EXPERTÍZNE POSÚDENIE TECHNICKÉHO STAVU OCEĽOVÝCH KONŠTRUKCIÍ SLINKOVÝCH SÍL PC1 A PC2

Z. Agócs[1], J. Brodniansky[2], M. Vanko[3], M. Slivanský[4], K. Sógel[5]

ABSTRACT

Aim of the appraisal of the technical condition of the steel structures of clinker silos PC1 and PC 2 at the HOLCIM (Slovakia) a.s., Rohožník plant was to propose actions to assure working reliability, safety and prolonging of the physical serviceable life of the silos under consideration.

1 ÚVOD

Cieľom expertízneho posúdenia technického stavu oceľových konštrukcií slinkových síl PC1 a PC2 v závode HOLCIM (Slovensko) a.s., Rohožník bolo navrhnúť opatrenia na zabezpečenie prevádzkovej spoľahlivosti, bezpečnosti a predĺženie fyzickej životnosti posudzovaných objektov (obr. 1).

Oceľové konštrukcie uvedených objektov pozostávajú z vlastného oceľového sila s priemerom 36,0 m a výškou plášťa 41,1 m, z komunikačnej veže, spojovacej lávky a nadstavby sila.

Plášť sila bol realizovaný ako tenkostenná zváraná valcová škrupina z plechov hrúbky 33 ÷ 13 mm

Obr. 1: Pohľad na slinkové silo PC2 s technológiou

[1] prof.h.c. prof. Dr. Ing. Z. Agócs, Ph.D. - Stavebná fakulta STU Bratislava, Katedra kovových a drevených konštrukcií, Radlinského 11, 813 68 Bratislava, agocs@svf.stuba.sk
[2] doc. Ing. J. Brodniansky, Ph.D., brodo@svf.stuba.sk
[3] Ing. M. Vanko, vanko@svf.stuba.sk
[4] Ing. M. Slivanský, slivansky@svf.stuba.sk
[5] Ing. K. Sógel, sogel@svf.stuba.sk

uzavretá na hornom okraji vrchlíkom kužeľovitého tvaru s výškou 9,4 m. Na dolnom okraji je plášť sila privarený na kruhový prstenec hrúbky 70 mm. Prstenec je kotvený do železobetónového základu kotevnými skrutkami.

Počas viac ako 30 ročnej prevádzky na každom sile vznikli v jeho spodnej časti dve zvislé trhliny s výškou asi 6,0 m. Pohľady na trhlinu v plášti sila PC2 v novembri 2005 sú na obr. 2 a obr. 3. Pod trhlinou v plášti bol pretrhnutý aj úložný prstenec.

Obr. 2: Pohľad na trhlinu v sile PC2 (november 2005)

Obr. 3: Pohľad na trhlinu v sile PC2 (november 2005), detail

Trhliny boli odborne opravené, plášť bol zosilnený preplátovaním plechom hrúbky 40 mm z ocele 11 353 (obr. 4 a obr. 5).

Obr. 4: Pohľad na zrealizovanú opravu v mieste poruchy slinkového sila PC2

Obr. 5: Pohľad na zrealizovanú opravu v mieste poruchy slinkového sila PC1

Príčiny porúch však neboli analyzované a nebol preukázaný vplyv excentrického pripojenia zosilňujúceho plechu na lokálnu napätosť plášťa.

2 DIAGNOSTICKÉ PREHLIADKY

Pracovníci SvF STU Bratislava v mesiacoch marec a máj 2006 vykonali podrobné diagnostické prehliadky objektov síl.

Na základe požiadavky zhotoviteľa expertízneho posudku vo februári 2006 pracovníci firmy VERTICAL urobili prehliadku vnútra sila PC1 za účelom zistenia výšky a tvaru "mŕtvych" zásob slinku v sile.

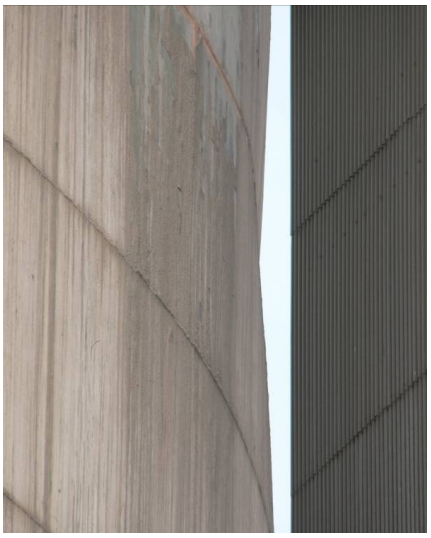
Z výsledkov diagnostických prehliadok vyplýva, že:

- výška "mŕtvych" zásob slinku v sile PC1 dosahuje až 13,8 m; mŕtva hmota je nerovnomerne rozložená pri stenách s výškou 6,6 až 13,4 m.
- namerané, skutočné hrúbky plechov najmä v spodnej časti sila sú menšie ako boli projektované. Počas prevádzky došlo k opotrebovaniu vnútornej časti plášťa a pôvodná hrúbka je zmenšená i koróznymi úbytkami. Najväčšie korózne úbytky boli zistené v styku plechov plášťa sila s úložnou doskou; skutočná hrúbka t_p =30,1 mm oproti pôvodnej 33 mm. Celkový úbytok tu predstavuje až 3 mm (obr. 6).
- pevnosť ocele plášťa sila, zistená nedeštruktívnou metódou, skúškou tvrdosti dynamickým tvrdomerom dosahuje len 421 ÷ 435 MPa oproti očakávanej 520 MPa (oceľ triedy "52"), teda len 81 ÷ 84 %. Skutočné mechanické a technologické vlastnosti materiálu plášťa možno zistiť len pomocou skúšobných vzoriek odobraných z plášťa síl.

