

PRÍKLADY EXPERTÍZ OCEĽOVÝCH KONŠTRUKCIÍ

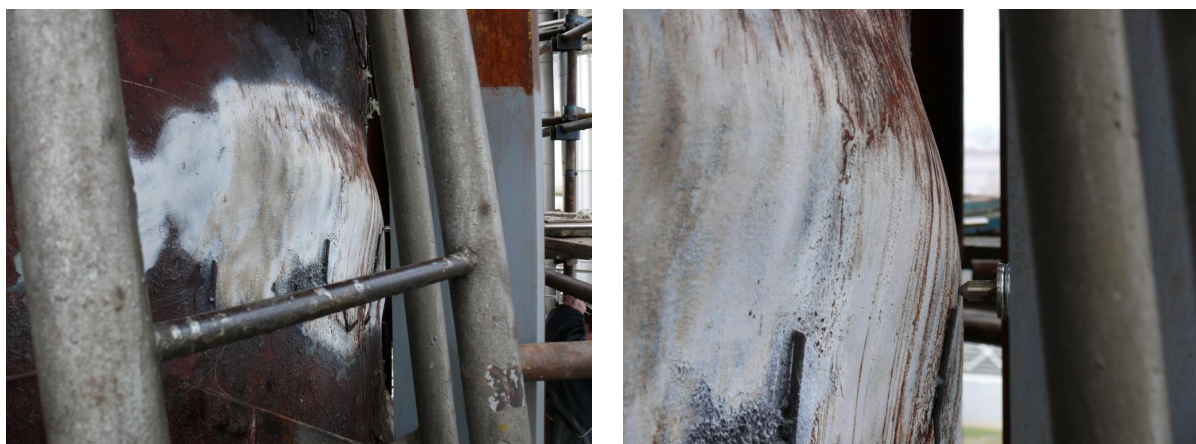
Z. Agócs, J. Brodniansky, R. Ároch, M. Slivanský

STU Bratislava – Stavebná fakulta

Katedra kovových a drevených konštrukcií

1. EXPERTÍZNY POSUDOK PORUŠENÉHO PLÁŠŤA KOLÓNY C2

Po lokálnom prehriatí plášťa kolóny na teplotu 850 – 900 °C počas prehliadky dňa 19. 10. 2006 v hornej časti kolóny, tesne nad redukciou kolóny boli zistené dve veľké deformácie plášťa (tzv. faldy) oproti sebe (severovýchod – juhozápad). Deformácie dosahovali odchýlku od pôvodného tvaru plášťa 80 až 100mm v dĺžke asi 500mm vedené naprieč dole v dĺžke približne 2,0m (obr. 1).



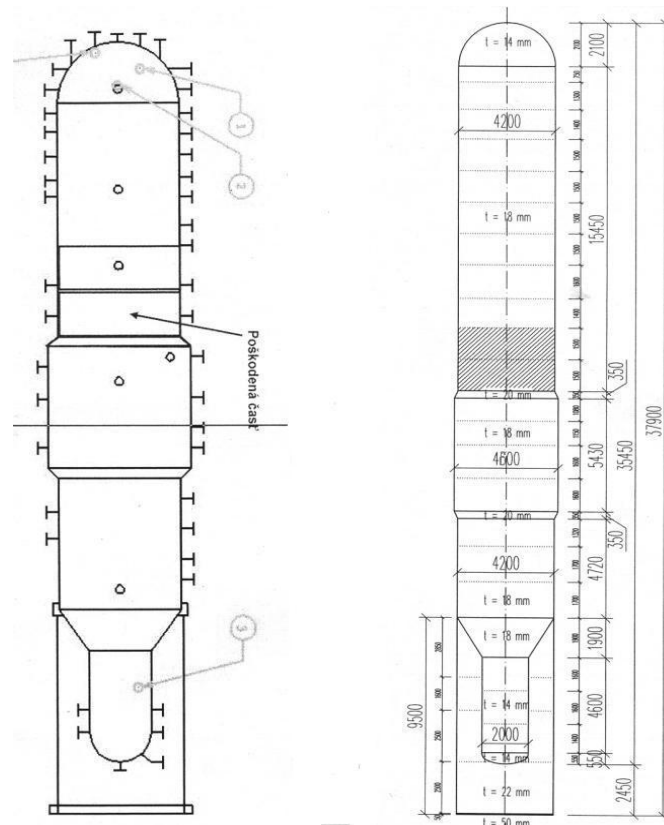
Obr. 1 Rozsah lokálneho vydutia steny a detailný záber na poruchu

