

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

Z. Agócs¹ - J. Brodniansky² - R. Ároch³ - M. Slivanský⁴

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 kuželovitého tvaru s výškou 9,4 m. Na dolnom okraji je plášť sila



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. R. Ároch, Ph.D., aroch@svf.stuba.sk

⁴ Ing. M. Slivanský, slivansky@svf.stuba.sk

privarený na kruhový prstenec hrúbky 70 mm. Prstenec je kotvený do železobetónového základu kotevnými skrutkami. Kapacita jedného sila je 60 000 t slinku.

Počas viac ako 30 ročnej prevádzky vznikli na každom sila 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 sila PC2 (november 2005)



Obr. 3: Pohľad na trhlinu v sila 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). Príčiny porúch však neboli analyzované.



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



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

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. Celkový úbytok predstavuje 1 mm až 3 mm (obr. 6).
- predbežná pevnosť ocele plášťa síla bola zistená nedeštruktívnou metódou, skúškou tvrdosti dynamickým tvrdomerom. 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 ide o krehký materiál s nedostatočnou húževnatosťou a ťažnosťou.

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

Z výsledkov geodetického zameranie vyplýva, že:

- 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 STATICKÉ POSÚDENIE SILA

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 sypaného 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 $\pm 10 \text{ mm}$

Ostatné zaťažovacie účinky:

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

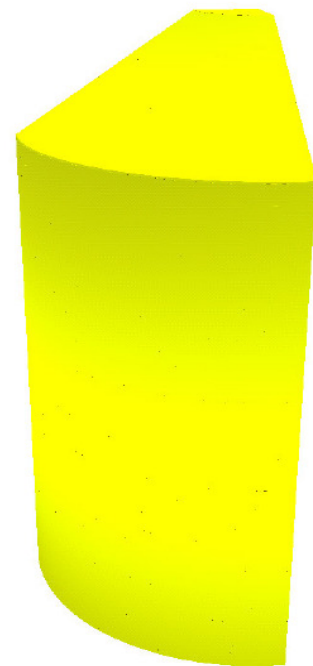
3.2 Výpočtový model

Geometrický systém nosnej konštrukcie slinkového sila:

- priemer sila = 36,0 m
- výška steny sila = 41,1 m
- výška vrchlíka = 9,4 m
- celková výška sila = 50,5 m

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.

Predbežný statický výpočet pôvodnej konštrukcie bol vykonaný na základe teórie technickej a matematickej pružnosti v programe MathCad za predpokladu vzniku čisto membránovej napätosti.



Obr. 8: Model pôvodnej konštrukcie MKP

Podrobný pevnostný výpočet bol urobený pomocou programu firmy SCIA IDA NEXIS 32, 3.60.15. Na výpočet bol použitý priestorový dosko – stenový model ocelevej konštrukcie opláštenia slinkových síl. Pre zvýšenie efektivity výpočtu bola využitá rotačná geometrická symetria konštrukcie, a plášť konštrukcie sila bol modelovaný ako kruhový výsek v rozsahu 90°.

Výsledky predbežného a podrobného výpočtu pôvodnej konštrukcie sa veľmi dobre zhodovali.

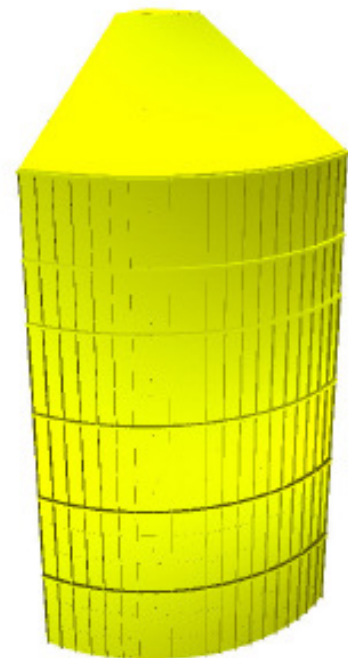
3.3 Výsledky výpočtu

Napätosť konštrukcie bola vyhodnocovaná na základe metódy porovnávacích napätí. Maximálne napätia boli vypočítané pre existujúci stav konštrukcie a tiež pre novonavrhovanú zosilnenú konštrukciu.