V rámci diagnostikovania bolo urobené geodetické a fotogrametrické priestorové zameranie skutočného tvaru plášťa slinkových síl.

- rozdiel výšok spodného oceľového prstenca pri sile PC1 je -4,0 až 50,0 m; horná hrana základového pásu nie je vodorovná. Pri sile PC2 prstenec nebol prístupný pre kontrolu.
- boli zistené odchýlky od teoretického polomeru plášťa r = 18,0 m v rôznych výškach. Pri sile PC1 maximálne odchýlky dosahujú hodnoty –76 mm (do vnútra sila) až +105 mm (von zo sila) – obr. 7.

Obr. 6: Súčasný stav kotvenia sila a železobetónových základových konštrukcií



Obr. 7: Lokálna deformácia plášťa sila PC1

3 KONTROLNÉ STATICKÉ VÝPOČTY

3.1 Zaťaženie konštrukcie slinkového sila

Zaťaženie konštrukcií síl a kombinácie jednotlivých zaťažovacích účinkov boli uvažované v zmysle normy STN 73 0035 - Zaťaženie stavebných konštrukcií a STN 73 5570 - Navrhovanie konštrukcií zásobníkov.

Uvedené zaťažovacie účinky boli doplnené a upresnené po konzultácii s objednávateľom posudku (nerovnomerné napĺňanie a vyprázdňovanie konštrukcie slinkových síl, tepelnotechnický režim konštrukcie a pod.).

Stále zaťaženie:
- vlastná tiaž konštrukcie oceľového sila
- tiaž priľahlých technologických zariadení

Náhodilé zaťaženie:
- vodorovný tlak náplne na steny (rovnomerné aj nerovnomerné rozloženie)
- zvislý účinok na steny sila vyvolaný trením náplne
- slinok usadený na plášti slinkového sila
- zaťaženie vetrom
- teplotné zaťaženie (rovnomerný nárast aj pokles teploty, nerovnomerné rozloženie teploty na plášti sila)

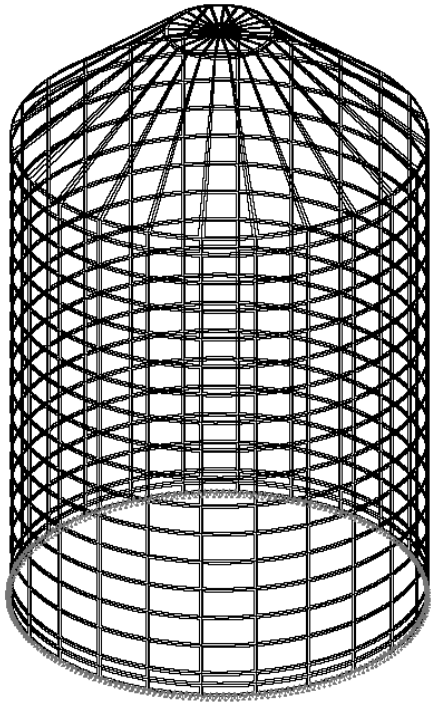
Účinky náplne boli stanovené na základe nasledovných vstupných parametrov skladovaného slinku:
- objemová tiaž slinku 1500 kg/m^3
- uhol vnútorného trenia slinku 36°

3.2 Výpočtový model

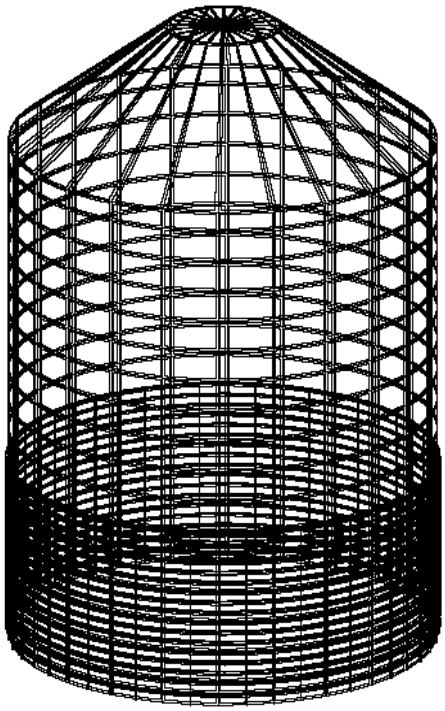
Cieľom výpočtu bolo posúdiť existujúce konštrukcie slinkových síl, stanoviť možné príčiny vzniknutých porúch a navrhnúť potrebné úpravy predmetných konštrukcií slinkových síl. Nosné konštrukcie síl boli posudzované z hľadiska medzného stavu únosnosti a medzného stavu použiteľnosti. Výsledky výpočtu tiež slúžili ako vstupné parametre pre posúdenie základových konštrukcií.