Cieľom expertízneho posudku bolo analyzovať vplyv lokálnych deformácií na medzný stav únosnosti a použiteľnosti a navrhnúť potrebné úpravy na zabezpečenie prevádzkovej spoľahlivosti a bezpečnosti nosnej konštrukcie kolóny C2.

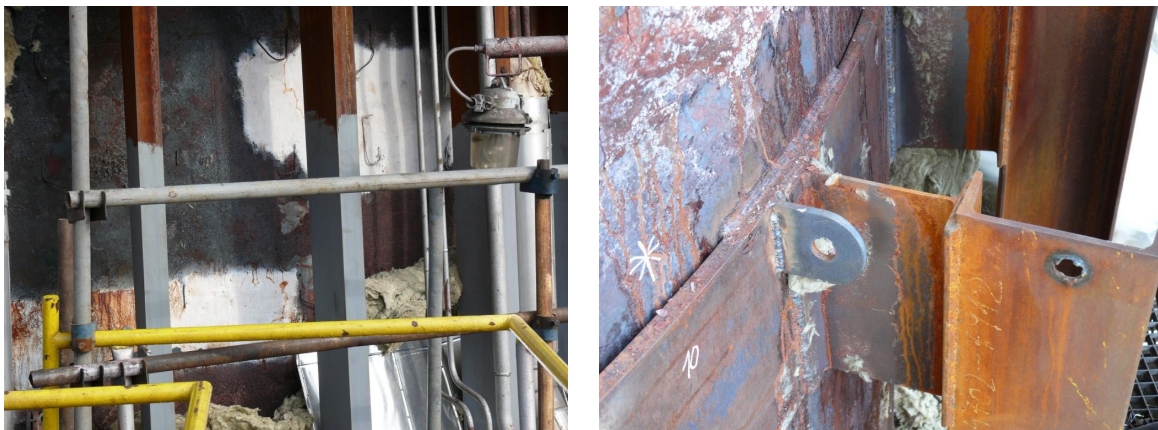
Oceľová nosná konštrukcia kolóny C2 je tvorená valcovou škrupinou ukončenou guľovým vrchlíkom s polomerom $r = 2,1\text{m}$. Celková výška kolóny je 37,9m, priemer $d_1 = 4,2\text{m}$ resp. $d_2 = 4,6\text{m}$ (obr. 2).

K poškodeniu plášťa kolóny C2 došlo v dôsledku lokálneho prehriatia nad redukciou priemeru kolóny vo výške 20,35m. Išlo o miestne vydutie plášťa o 80 až 100mm. V oblasti poškodenia plášťa boli namerané zmenšené hrúbky plechu $t_{\min} = 16,4\text{mm}$ oproti projektovej hrúbke plechu 18,0mm. Počas prehliadky bol plášť kolóny v porušenej oblasti zosilnený stĺpkami $h = 3,79\text{mm}$ podľa obr. 3.

Pracovníci zhotoviteľa v dňoch 22. 02. 2007 a 2. 04. 2007 vykonali diagnostické prehliadky poškodenej časti plášťa kolóny C2. Počas druhej diagnostickej prehliadky dňa 02. 04. 2007 pracovníci zhotoviteľa plánovali vykonať kontrolné merania hrúbok. V dôsledku vysokej povrchovej teploty plášťa (nad 200°C) meranie nebolo úspešné.



