

# SANÁCIA SLINKOVÝCH SÍL V OBJEKTE FIRMY HOLCIM (Slovakia) a.s., Rohožník

Z. Agócs<sup>1</sup> - J. Brodniansky<sup>2</sup> - R. Ároch<sup>3</sup> - M. Slivanský<sup>4</sup>

## 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 uzavretá na hornom okraji vrchlíkom kužeľovitého tvaru s výškou 9,4 m. Na dolnom okraji je plášť sila



Obr. 1: Pohľad na slinkové silo PC2 s technológiou

<sup>1</sup> 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

<sup>2</sup> doc. Ing. J. Brodniansky, Ph.D., brodo@svf.stuba.sk

<sup>3</sup> Ing. R. Ároch, aroch@svf.stuba.sk

<sup>4</sup> Ing. M. Slivanský, slivansky@svf.stuba.sk

privarený na kruhový prstenec hrúbky 70 mm. Prstenec je kotvený do železobetónového základu kotevnými skrutkami.

Počas viac ako 30 ročnej prevádzky vznikli na každom sile 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 odborné 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 až august 2006 vykonali podrobné diagnostické prehliadky objektov síl.

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

Z výsledkov diagnostických prehliadok vyplýva, že:

- výška "mŕtvych" zásob slinku v síle PC1 dosahuje úroveň 13,8 m; mŕtva hmota je nerovnomerne rozložená pri stenách do výšky 6,6 až 13,4 m.
- namerané, skutočné hrúbky plechov najmä v spodnej časti síla 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 síla 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 síla, zistená nedeštruktívnou metódou, skúškou tvrdosti dynamickým tvrdomerom dosahuje len  $421 \div 435$  MPa oproti očakávanej 520 MPa (ocel triedy "52"), teda len  $81 \div 84$  %. Skutočné mechanické a technologické vlastnosti materiálu plášťa boli určené pomocou laboratórnych skúšok na vzorkách odobraných z plášťa síl. Laboratórne skúšky preukázali kvalitu materiálu  $f_y = 355$  MPa. Z výsledkov chemického rozboru a mechanických skúšok však vyplýva, že sa jedná o krehký materiál s nedostatočnou húževnatosťou a ťažnosťou.

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

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



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



Obr. 7: Lokálna deformácia plášťa síla PC1

### 3 KONTROLNÉ STATICKÉ VÝPOČTY

#### 3.1 Zaťaženie konštrukcie slinkového sila

Zaťažovacie účinky boli na základe požiadavky objednávateľa a posudku stanovené na základe nasledujúcich technických noriem a predpisov.

Výpočet účinkov zaťaženia od skladovaného materiálu – podľa DIN 1055 (rok 1987), časť 6:

- |                                      |  |
|--------------------------------------|--|
| – Skladovaný materiál                | cementový slinok                         |
| – Objemová tiaž                      | $\gamma' = 18.0 \text{ kN} / \text{m}^3$ |
| – Súčiniteľ horizontálneho zaťaženia | $\lambda = 0.5$                          |
| – Súčiniteľ trenia (čl. 3.1.3)       | $\mu = \mu_2 = 0.55$                     |
| – Súčiniteľ vyprázňovania            | $e_h = 1.2$                              |
| – Súčiniteľ sypného materiálu        | $\beta_G = 0.7$                          |

Účinky teploty:

- podľa skutočných nameraných hodnôt poskytnutých firmou HOLCIM

Nerovnomerný pokles základov:

- modelovanie nerovnomerného poklesu (sadnutia) základových konštrukcií bolo vykonané v tvare funkcie „kosínus“, pričom hodnota maximálnej amplitúdy sa stanovila na základe geodetického merania

Ostatné zaťažovacie účinky:

- tieto zaťažovacie účinky boli stanovené na základe STN 73 0035 (r. 1980) – Zaťaženie stavebných konštrukcií

#### 3.2 Stanovenie napätosti

Súčinitele zaťaženia a súčinitele kombinácií:

- tieto hodnoty boli stanovené na základe STN 73 0035 – Zaťaženie stavebných konštrukcií

#### 3.3 Posúdenie ocelevej konštrukcie síl

Pevnostné posúdenie:

- bolo vykonané v zmysle noriem STN 73 5570 (r. 1978) – Navrhovanie konštrukcií zásobníkov a STN 73 1401 (r.1997) – Navrhovanie oceľových konštrukcií

Stabilitné posúdenie:

- bolo vykonané v zmysle normy STN 73 1401 (r. 1984) – Navrhovanie oceľových konštrukcií



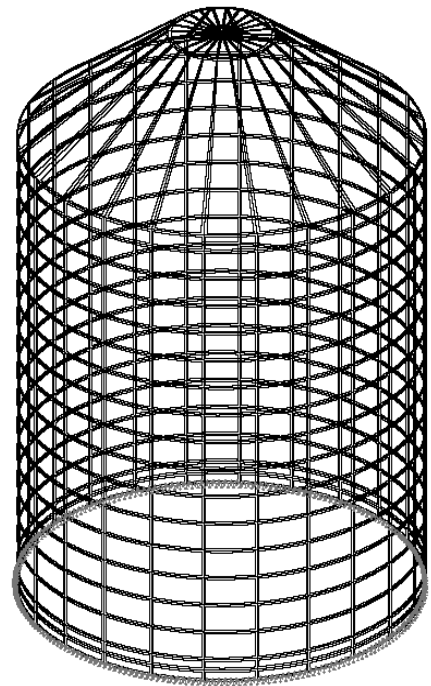
### 3.4 Výpočtový model

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.

