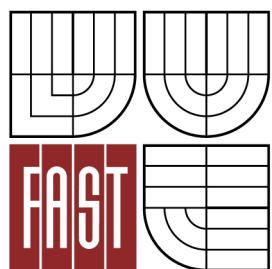




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

SDRUŽENÉ OCELOVÉ ZÁSOBNÍKY COMBINED STEEL SILOS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. MARKÉTA IVÁNKOVÁ

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. MIROSLAV BAJER, CSc.

BRNO 2015



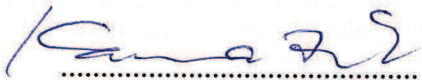
VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor 3607T009 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště Ústav kovových a dřevěných konstrukcí

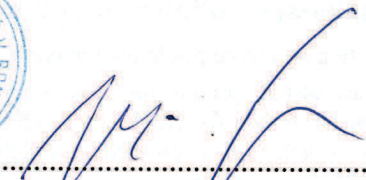
ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant Bc. Markéta Ivánková
Název Sdružené ocelové zásobníky
Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Datum zadání diplomové práce 31. 3. 2014
Datum odevzdání diplomové práce 16. 1. 2015

V Brně dne 31. 3. 2014


.....
doc. Ing. Marcela Karmazínová, CSc.
Vedoucí ústavu




.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

Dispoziční řešení objektu

Vlastnosti skladovaného materiálu, požadavky na objem skladovaného materiálu.

Literatura:

Marek, P. a kol.: Kovové konstrukce pozemních staveb

Faltus, F.: Ocelové konstrukce pozemního stavitelství

Platné normativní dokumenty

Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

Podle předané dispozice vypracujte návrh nosné ocelové konstrukce vynášející sdružené zásobníky, včetně návrhu a posouzení sdružených sil. Při návrhu konstrukce uvažujte pouze zatížení od náplně zásobníku.

Rošt vynášející zásobníky navrhnete ve variantním řešení.

Předepsané přílohy

- 1) Technická zpráva se zhodnocením variant řešení
- 2) Statická výpočet sil, statický výpočet nosné ocelové konstrukce vynášející zásobníky
- 3) Výkresová dokumentace v rozsahu stanoveném vedoucím diplomové práce
- 4) Výkaz materiálu

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

.....
doc. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Vedoucí diplomové práce

Abstrakt

Předmětem práce je návrh a posouzení šesti sdružených ocelový zásobníků a konstrukce vynášející zásobníky. Celá konstrukce se nachází uvnitř haly. Zásobníky jsou určeny k uskladnění obilí. Jsou vysoké 24m a mají průměr 6m.

Rošt je vypracován ve variantním řešení. Zásobníky jsou posouzeny podle ČSN 73 5570 i ČSN EN 1991-4

Klíčová slova

zásobník, nosná ocelová konstrukce sil, svařovaný I profil, uskladnění obilí

Abstract

Item of diploma thesis is project of steel construction with 6 steel silos for storage the grain. The construction is situated inside hall. Silos are high 24 meter and diameter is 6 meter. The load-bearing steel structure for silos is designed in a variant solution. Silos are assessed by ČSN 73 5570 and ČSN EN 1991-4

Keywords

silo, load-bearing steel structure for silos, welded I-girder, grain storage

...

Bibliografická citace VŠKP

Bc. Markéta Ivánková *Sdružené ocelové zásobníky*. Brno, 2015. 23 s., 149 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav kovových a dřevěných konstrukcí. Vedoucí práce doc. Ing. Miroslav Bajer, CSc.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 14.1.2015

.....
podpis autora
Bc. Markéta Ivánková

Poděkování:

Velmi děkuji panu doc. Ing. Miroslavu Bajerovi, CSc. za vedení a pomoc při zpracování této diplomové práce.

Dále bych chtěla poděkovat Ing. Radimu Matelovi z firmy Nemetschek Scia s.r.o. za radu ohledně statického modelu zásobníku a firmě IKON s.r.o. za poskytnutí odborné literatury a norem.