Obr. 2 Schéma ocel'ovovej nosnej konštrukcie kolóny C2



Obr. 3 Rozmiestnenie zosilňujúcich stĺpikov po vonkajšom obvode plášťa a uchytenie horného konca stĺpika

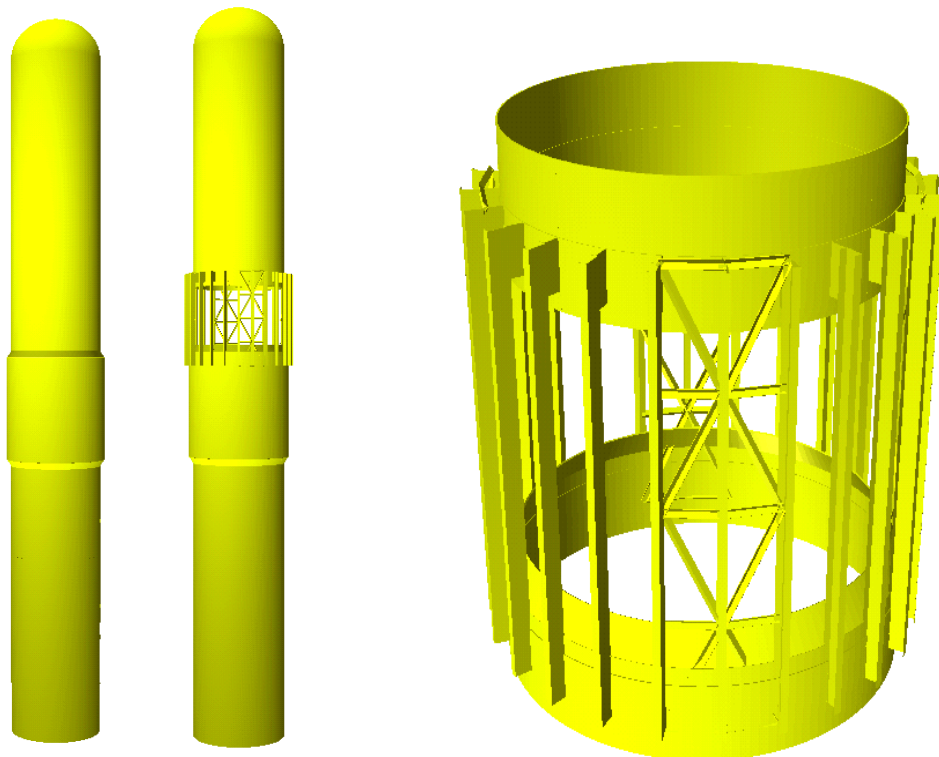
1.1 Kontrolný statický prepočet atmosférickej kolóny C2

Všetky zaťažovacie účinky boli stanovené na základe STN 73 0035 (r. 1980) – Zaťaženie stavebných konštrukcií. Boli uvažované nasledujúce zaťažovacie stavy:

- vlastná tiaž konštrukcie plášťa kolóny C2 (generovaná výpočtovým programom)
- technologické zaťaženie vnútorných častí (plošín) kolóny C2 (presné podklady neboli objednávateľom posudku dodané, toto zaťaženie bolo odhadnuté hodnotou 15 kN na jednu plošinu),

- zaťaženie vetrom (stanovené na základe príslušnej vetrovej oblasti a výšky konštrukcie nad terénom, tvarové súčinitele boli stanovené na základe tabuľky normy č. 20, poradové č. 12 – tvarové súčinitele pre valcové konštrukcie),
- vnútorný prevádzkový pretlak (stanovený na základe podkladov dodaných objednávateľom posudku hodnotou 0,3 MPa).

Cieľom výpočtu bolo posúdiť existujúcu konštrukciu atmosférickej kolóny a navrhnúť potrebné úpravy porušených, resp. nevyhovujúcich konštrukcií. Podrobný pevnostný výpočet bol vykonaný pomocou programu firmy SCIA IDA NEXIS 32, 3.60.15. Na výpočet bol použitý priestorový dosko – stenovo – prúťový model ocelevej konštrukcie kolóny C2 (obr. 4).