3.4 Vyhodnotenie výsledkov výpočtu a závery

Kontrolný prepočet pôvodnej konštrukcie slinkového sila preukázal, že maximálne porovnávacie napätie v konštrukcii pri zohľadnení možných zaťažovacích účinkov a ich kombinácií prekračuje v určitých častiach plášťa sila návrhovú pevnosť materiálu sila S 355:

- v prípade rovnomerného vyprázdňovania sila je maximálne porovnávacie napätie na úrovni hodnoty návrhovej 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 návrhovej 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 návrhovej únosnosti 2,5 až 3,0 násobne, čo znamená, že existujúca konštrukcia pre dané zaťažovacie účinky nevyhovuje.



Obr. 9: Model zosilnenej konštrukcie MKP

Zosilnením pôvodnej konštrukcie slinkového sila sústavou prstencov a zvislých výstuh sa dosiahlo postačujúce zníženie úrovne maximálneho porovnávacieho napätia v plášti konštrukcie. To znamená, že maximálne porovnávacie napätia na zosilnenej konštrukcii a jej nových častiach (výstužné prvky) neprekračujú návrhovú pevnosť materiálu sila S 355.

4 STABILITNÉ POSÚDENIE SILA

Stabilitné posúdenie sa urobilo podľa slovenskej technickej normy STN 73 1401:1984, podľa prílohy VI Vydúvanie stien rotačných škrupín.

Táto príloha zahrňuje rozličné prípady namáhania. Pre posúdenie sila boli použité nasledovné prípady:

- uzavretá kruhová valcová škrupina zaťažená rovnomerným tlakom v smere povrchových priamok – Príloha normy VI.1 (prípado A).
- uzavretá valcová škrupina zaťažená súčasne rovnomerným tlakom v smere povrchových priamok a vnútorným rovnomerným tlakom – Príloha normy VI.5 (prípado B).
- kruhová valcová škrupina s pozdĺžnymi výstuhami vo vzdialenosti b , zaťažená rovnomerným tlakom v smere povrchových priamok – Príloha normy VI.3 (prípado C).
- valcový panel šírky „ b “ podoprený po obvode, zaťažený rovnomerným tlakom v smere povrchových priamok – Príloha normy VI.2 (prípado D).

4.1 Nevystužená škrupina s vnútorným tlakom

Posudzovala sa podľa prípadu B. Silo zaťažené slinkovou náplňou, nerovnomerným poklesom podpôr a zmenou teploty do 2/3 svojej výšky nevyhovovalo.

4.2 Škrupina s pozdĺžnymi výstuhami (bez vnútorného tlaku)

Posudzovala sa podľa prípadu C. Bol použitý nasledovný algoritmus:

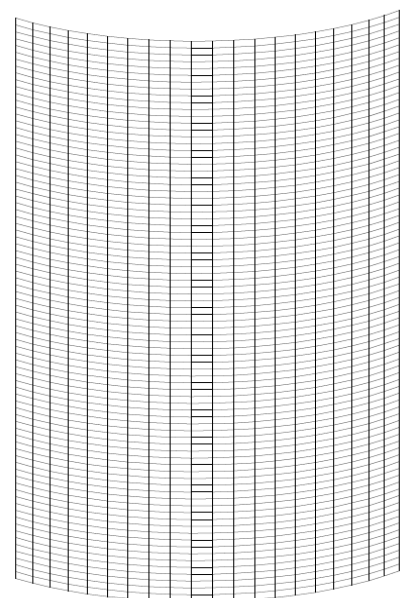
- najprv sa posúdil panel, podopretý po obvode, podľa prípadu D. Posúdenie sa robí jedným z troch prípadov - panel sa posúdi ako nevystužená škrupina (podľa prípadu A), panel sa posúdi ako zakrivená stena (podľa prípadu D) alebo sa panel posúdi ako rovinná stena (podľa Kapitoly VII – Únosnosť stien pri vydúvaní).