Ve Frýdku – Místku dne

.....
podpis studenta

SDRUŽENÉ OCELOVÉ ZÁSOBNÍKY	
Diplomová práce	
Autor:	Bc. Markéta Ivánková
Vedoucí práce:	doc. Ing. Bajer Miroslav, CSc.

SDRUŽENÉ OCELOVÉ ZÁSOBNÍKY

TECHNICKÁ ZPRÁVA

SDRUŽENÉ OCELOVÉ ZÁSObNÍKY	
Diplomová práce	
Autor:	Bc. Markéta Ivánková
Vedoucí práce:	doc. Ing. Bajer Miroslav, CSc.

OBSAH:

1.	ÚVOD	2
2.	TECHNICKÝ POPIS KONSTRUKCE	2
3.	ZATÍŽENÍ	5
4.	POSTUP MONTÁŽE	5
5.	VARIANTY ŘEŠENÍ ROŠTU	5
6.	ZÁVĚR	8
7.	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	9
8.	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	10
9.	SEZNAM PŘÍLOH	16

SDRUŽENÉ OCELOVÉ ZÁSOBNÍKY	
Diplomová práce	
Autor:	Bc. Markéta Ivánková
Vedoucí práce:	doc. Ing. Bajer Miroslav, CSc.

1. ÚVOD

Projekt diplomové práce „Sdružené ocelové zásobníky“ je zpracován na základě zadání diplomové práce. Konstrukce zásobníků byla navržena dle ČSN EN 1991-4, pro srovnání byl proveden taktéž návrh zásobníku podle ČSN 73 5570. Konstrukce vynášející zásobníky je navržena dle platných evropských norem. Je dokumentován v technické zprávě, statickém výpočtu a výkresové dokumentaci.

Sdružené ocelové zásobníky jsou umístěny uvnitř stávajícího halového objektu ve Frýdku-Místku. Stávající halový objekt nebyl předmětem zadání diplomové práce.

2. TECHNICKÝ POPIS KONSTRUKCE

Sdružené ocelové zásobníky pro uskladnění obilí se skládají ze šesti identických zásobníků vynesných na rámové ocelové konstrukci. Zásobníky jsou kruhového průřezu s kuželovitou výsypkou bez zastřešení. Každý zásobník o objemu 610m^3 má průměr 6m a je vysoký 24m. Celkový objem sdružených zásobníků je $3\,660\text{m}^3$.

Nosná ocelová konstrukce vynášející sdružené zásobníky je půdorysného rozměru 13,67 x 19,455m; výška v místě ukotvení zásobníků je 7m.

2.1 OCELOVÁ SILA

Zásobníky jsou tvořeny těmito částmi:

- válcová komora
 - výška 20,0m
 - průměr 6,0m
 - tloušťka stěny se po výšce mění 6mm, 8mm, 10mm
 - ohybově netuhá
 - výpočet podle membránové teorie
- přechodový prstenec
 - tvořen trojúhelníkovou komorou se sloupem připojeným k lemujícímu pásu
 - součástí je spolupůsobící část komory a výsypky
 - výška 1,3m
- výsypka
 - výška 4,0m
 - průměr otvoru pro vyprazdňování je 1,0m
 - sklon stěny 58°
 - tloušťka stěny 10mm

V navržených dimenzích stěn je zohledněn vliv otěru ($\Delta t_a = 2\text{mm}$).

Zásobník je plněn a vyprazdňován centricky, plnění je realizováno shora. Technologie plnění a vyprazdňování není součástí této práce.

Zásobník je podepřen symetricky ve čtyřech bodech do nosníků podpůrné konstrukce. Ukotvení je realizováno šroubovými přípoji.

SDRUŽENÉ OCELOVÉ ZÁSOBNÍKY	
Diplomová práce	
Autor:	Bc. Markéta Ivánková
Vedoucí práce:	doc. Ing. Bajer Miroslav, CSc.

2.2 NOSNÁ OCELOVÁ KONSTRUKCE

Nosná ocelová konstrukce pod zásobníky je tvořena rámy, horizontálními nosníky a ztužidly. Je navržena tak, aby pod ní byl dostatečný průjezdný profil pro nákladní automobil.