Obr. 4 Model existujúcej a zosilnenej konštrukcie a detail

Kontrolný prepočet pôvodnej (poškodenej) konštrukcie kolóny C2 preukázal, že maximálne napätie v konštrukcii v oblasti vydutia pri zohľadnení možných zaťažovacích účinkov (a ich kombinácií) prekračuje výpočtovú pevnosť použitého materiálu 10 416.1 (S 275). Hodnota výpočtovej pevnosti bola stanovená na základe podkladov dodaných objednávateľom posudku (revízna kniha atmosférickej kolóny C2). V podkladoch je uvedená ako „charakteristická hodnota materiálu pre výpočet – pre prevádzkové podmienky, pri teplote 363°C“ hodnota pevnosti 135,5 MPa.

Na základe výsledkov kontrolného statického posudku možno konštatovať, že plášť kolóny C2 v oblasti vydutia nevyhovuje a je nutné ho nahradiť novým, neporušeným plášťom. Vykonanie príslušných rekonštrukčných prác predpokladá vytvorenie dočasnej zosilňujúcej konštrukcie po obvode plášťa kolóny. Úlohou tejto konštrukcie je prenos zaťažovacích účinkov v mieste opravy oceleového plášťa kolóny počas doby jeho kompletnej výmeny. Na prvky zosilňujúcej konštrukcie sa predpokladá materiál kvality S 355.

1.2 Návrh úprav

Pri oprave plášťa kolóny C2 sa realizovala výmena poškodenej časti plášťa po celom obvode s výškou 3,0m. Použila sa oceľ s pôvodne projektovanými parametrami ($t = 18,0\text{mm}$, oceľ 11416.1). Výmena plášťa sa vykonala postupne po častiach v štyroch etapách pri prerušenej prevádzke (bez vnútorného prietoku a bežnej atmosférickej teploty). Počas demontáže sa odobrala vždy $\frac{1}{4}$ plášťa, ktorá sa nahradila novou.

2. SANÁCIA SLINKOVÝCH SÍL V OBJEKTE FIRMY HOLCIM (SLOVAKIA) A.S., ROHOŽNÍK

Cieľom expertízneho posúdenia technického stavu oceľových konštrukcií slinkových síl PC1 a PC2 v závode HOLCIM (Slovensko) a.s., Rohožník bolo navrhnuť opatrenia na zabezpečenie prevádzkovej spoľahlivosti, bezpečnosti a predĺženie fyzickej životnosti posudzovaných objektov (obr. 5).



Obr. 5 Pohľad na slinkové silo PC2 s technológiou a pohľad na trhlinu v sile PC2 (november 2005)

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 $33 \div 13$ mm 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. Kapacita jedného sila je 60 000 t slinku.

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. 5. Pod trhlinou v plášti bol pretrhnutý aj úložný prstenec.

Trhliny boli odborne opravené, plášť bol zosilnený preplátovaním plechom hrúbky 40 mm z ocele 11 353 (obr. 6). Príčiny porúch však neboli analyzované.



Obr. 6 Pohľad na zrealizované opravy v mieste porúch slinkového sila PC2

Pracovníci SvF STU Bratislava v mesiacoch marec až august 2006 vykonali podrobné diagnostické prehliadky objektov síl. Z výsledkov diagnostických prehliadok vyplýva, že:

- výška "mŕtvych" zásob slinku v sile 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 sila 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.
- predbežná pevnosť ocele plášťa sila 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.