Silo zaťažené slinkom, nerovnomerným poklesom podpôr a zmenou teploty v strednej časti výšky nevyhovovalo. Je to preto, lebo priaznivý vplyv vnútorného tlaku sa nevzal do úvahy (STN neobsahuje tento prípad). Preto sa ako výsledná únosnosť s ohľadom na stabilitné posúdenie uvažovala vyššia hodnota z:

- únosnosti vystuženej škrupiny bez vnútorného tlaku.
- únosnosti nevystuženej škrupiny s vnútorným tlakom (ale s napätiami na vystuženej škrupine).

4.3 Pozdĺžne výstupy

Pozdĺžne výstupy sa posúdili ako prútové prvky na kombináciu namáhania ohybovým momentom a osovým tlakom. Priebeh ohybových momentov sa určil na priestorovom prútovom modeli, ktorý zohľadnil priaznivý účinok radiálneho ťahu namodelovaním “fiktívnych” prstencov. Radiálny ťah mal priaznivý vplyv na priebeh ohybových momentov a na vzperné dĺžky pozdĺžnych



Obr. 10: Prútový model zosilnenej konštrukcie MKP

výstuh. Vzperné dĺžky určili stabilitným výpočtom na spomínanom prútovom modeli (obr. 10).

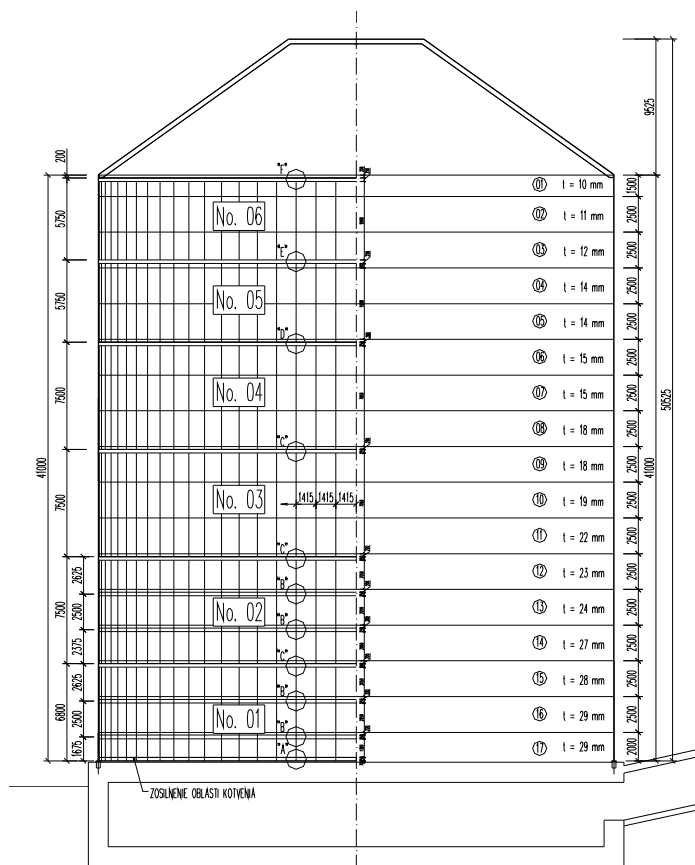
4.4 Horizontálne výstuhy

Horizontálne výstuhy musia mať dostatočnú tuhosť, aby podopierali zakrivené panely a pozdĺžne výstuhy. Ich rozmery sa určili podľa publikácie Buckling of Steel Shells, European Recommendations, ECCS 1998.

