběru z montážní lávky (cca 10 m) a výška byla dána výškou původního bednění (cca 1,2 m).

PŘEHLED ZJIŠŤOVANÝCH CHARAKTERISTIK A PARAMETRŮ

V rámci STP byly zjišťovány tyto charakteristiky jednotlivých konstrukcí a parametry materiálů:

Konstrukce – plošné narušení povrchové vrstvy betonu, obnažení a koroze výztuže; vady s vlivem na statiku; geometrické imperfekce a tloušťka krycí betonové vrstvy.

Beton – pevnost v tahu povrchových vrstev betonu; pevnost betonu v tlaku na vývrtech a nedestruktivně Schmidtovým tvrdoměrem; objemová hmotnost; hloubka karbonatce; povrchová nasákavost; míra koroze betonu.

Povrchová úprava – vodotěsnost povrchové úpravy.

DIAGNOSTICKÉ POSTUPY PŘI PRŮZKUMU KONSTRUKCE

Rozsah porušení povrchové vrstvy betonu a koroze výztuže – zjišťuje se vizuálně, akustickým trasováním a v sondách, na celé ploše povrchu vyšetřovaných částí konstrukcí. Podstata akustického trasování spočívá ve zjišťování lokalit s narušenou povrchovou vrstvou betonu. Po vyšetřované ploše se přejíždí trasovačem na konci opatřeným ocelovou koulí o průměru cca 45 mm. V místě narušení je při trasování zvuk dutý.

Vady s vlivem na statiku – pro vyšetřované části se zaznamená poloha a rozsah uvedených poruch, rozvětvení trhlin lmm.

Tloušťka krycí betonové vrstvy – tloušťka krycí betonové vrstvy se zjišťuje přímým měřením v sondách do vyšetřované konstrukce nebo s využitím elektromagnetické sondy PROFOMETR 4 postupem dle ČSN 73 2011.

Pevnost betonu v tlaku – byla zjišťována jednak na konstrukci (nedestruktivně), jednak v laboratoři na válcových zkušebních tělesech upravených z jádrových vývrťů odebraných z konstrukce. Pevnost v tlaku betonu byla zjišťována nedestruktivně Schmidtovým tvrdoměrem typu N. Pro upřesnění pevnosti betonu z výsledků nedestruktivního zkoušení byly odebrány z vyšetřovaných konstrukcí vývrty o $\varnothing 100$ mm.

Pevnost v tahu povrchových vrstev betonu R_t – byla zjišťována přímo na konstrukci postupem, který vychází z ČSN 73 1318, pomocí zkušebního přístroje DYNA typ Z 15.



Vybourané okno
v 79. pásku

Demolished
window in the
79th band

Nasákavost povrchových vrstev betonu – byla zjišťována na vzorcích odebraných z povrchové vrstvy o rozměru 50 x 50 mm a výšce min. 25 mm.

Vodotěsnost povrchové úpravy – byla zjišťována postupem dle ČSN 73 2578 na vzorcích odebraných z vyšetřované konstrukce.

Geometrické imperfekce – byly zjišťovány jednak geodetickým měřením, jednak při vyšetření pláště tahového komína.

Hloubka karbonatce betonu fenolftaleinovým testem h_{karb} – byla zjišťována metodou kodifikovanou v ČSN 73 1323, a to buď v sondách obdélníkového tvaru, ve kterých byl beton naříznut a odlomen do hloubky cca 30 mm nebo na betonovém prachu získaném vrtáním ruční vrtačkou do různé hloubky betonu konstrukce.

Míra degradace betonu – pro stanovení míry degradace betonu byly provedeny následující analýzy:

- chemický rozbor,
- derivatografický rozbor,
- rentgenová strukturní analýza,
- stanovení hodnoty pH betonu ve výluhu.

Vzorky pro výše uvedené analýzy byly připraveny z jádrových vývrťů po destruktivním stanovení pevnosti betonu v tlaku. Podrobný postup stanovení druhu cementu ve vzorku betonu a určení míry degradace betonu působením agresivních médií byl proveden podle metodického postupu VUT FAST, č. 30-33/1 a dle metodiky Matoušek, Drochytka.