Predbežný výpočet existujúcej konštrukcie bol vykonaný na zjednodušenom modeli sila na základe teórie pružnosti s ohľadom na vznik čisto membránovej napätosti.

Podrobný výpočet bol vykonaný pomocou programu firmy SCIA IDA NEXIS 32. Na výpočet bol použitý priestorový dosko – stenový model ocelevej konštrukcie plášťa slinkových síl. Dosaiahnuté výsledky sa dobre zhodovali.

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



Obr. 8: Model pôvodnej konštrukcie MKP

### 3.5 Vyhodnotenie výsledkov kontrolného statického výpočtu

Z výsledkov kontrolného statického výpočtu existujúcej konštrukcie vyplýva, že:

- maximálne porovnávacie napätie v konštrukcii v prípade rovnomerného vyprázdňovania sila je na úrovni hodnoty výpočtovej únosnosti použitého materiálu sila, konštrukcia však nevyhovuje z hľadiska posúdenia stability plášťa sila.
- v prípade započítania predpokladaných účinkov poklesu vonkajšej teploty a nerovnomerného sadnutia základových konštrukcií je prekročená hodnota výpočtovej únosnosti 1,2 až 1,5 násobne, čo znamená, že existujúca konštrukcia pre dané zaťažovacie účinky nevyhovuje.
- pri nerovnomernom vyprázdňovaní sila (skutočný tvar zásob slinku, podľa zamerania tvaru mŕtvych zásob) a započítaní účinkov poklesu vonkajšej teploty a nerovnomerného sadnutia je prekročená hodnota výpočtovej únosnosti 2,5 až 3,0 násobne, čo znamená, že existujúca konštrukcia pre dané zaťažovacie účinky nevyhovuje.

Predpokladané príčiny vzniku porúch na ocelevej konštrukcii opláštenia síl:

- narušenie optimálneho stavu membránovej napätosti geometrickou nesymetriou zaťaženia, t.j. nerovnomerné vyprázdňovanie sila a vznik nerovnomerne rozložených „mŕtvych“ zásob slinku.
- nerovnomerné sadanie základových konštrukcií pri naplňaní a vyprázdňovaní síl spôsobujúce vznik prídavných napätí v ocelevom plášti.
- nedodržanie projektovanej triedy ocele pri dodávke ocelevej konštrukcie opláštenia sila.

#### **4 SANÁCIA PORÚCH A ZABEZPEČENIE SPOLEHLIVOSTI KONŠTRUKCIE, NÁVRH ZOSILNENIA PLÁŠŤA SÍL PC1 A PC2**

Pri nezabezpečení dodatočných sanačných opatrení sa odporúčalo objednávateľovi posudku naplnenie objemu konštrukcie síl na úroveň maximálne 60 % z celkového objemu sila (60 000 ton).

Pri vyprázdňovaní síl musí byť aj v po vykonaní sanačných opatrení zabezpečená symetria rozloženia skladovaných zásob slinku. Vyprázdňovanie objemu síl jediným excentrickým je neprípustné.

Na základe výsledkov kontrolného statického výpočtu bolo navrhnutých niekoľko variantných riešení zosilnenia ocelového plášťa valcových síl:

- zosilnenie ocelového plášťa sústavou kruhových horizontálnych a priamych vertikálnych výstuh. Zosilňujúce výstuhy budú privarené na vonkajší povrch plášťa síl.
- zosilnenie ocelového plášťa sústavou zosilňujúcich prstencových pásov a priamych vertikálnych výstuh. Zosilňujúce výstuhy a pásy budú privarené na vonkajší povrch plášťa síl.
- zníženie úrovne namáhania ocelového plášťa prostredníctvom vnútorného železobetónového prstenca.

Zhotoviteľ posudku navrhol uskutočniť definitívnu optimalizáciu vystuženia alebo prípadnú modifikáciu spôsobu zosilnenia až po konzultácii so všetkými zúčastnenými stranami.

#### **OZNÁMENIE**

V tomto príspevku sú publikované niektoré výsledky riešenia výskumnej úlohy 1/3317/06 podporovanou Vedeckou grantovou agentúrou MŠ SR a SAV (VEGA).

#### **LITERATÚRA**

- [1] Príslušné technické normy a predpisy
- [2] 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
- [3] Navrhovanie ocelových konštrukcií, 2 časť, Alfa/SNTL, 1985
- [4] Holcim (Slovensko) a. s. Rohožník, topografický náčrt stavu „mŕtvych“ zásob slinku v slinkovom sile, VERTICAL, február 2006
- [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