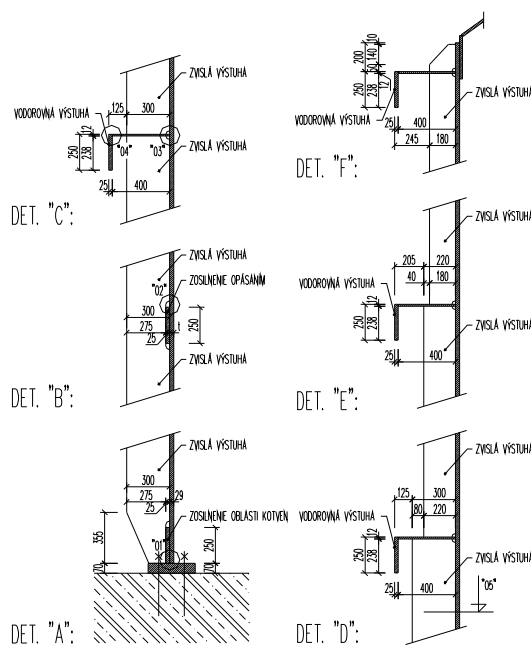
5 NÁVRH ZOSILNENIA PLÁŠŤA SÍL

5.1 Konštrukčné riešenie

Navrhnuté zosilnenie plášťa síl je vykreslené na obr. 11 a obr. 12. Oceľové plášte síl budú zosilnené sústavou zvislých výstuh a vodorovných prstencov. Po zosilnení cylindrický plášť bude pôsobiť ako ortotropne vystužená škrupina.



Obr. 11: Konštrukčné riešenie zosilnenej konštrukcie



Obr. 12: Detaily zosilnenej konštrukcie

Vodorovné prstence sa delia na primárne a sekundárne. Primárne prstence majú tvar uholníka a sú vytvorené zo steny (400.12 - 115768) a pásnice (250.25 - 115768). Celkovo ide o päť medziľahlých prstencov a jeden horný prstenec, ktorý bude umiestnený tesne pod úrovňou

strešnej časti sila. Sekundárne prstence sú z plochej ocele 250.25 – 113154. Dolný prstenec je umiestnený nad úložným prstencom, ďalšie 4 sekundárne prstence sú vždy min. 200 mm pod existujúcim vodorovným zvarom. Táto zásada platí aj pre umiestnenie hlavných vodorovných prstencov.

Zvislé výstupy sú navrhnuté z plochej ocele s premennými dimenziami. Budú rozmiestnené po vonkajšom obvode sila (celkom 80 ks) v osových vzdialenostiach ~ 1415 mm. Ich min. vzdialenosť od pôvodných zvislých zvarov je 150 až 200mm.

Navrhované dimenzie zvislých výstuh (smerom hore od úložného prstenca):

- 1. časť 300.30 (~ 7500mm)
- 2. časť 300.30 (~ 7500mm)
- 3. časť 300.30 (~ 7500mm)
- 4. časť 300.25 (~ 7500mm)
- 5. časť 220.22 (~ 5750mm)
- 6. časť 180.16 (~ 5750 mm)

Celková predpokladaná spotreba ocele S 355 na zosilnenie plášťa jedného sila je 300 t.

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 oceľových konštrukcií, 2 časť, Alfa/SNTL, 1985

[4] Holcim (Slovensko) a. s. Rohožník, topografický náčrt stavu „mŕtvych“ zásob slinka v slinkovom silo, 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

[9] ZoD 104 – 023 – 06 Expertízne posúdenie technického stavu oceľových konštrukcií slinkových síl PC1 a PC2, SvF – STU Bratislava, apríl 2006

[10] ZoD 104 – 291 – 06 Návrh sanácie slinkových síl PC1 a PC2 v závode Holcim (Slovensko) a.s., Rohožník, SvF – STU Bratislava, december 2006