VÝSLEDKY STAVEBNĚ-TECHNICKÉHO PRŮZKUMU

Vnější povrch pláště věže vykazoval celkové porušení betonu na 29,84 % plochy. Převážně se jedná o hloubkové porušení betonu, tj. o narušení nad 25 mm. Z celkového povrchu pláště byl beton narušen do hloubky:

- 0 – 10 mm na ploše cca 2 %,
- 11 – 25 mm na ploše cca 5 %,
- 26 – 40 mm na ploše cca 20 %,
- nad 40 mm na ploše cca 3,4 %.

Značná část narušeného betonu se nacházela nad a v okolí zkorodované výztužné oceli. Byly též zjištěny průsaky, a to na ploše cca 0,2 % z vyšetřované plochy. Hodnoty pevnosti v tahu povrchové vrstvy betonu R_t byly v 83 % případů rovné nebo větší než 1,4 MPa. Zbývající hodnoty leží v intervalu 0,2 až 1,1 MPa.

Při zkouškách došlo většinou k odtržení v povrchu betonu. První osnova výztužné oceli byla obnažena na 24,7 % z celkové délky. Povrchovou korozí bylo zasaženo cca 52 % z obnažené výztužné oceli, zbývající část byla zasažena hloubkovou korozí (28 %) a extrémní korozí (20 %). Druhá osnova výztužné oceli byla obnažena na 10,8 % z celkové délky a byla narušena převážně povrchovou korozí (cca 86 %) z obnažené výztužné oceli, zbývající část je zasažena hloubkovou korozí (12 %) a extrémní korozí (2 %). Hloubka krytí výztužné oceli betonem se pohybovala ve značně širokém intervalu (0 až 30 mm). V případě velice malé krycí tloušťky betonu dochází ke korozi výztužné oceli. Beton pláště věže je hodnocen jako nestejnorodý – vykazuje značný rozptyl pevností a byl zařazen do pevnostní třídy B 10. Beton tudíž nespĺňuje požadavky na beton pro železobetonové konstrukce. Za vady s vlivem na statiku lze považovat nízké pevnosti betonu a narušení výztužné oceli hloubkovou a extrémní korozí. Z vyhodnocení geodetického zaměření vyplývá, že tahový komín vykazuje jak lokální odchylky, tak i odchylky globálního charakteru od ideálního tvaru hyperboloidu. Nejvýznamnější globální odchylky jsou v horní části tahového komína a pohybují se řádově v desítkách centimetrů.

Míra koroze betonu – beton povrchové vrstvy (tj. beton do hloubky cca 15 mm od líce vnitřního povrchu pláště) byl převážně zařazen do druhé etapy karbonatce, tzn. že se postupně vytváří podmínky pro korozi výztužné oceli v betonu a nedochází ke zhoršování fyzikálně mechanických vlastností betonu. V betonu povrchových vrstev byl zjištěn mírně zvýšený obsah síranových iontů v porovnání s betony obdobných pevnostních tříd. Zjištěné hodnoty koncentrace síranových iontů v betonu zatím nevedou k jeho výrazné degradaci, ale jejich případné zvyšování může urychlit korozi výztužné oceli. Navíc při stavebně technickém průzkumu bylo zjištěno, že kvalita betonu 79. vrstvy je ve stavu značného narušení. Pevnosti v tlaku původního betonu byly velmi nízké. Zjištěná zaručená pevnost pláště v horní části je 7,6 MPa.

POSTUP OPRAVY

Práce byly rozděleny do tří etap. V I. etapě (21. 10. až 10. 11. 1999) byla provedena kompletní výměna betonu 79. vrstvy tahového komína chladicí věže včetně kontroly a ošetření výztuže, popř. její výměny. Druhá etapa zahrnovala sanaci betonové konstrukce 68.–80. vrstvy a opravu ochozu. Oprava spočívala v kontrole a ošetření výztuže, popř. její výměně a doplnění výztuže na vnitřním povrchu opravované části tahového komína. Ve 3. etapě byla provedena oprava betonové konstrukce zbylé části tahového komína chladicí věže (1.–67. vrstvy), návodního křídla a šikmých stojek, kontrola a ošetření výztuže, popř. její výměna, provedení ochranných nátěrů betonových konstrukcí tahového komína, ochozu, návodního křídla, šikmých stojek.

