1

VÝSTAVBA SLÍNKOVÉHO SILA O KAPACITĚ 85 000 TUN V LADCÍCH ▮ CONSTRUCTION OF A CLINKER SILO WITH CAPACITY OF 85,000 TONS IN LADCE

Václav Branda, Libor Hamáček, Václav Zima

Předmětem článku je popis návrhu a realizace sila o kapacitě 85 000 t v Považské cementárně Ladce, které slouží ke skladování slínku. Jedná se o největší konstrukci sila, které bylo na Slovensku dosud postaveno. Jde o kruhovou dodatečně předpjatou betonovou stěnu o vnitřním průměru 40 m s celkovou výškou stěny 45,6 m. Střešní konstrukci tvoří ocelová kuželová plnostěnná konstrukce se sklonem kuželové části 36,5°. Kruhové stěny byly prováděny metodou tažení posuvného bednění, kdy byla ocelová kuželová konstrukce zavěšena na konstrukci ocelového posuvného bednění a tažena společně se stěnou sila. Konstrukce získala ocenění Stavba roku 2017 – Cenu Technického a skušobného ústavu stavebného, n. o. ▮ The topic of this article is description of the design and realization of a silo with capacity of 85,000 t in Považská cementárna Ladce. This concrete plant serves to store clinker. It is the biggest silo structure having been built in Slovakia. The structure has a circle shape, post-tensioned wall with internal diameter of 40 m, total wall height of 45.6 m. The roof is a steel, cone shaped plain structure with the slope of the roof of 36.5°. The circular walls were made by slip forming method – the cone-shaped structure was suspended from a steel moving formwork and drawn together with the wall of the silo. The structure was awarded the Structure of the Year 2017 award – Award of the Building Testing and Research Institute.

Skladovací silo na slínek o kapacitě 85 000 t je umístěno v areálu společnosti Považská cementáreň Ladce. Jeho výstavba byla vyvolána požadavky na zlepšení životního prostředí z hlediska energetické náročnosti a prašnosti, neboť slínek byl před výstavbou sila volně skladován na ploše v areálu cementárny. Díky novému silu se tak výrazně snížily parametry prašnosti v obci Ladce a blízkém okolí.

Hrubá stavba byla dokončena za 11 měsíců, následná technologická dodávka byla dokončena v březnu 2017 a silo bylo uvedeno do zkušebního provozu, tak aby se jej podařilo naskladnit vyrobeným slínkem na plnou kapacitu 85 000 t.

SKLADOVANÝ MATERIÁL

Výroba cementu má několik fází a v průběhu výrobního procesu je nutné mezi některými etapami skladovat meziprodukty stejně jako i konečný výrobek. Výroba cementu začíná těžbou základní suroviny, kterou je vápenec nebo vápenný slín. Po rozdrcení základní suroviny a přidání korekčních přísad je směs rozemleta na surovinovou moučku, která je uskladněna v homogenizačních silech. Hlavní částí procesu výroby cementu je kalcinace, tedy vypálení surovinové moučky na slínek. Proces kalcinace začíná předehřátím ve výměníku, pokračuje vypálením v rotační peci při teplotě 1 400 až 1 500 °C a končí rychlým ochlazením v chladiči. Slínek se následně skladuje ve slínkových silech, která jsou z hlediska kapacity největšími skladovacími zařízeními cementáren. Slínek se na závěr mele v cementové mlýnici spolu s dalšími přísadami na výsledný produkt – cement.

NÁVRH NOSNÉ KONSTRUKCE SILA

Základní koncept návrhu nosné konstrukce slínkového sila byl zpracováván v roce 2015. Rozhodujícími požadavky pro tvar konstrukce byla požadovaná skladovací kapacita, velikost volného prostoru v areálu vzhledem k navazujícím výrobním procesům a technologické požadavky na skladování slínku – na střeše

sila je osazen dopravní most, kterým je veden vyrobený slínek do prostoru tzv. lucerny, odkud dochází k plnění sila.

Střešní konstrukci tvoří plnostěnná kuželová ocelová střešní konstrukce, jejíž horní část je zmonolitněna. Sklon střešní konstrukce (36,5°) odpovídá sypnému úhlu skladovaného slínku, což vede k maximálnímu využití skladovacího prostoru sila.

Dodatečně předpínaná kruhová stěna o vnitřním ø 40 m má tloušťku 400 mm, v místě vstupního otvoru je tloušťka stěny 520 mm. Stěna je opatřena čtyřmi předpínacími žebry pro osazování předpínacích lan.