2.1 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:

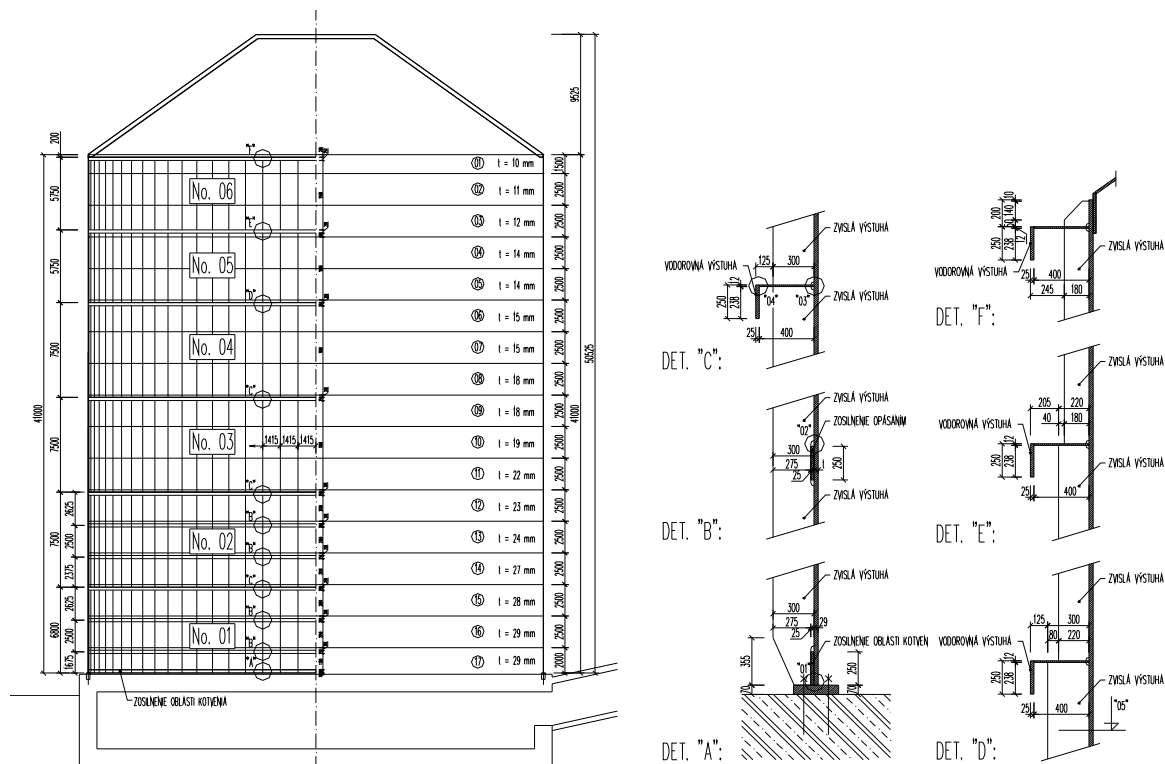
- v prípade rovnomerného vyprázdňovania sila je maximálne porovnávacie napätie na úrovni hodnoty návrhovej únosnosti použitého materiálu sila, konštrukcia však nevyhovuje z hľadiska posúdenia stability plášťa sila.
- v prípade započítania predpokladaných účinkov poklesu vonkajšej teploty a nerovnomerného 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.

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.

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

2.2 Návrh zosilnenia plášťa sil

Navrhnuté zosilnenie plášťa sil je vykreslené na obr. 7. Oceľové plášte sú zosilnené sústavou zvislých výstuh a vodorovných prstencov. Zosilnený cylindrický plášť pôsobí ako ortotropne vystužená škrupina.



Obr. 7: Konštrukčné riešenie zosilnenej konštrukcie a detaily

Vodorovné prstence sa delia na primárne a sekundárne. Primárne prstence majú tvar uholníka. Celkovo ide o päť medziúhlých prstencov a jeden horný prstenec, ktorý bude umiestnený tesne pod úrovňou strešnej časti sila. Sekundárne prstence sú z plochej ocele. 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. Celková predpokladaná spotreba ocele S 355 na zosilnenie plášťa jedného sila je 300 t.

[1] ZoD 04 – 103 – 07 Expertízny posudok porušeného plášťa kolóny C2, SvF – STU Bratislava, apríl 2007

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