Z hlediska provádění byla nejzajímavější první etapa, tedy úplná výměna betonu 79. vrstvy tahového komína. Oprava probíhala za plného provozu chladicí věže

s krátkodobými tj. několikahodinovými odstávkami pro zabezpečení určitých pracovních činností, částečně za umělého osvětlení.

Nejprve byla provedena montáž závěsného zařízení pro lávky, montáž vnitřní a vnější lávky, zřízení čtyř pracovišť rovnoměrně rozdělených po obvodu věže. Montáž byla provedena v oblasti s vizuálně nejlepším stavem betonu tj. vedle žebříku. Z každé pozice lávek byl opraven jeden segment.

Obvod chladicí věže byl rozdělen na 50 pracovních záběrů s délkou cca 2,5 m. Maximální délka vybouraného okna byla odsouhlasena statikem a byla 2,7 m. Byly namontovány pomocné konzoly pro statické zajištění ochozu a rozvody vody a vzduchu. Konzoly statického zajištění mají za úkol dočasně přenést zatížení z ochozu vyvolané lávkami (uvažováno plné zatížení) do pláště chladicí věže. Jejich uchycení k plášti bylo provedeno kotevními šrouby osazenými do obnovených otvorů po kotevních šroubech posuvného zařízení v 76.–78. vrstvě. Po dokončení přípravných prací bylo přistoupeno k ubourání betonu v jednotlivých pracovních záběrech. Bourání bude prováděno převážně z vnější lávky pneumatickými kladivý. Kolem stávající výztuže byl beton ubouráván opatrně, aby nedošlo k jejímu přeseknutí. Byla provedena kontrola korozního úbytku výztuže, pruty s úbytkem průměru vyšším než 15 % byly nahrazeny novými. Stykování výztuže bylo prováděno svařováním elektrickým obloukem, práce byly prováděny z vnější strany pláště. Svařované pruty byly očištěny drátěnými kartáči. Dalším krokem byla stabilizace výztuže. Následně byla stávající výztuž očištěna technologií suchého pískování. Po omytí výztuže a pracovních spár betonové konstrukce vysokotlakým vodním paprskem o tlaku cca 20 MPa a oschnutí byla výztuž ošetřena pasivačním nátěrem, byly osazeny distanční tělesa na vnitřní podélnou výztuž, provedla se finální kontrola ošetření výztuže.

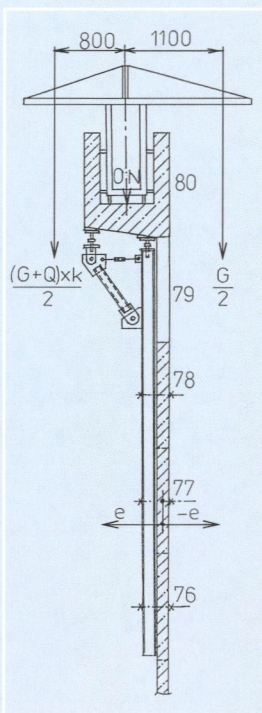
Dalším krokem bylo osazení bednění z vnitřní strany pláště. Desky bednění o velikosti 500 x 2000 mm byly zavěšeny za vnitřní ochozovou zídku, podélná převážka z hranolu s proměnnou výškou, aby kopírovala tvar věže, byla uchycena ke šroubům konzol statického zajištění ochozu.

Pracovní spáry byly ošetřeny spojovacím můstkem, bylo zkontrolováno osazení a těsnost bednění. Dále bylo provedeno nanášení hrubozrnné reprofilační malty ve třech vrstvách na celkovou tloušťku 130 mm. Konce jednotlivých záběrů byly ostře ohraničené, konce výztuže určené ke stykování zůstaly volné, nezabetonované. Po dokončení všech prací v jednom pracovním záběru byly lávky přesunuty do další pozice. Při výměně 79. vrstvy pláště tahového komína se postupovalo „šachovnicově“, tj. byl vybourán a opraven nesousedící segment.