Založení konstrukce sila

Geologický profil v místě staveniště tvoří v horní části do hloubky zhruba 15 m únosné středně ulehlé štěrkovité zeminy tříd G3 a G2 podle STN 73 1001 s vysokými hodnotami modulů přetvárnosti E_{def} = 80 až 120 MPa. Níže následovaly jílovité zeminy tříd F6 až F8 o mocnosti zhruba 5 m s poměrně nízkými hodnotami modulů přetvárnosti E_{def} = 5 až 10 MPa. Další vrstva únosných zemin se nacházela v hloubce okolo 20 m pod terénem, jednalo se o ulehlé jílovité štěrky třídy G5 s hodnotami E_{def} = 50 až 65 MPa. V těchto hloubkách bylo umístění vrstev proměnlivé. Do doby výstavby slínkového sila byly všechny objekty v areálu cementárny založeny v horní vrstvě štěrkovitých zemin.

V první etapě výstavby bylo navrženo 144 pilot ø 1,18 m, délky 24 m. Piloty byly umístěny pod obvodovým prstencem pod stěnou, rovnoměrně pod skladovací plochou a pod vyskladňovacími kanály.

Vzhledem k rozsahu prováděných pilot a také vzhledem ke složitým geologickým podmínkám bylo rozhodnuto o provedení zatěžovací zkoušky. Zatěžovací zkouška byla provedena na nesystémové pilotě v bezprostřední blízkosti základu sila. Zkouškou zjištěná únosnost piloty ø 1,18 m a délky 24,1 m vyšla velmi příznivě – při maximálním svislém zatížení 7 000 kN (odpovídá skutečnému zatížení) bylo naměřeno sedání piloty 5,9 mm, následně došlo k optimalizaci rozmístění a délky pilot.

Pod vlastním skladovacím prostorem jsou umístěny dva vyskladňovací kanály, ve kterých je strojní technologie vyskladnění sila. Nosnou konstrukci kanálů tvoří základová deska tloušťky 800 mm a stěny kanálů tloušťky 500 mm. Z důvodu technologických požadavků vyskladňování sila mají kanály výšku 3 m.

Prostor kanálů a vlastní skladovací prostor je oddělen železobetonovou stropní deskou tloušťky 900 mm. Ve stropní desce je osazeno 10 ks výsypek pro vyskladnění slínku ze sila.

Konstrukce tubusu sila

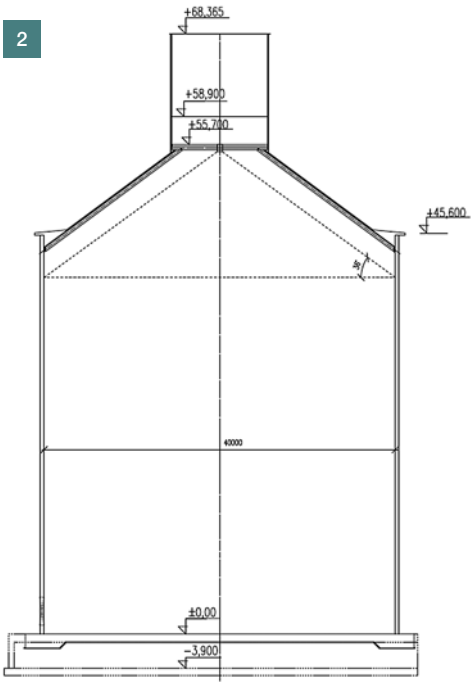
Nosnou konstrukci skladovacího prostoru tvoří dodatečně předpínaná kruhová stěna s vnitřním ø 40 m. Po 90° jsou ve stěně umístěna předpínací žebra šířky 3,6 m a tloušťky zhruba 900 mm.

Stěna sila byla provedena speciální technologií tažením pomocí posuvného bednění vlastního systému společnosti Tažené konstrukce (TAKO), jenž byl pro daný typ stavby optimální. Vývoj, návrh a obsluha posuvného bednění byla zajištěna kvalifikovanými pracovníky zmiňované společnosti. Jednalo se o **kontinuální betonáž, která trvala 23 dnů.** Rychlost tažení stěny sila byla 2 m / 24 h a výsledkem bylo provedení stěny sila bez pracovních spár.

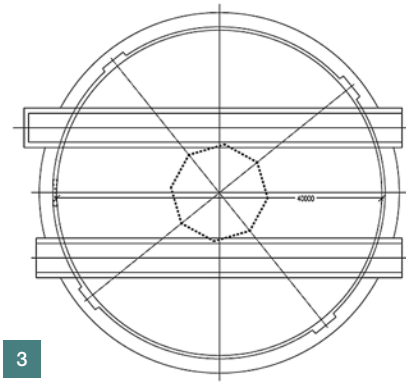
Betonová směs byla navržena v kooperaci s technology společnosti Ladce Betón, a. s., receptura byla vyvinuta na základě specifických parametrů technologie taženého bednění. Navrhnutá receptura pro stěnu sila byla za účasti laboratoře dodavatele betonu odzkoušena a doplněna na základových konstrukcích přidružených objektů sila. V průběhu realizace byly kontrolovány tyto parametry betonové směsi: konzistence, náběh pevnosti a doba zpracování.