Výpočet bol vykonaný pomocou programu firmy SCIA IDA NEXIS 32, 3.60.15. Na výpočet bol použitý priestorový dosko – stenový model oceľovej konštrukcie plášťa slinkových síl.

Napätosť konštrukcie bola vyhodnocovaná na základe metódy porovnávacích napätí pre vonkajší a vnútorný povrch oceľového plášťa konštrukcie sila. Maximálne napätia boli vypočítané pre existujúci stav konštrukcie (obr. 8) a tiež pre zosilnenú konštrukciu (obr. 9).



Obr. 8: Model pôvodnej konštrukcie MKP



Obr. 9: Model zosilnenej konštrukcie MKP

3.3 Vyhodnotenie výsledkov kontrolného statického výpočtu

Z výsledkov kontrolného statického výpočtu vyplýva, že:

- maximálne porovnávacie napätie v konštrukcii v prípade rovnomerného plnenia a vyprázdňovania sila neprekračuje hodnotu výpočtovej únosnoti použitého materiálu sila.
- v prípade započítania predpokladaných teplotných účinkov nerovnomerného ohriatia vnútorného a vonkajšieho povrchu je maximálne porovnávacie napätie v konštrukcii na úrovni hodnoty výpočtovej únosnosti použitého materiálu sila.
- pri nerovnomernom plnení a vyprázdňovaní (pre úroveň zaťaženia podľa alt.1 a alt.2) je v oboch prípadoch prekročená hodnota výpočtovej únosnosti 1,5 až 2,0 násobne, čo znamená, že existujúca konštrukcia pre dané zaťažovacie účinky nevyhovuje.
- v prípade započítania teplotných účinkov je výpočtová únosnosť materiálu prekročená až 2,5 násobne.

Zosilnením pôvodnej konštrukcie slinkového sila sústavou prstencov a zvislých výstuh sa v zosilňovanom úseku dosiahne výrazné zníženie úrovne maximálneho porovnávacieho napätia v plášti konštrukcie.

- napätia v konštrukcii neprekračujú výpočtovú únosnosť materiálu sila ani v prípade nerovnomerného plnenia a vyprázdňovania a zohľadnení teplotných účinkov.
- je nutné však obmedziť nerovnomeré napĺňanie a vyprázdňovanie náplne sila na výškový rozdiel maximálne 7,0 m do úrovne 30,0 m.

4 NÁVRH ZOSILNENIA PLÁŠŤA SÍL PC1 A PC2

Na základe výsledkov kontrolného statického výpočtu budú oceľové plášte valcových síl dodatočne vystužené sústavou kruhových horizontálnych a priamych vertikálnych výstuh do výšky 15,13 m nad úložným prstencom. Zosilňujúce výstuhy budú privarené na vonkajší povrch plášťa síl.

V oblasti zosilnenia bude uzavretá valcová škrupina pôsobiť ako ortotropná (ortogonálne anizotropná) doska, čím sa znížia napätia na požadované hodnoty. Zvislá vzdialenosť medzi vodorovnými výstuhami v spodnej časti sila je 2 x 925 mm, v hornej časti 16 x 830 mm. Všetky zosilňujúce prvky sú navrhnuté z ocele S 355, celková spotreba na zosilnenie jedného sila je 181,14 t.

LITERATÚRA

[1] STN 730035. Zaťaženie stavebných konštrukcií

[2] STN 731401. Navrhovanie oceľových konštrukcií

[3] STN 731580. Hodnoty statických veličín prierezu tvaru I, H, U, L, T, rúrok a lán

[4] Základový plán výkres č. 38 (Keramoprojekt, PIO Trenčín, 1973)

[5] Výkres tvaru základov a tunela, výkres č. 51 a (Keramoprojekt, PIO Trenčín, 1973)

[6] 16.01-1-Slinkové silo. Architektúra stavebné riešenie. Výkres č. 7 (Keramoprojekt, PIO Trenčín, 1973)

[7] Technická správa ku KPR-OK. 16.01.1 Slinkové silo Keramoprojekt, Trenčín, 1973 str. 6

[8] Technická správa ku KPR arch. – stav riešenia 16.01.1 – slinkové silo Keramoprojekt, Trenčín, 1973

[9] POSTUP SVAŘOVANÍ, Prasklina na slinkovom sile Ø 36m. Přerov, 2005, 4 str.

[10] Holcim (Slovensko) a. s. Rohožník, topografický náčrt stavu „mŕtvych“ zásob slinka v slinkovom sile, VERTICAL, február 2006

[11] Navrhovanie oceľových konštrukcií, 2 časť, Alfa/SNTL, 1985

[12] Projekt pre stavebné povolenie. C. Technologická časť. PS26.01.1 Odber, doprava a skladovanie slinku. 1.1 výrobné zariadenia. UNIPID Trade s. r. o, Trenčín, marec 1999