Další etapou opravy betonové konstrukce horní části tahového komína, která proběhla v období 23. 3. – 3. 5. 2000, byla sanace betonové konstrukce 68.–80. vrstvy, kontrola a ošetření výztuže, popř. její výměna a doplnění výztuže na vnitřním povrchu opravované části tahového komína. Oprava probíhala rovněž za provozu chladicí věže s odstávkami dle

Schéma podepření ochozu CHV

Diagram of a gallery supporting of the cooling tower



technologických možností provozu odběratele a časově za umělého osvětlení Obvod chladicí věže byly rozděleny na 52 segmentů, osazeny byly čtyři dvojice lávek. S ohledem na značnou degradaci povrchových vrstev betonové konstrukce probíhala oprava ve svislých pruzích v 26 pracovních záběrech šířky dvou segmentů tj. cca 4,8 m na vnitřním a vnějším povrchu z jedné pracovní pozice lávky.

Nejprve byla provedena mechanická předúprava povrchu vnitřního a vnějšího pláště pneumatickými kladivky na výšku 68. – 78. vrstvy a neopravené části 80. vrstvy (ochozu). Postupovalo se odshora. Kolem stávající výztuže byl beton ubouráván opatrně, aby nedošlo k jejímu přeseknutí. Mechanicky byla čištěna viditelně narušená místa betonu a místa nalezená akustickou trávovací metodou (místa s dutým zvukem při poklepu). Beton nad poškozenou výztuží byl osekán za vizuálně nepoškozený povrch výztuže, popř. na konec trhliny. Viditelně narušené pracovní spáry i místa s trhlinkami byly odsekány po celé délce trhliny až na zdravý podklad.

Očištění povrchu bylo provedeno vysokotlakým vodním paprskem o tlaku cca 60 MPa rotační tryskou. Stávající výztuž byla očištěna suchým pískováním. Byla provedena kontrola korozního úbytku výztuže. Při úbytku průměru vyšším než 15 % byly pruty nahrazeny Ø V8. Stykání výztuže bylo provedeno svařováním.

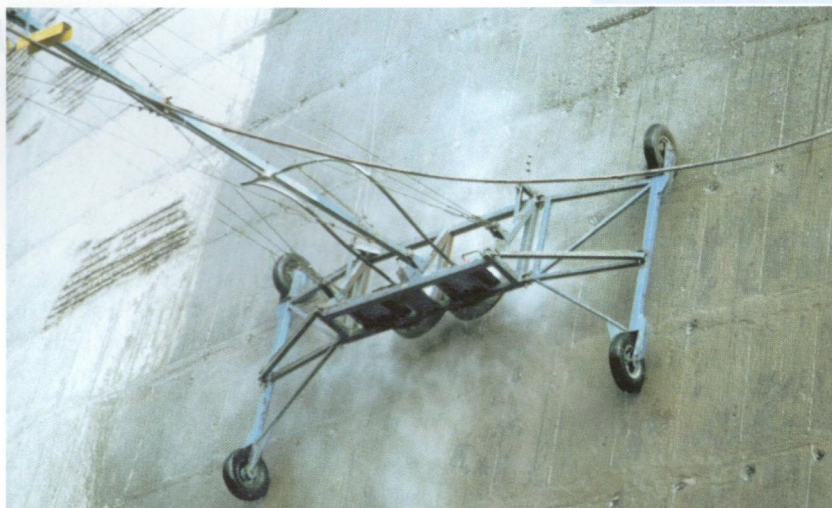
Výztuž byla ošetřena pasivačním nátěrem. V případě, že při bourání vznikly v plášti otvory, byly zastříhány obdobně jako u obnovy 79. vrstvy chladicí věže. Konstrukce po pískování byla omyta a před aplikací torkretu navlhčena. Otvory a místa s větší hloubkou narušení byly reprofilovány technologií suchého torkretu – nanesení hrubozrné reprofilační malty ve dvou až třech vrstvách. Konce záběru byly ostře ohraničené, konce výztuže určené ke stykání zůstaly volné, nezabetonované. Místa s hloubkou narušení do 10 mm byla reprofilována ručně do spojovacího můstku. Hraniční oblasti reprofilovaných ploch byly provedeny jako ostré viditelné, nebyly roztržány „do ztracena“. Provedené reprofilace byly ošetřovány vlhčením. Odpovídající podmínky pro tuhnutí a tvrdnutí malt za nízkých teplot byly zajištěny provozováním věže.