Návrh vyztužení stěny sila byl též plně podřízen použité technologii tažení posuvného bednění. Na konstrukci posuvného bednění byla zakotvena ocelová střešní konstrukce, pro jejíž zavěšení byly pro tuto zakázku vyvinuty speciální kotevní prvky. S komplet-

2



3



1 Považská cementárna Ladce se slínkovým silem o kapacitě 85 000 t **2** Příčný řez konstrukcí sila **3** Půdorys sila s odběrnými kanály **4** Zatěžovací zkouška nesystémové piloty ▮ **1** Považská concrete plant Ladce with clinker silo with capacity of 85,000 t **2** Cross-section of the silo **3** Layout of the silo with off-take pipelines **4** Load-bearing test of the testing pile

4

5 Tažení stěny sila s ocelovou konstrukcí střechy – vnitřní pohled na konstrukci **6** Montáž ocelové konstrukce střechy na bednění stěny sila ▮
5 Moving the wall of the silo with the steel construction of the roof – view to the structure from the inside **6** Mounting the steel structure of the silo roof onto the wall formwork

Literatura:
[1] ZIMA, V., VÁCHA, J. *Považská cementárna LADCE – Výstavba slínkového sila o kapacitě 85 000 tun*. Dokumentace pro provádění stavby. 2016.

ním bedněním tak byla zároveň tažena i ocelová konstrukce střechy o hmotnosti 105 t. Toto technické řešení se zavěšenou střechou urychlilo celou výstavbu o cca tři měsíce.

Během tažení byly nepřetržitě monitorovány odchylky od svislice jak v radiálním, tak i v tangenciálním směru.

Po vytažení stěny sila byla ocelová konstrukce zakotvena do finální polohy. Následně byla střecha opláštěna trapézovými plechy a zmonolitněna. Vnější povrch stěny a střechy sila byl opatřen ochranným nátěrem proti povětrnostním vlivům.

Stěna je dodatečně předepnuta v horizontálním směru předpínacím lanovým systémem se soudržností firmy VSL Systémy /CZ/, kdy se jako předpínací výztuž používala ocelová sedmidrátová stabilizovaná lana ø 15,7 mm s pevností 1 860 MPa. Při tažení stěny byly do bednění osazovány plášťové trubky z korugované oceli ø 80/85 mm pro 12 lan a 65/72 mm pro 7 lan. Do vybrání v bočních ostěních předpínacích žeber byly osazovány kotevní prvky. Ve spodní části stěny byly navrženy předpínací kabely dvanáctilanové, v horní části sedmilanové (počty lan odpovídají statickému návrhu).

Dodatečné předpínání probíhalo postupně shora dolů v osmi etapách tak, aby nedocházelo k nerovnoměrnému zatížení válcové stěny. Nejdříve byla konstrukce předepnuta ve čtyřech etapách na 50 % předpínací síly, v dalších čtyřech etapách byla konstrukce dopnuta na 100 % předpínací síly.

Střešní konstrukce

Střešní konstrukci tvoří kuželová plocha, která se skládá z radiálních a tangenciálních plnostěnných nosníků. U podobných konstrukcí přicházejí v úvahu dvě možnosti provádění střešní konstrukce. První možnost je postavení střední provizorní podpůrné konstrukce pro montáž kuželové střešní konstrukce. Tento způsob montáže byl v minulosti realizován u řady konstrukcí sil.

Druhá možnost, časově výhodnější, ale technologicky náročnější, je tažení ocelové konstrukce spolu s tažením betonové stěny. Toto řešení bylo zvoleno v Ladcích i s vědomím, že se jedná o největší konstrukci sila, které bylo doposud prováděno.

ZÁVĚR

Silo bylo uvedeno do provozu za 19 měsíců od zahájení výstavby. V průběhu návrhu a výstavby se podařilo vyřešit a zrealizovat mnoho konstrukčních detailů splňujících technologické požadavky skladování slínku. Po uvedení do provozu a plném zatížení se sedání sila pohybuje v rozmezí 14,7 až 20,5 mm.

Posuvným bedněním jsou realizovány sila na obilí, na skladování cukru, pro cementárny, pro elektrárny, vodojemy, nádrže ČOV, výtahové věže a mostní pilíře. Sila a nádrže jsou realizovány o skladovacích kapacitách 100 až 100 000 t dle požadavků investora. Posuvné bednění při výstavbě je možné použít jako oboustranné či jednostranné, dle požadavků na realizovanou monolitickou konstrukci.

Fotografie a výkresy:
archiv Tažené konstrukce, spol. s r.o.

Ing. Václav Branda
Tažené konstrukce, spol. s r. o.
tako@tako.cz

Ing. Libor Hamáček
Tažené konstrukce, spol. s r. o.
hamacek@tako.cz

Ing. Václav Zima, CSc.
Tažené konstrukce, spol. s r. o.
statici@tako.cz