Závěrečným krokem opravy horní části tahového komína chladicí věže byla oprava ochozu. Vnější stěna ochozu byla sanována standardní technologií. Pro podlahu ochozu – vzhledem k variabilní a relativně nízké pevnosti betonu v tlaku – bylo navrženo zpevnění resp. zkompaktnění betonu injektáží. Injektáž byla, vzhledem k parametrům betonu a k charakteru konstrukce navržena i v případě sanace vnitřních stěn ochozu.

Injektáž byla provedena 20. 4. – 1. 5. 2000. Práce probíhající v rámci injektáže byly navrženy v následujících bodech: vyvrtání otvorů pro injektáž až do původního betonu, rozteč otvorů byla 200 až 300 mm. Otvory byly zainjektovány injektážní hmotou.

KONTROLNÍ ČINNOST

Metodika prováděných zkoušek plně korespondovala s „Technickými podmínkami pro přípravu a kontroly



Tlakové mytí pláště pomocí poloautomatu BETA 01

Pressure washing of the jacket using semiautomatic machine BETA 01

oprav železobetonových konstrukcí ve výrobnách ČEZ, a.s.“ V rámci kontroly sanace byly provedeny následující zkoušky: stanovení pevnosti v tahu povrchových vrstev předupraveného betonu; stanovení přídržnosti reprofilace k podkladu; stanovení pevnosti v tahu za ohybu a pevnosti v tlaku správkové malty; stanovení mrazuvzdornosti správkové malty; stanovení objemových změn správkové malty.

ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ KONTROLNÍCH ZKOUŠEK

Pevnost v tahu povrchových vrstev předupraveného betonu – výsledky se pohybovaly v intervalu 0,5 až 3,0 MPa, průměrná hodnota byla 1,2 MPa. Četnost hodnot pevnosti v tahu povrchových vrstev předupraveného betonu pod 0,8 MPa byla 19 %. Stanovení přídržnosti reprofilace k podkladu – výsledky zkoušek se pohybovaly v intervalu 0,8 MPa až 2,7 MPa, průměrná hodnota byla 1,5 MPa. Pevnosti v tahu za ohybu malty se pohybovaly v intervalu 7,04 až 10,70 MPa; hodnoty pevnosti v tlaku byly v rozmezí 46,3 až 49,2 MPa. Stanovení mrazuvzdornosti malty – po 100 zmrazovacích cyklech byly zjištěny následující charakteristiky: úbytek hmotnosti – 0,5 %; součinitel mrazuvzdornosti ohybem $\alpha_i = 91,9 \%$ a součinitel mrazuvzdornosti tlakem $\alpha_c = 93,0 \%$. Stanovení objemových změn správkové malty – při sedmidenním uložení malty v ocelovém úhelníku v definovaných podmínkách nebylo na povrchu malty zjištěno narušení trhlinami.

Článek vznikl za podpory GA ČR v rámci řešení projektu č. 103/01/10314.

Ing. Rudolf Hela CSc.

VUT FAST Brno, Ústav technologie stavebních hmot a dílců

Veveří 95, 662 37 Brno

tel.: 05 4114 7508, fax: 05 4114 7502

hela.r@fce.vutbr.cz

Ing. Libor Velčovský

BETVAR, a.s., Řehořova 42, 130 00 Praha 3

tel.: 02 627 8524-7, fax: 02 627 8525

betvar@mbox.vol.cz