V příčném směru stabilitu konstrukce zajišťují rámové vazby, v podélném směru je konstrukce stabilizována stěnovými ztužidly. Konstrukce je navržena tak, aby každý zásobník byl podepřen ve čtyřech bodech. Celá nosná ocelová konstrukce je vyrobena z materiálu S355.

2.2.1 RÁM

Jsou navrženy 4 rámy v osové vzdálenosti 6,235m. Rozpětí rámu je 12,47m, výška při horním okraji příčle je 7,0m. Rámová stojka je navržena jako svařovaný průřez profilu I výšky 1200mm, pásnice 750x60mm a stojiny tloušťky 50mm.

Rámová příčel je tvořena stejným svařovaným profilem I výšky 1200mm, pásnice 750x60mm a stojina tloušťky 50mm.

Sloupy jsou kotveny do železobetonových patek kloubově v obou směrech.

Z důvodu přepravy je rám rozdělen na tři části. Montážní spoj je na příčli ve vzdálenosti 2,0m od osy sloupu.

2.2.2 NOSNÍKY

Mezi rámy jsou kloubově umístěny nosníky, pro uložení zásobníků. Nosníky jsou ze svařovaného profilu I. Výška nosníku je 1000mm, pásnice 600x40mm, tloušťka stojiny je 30mm.

2.2.3 ZTUŽIDLO

V podélném směru je konstrukce stabilizována stěnovými ztužidly.

Podélné ztužidlo je ve výšce 3,5m profilu RO 114,3x8mm.

Mezi řadami 1-2, 3-4 jsou umístěná příčná ztužidla profilu RO 133x10mm a jsou navržena jako polopříčková soustava z důvodu kratších vzpěrných délek.

2.3 OBVODOVÁ KONSTRUKCE

V této diplomové práci není požadována obvodová konstrukce zásobníků.

2.4 KOTVENÍ

Rámové stojky vynášející podpůrnou konstrukci sružených zásobníků jsou kloubově kotveny do betonových patek. Kotvení je realizováno lepenými kotvami HILTI. Pro zajištění vodorovných sil jsou kotevní desky opatřeny zarážkou.

2.5 MATERIÁL A POVRCHOVÁ OCHRANA

Zásobníky jsou navrženy z materiálu S235. Podpůrná ocelová konstrukce je navržena z materiálu jakosti S355.

Podpůrná ocelová konstrukce bude opatřena syntetickým nátěrovým systémem na otryskaný povrch min. SA 2,5. Syntetický nátěrový systém bude realizován v celkové tloušťce 120 mikrometrů. Barevný odstín dle požadavků investora.

SDRUŽENÉ OCELOVÉ ZÁSOBNÍKY	
Diplomová práce	
Autor:	Bc. Markéta Ivánková
Vedoucí práce:	doc. Ing. Bajer Miroslav, CSc.

Vnitřní strana zásobníků bude opatřena epoxidovým nátěrem, který je schválený pro přímý styk s potravinami a je odolný vůči otěru (např. SikaCor 299 Airless – technický list v příloze č.4) v celkové tloušťce 200 mikrometrů.

2.6 TECHNOLOGIE

Technologie pro plnění sil není předmětem této práce a nebyla tedy řešena.

SDRUŽENÉ OCELOVÉ ZÁSOBNÍKY	
Diplomová práce	
Autor:	Bc. Markéta Ivánková
Vedoucí práce:	doc. Ing. Bajer Miroslav, CSc.

3. ZATÍŽENÍ

Celá konstrukce sružených ocelových zásobníků je umístěna uvnitř haly.

Pro výpočet zásobníků je uvažováno pouze zatížení od vlastní tíhy a náplně v zásobníku – obilí.

Pro výpočet nosné ocelové konstrukce je uvažováno zatížení od vlastní tíhy konstrukce, vlastní tíhy zásobníku a náplně. Zatížení náplní je počítáno ve čtyřech kombinacích:

- všechny zásobníky plné
- polovina zásobníků plná
- zásobníky plné v šachu
- čtyři zásobníky plné

4. POSTUP MONTÁŽE

Provede se betonáž základových patek a hrubé podlahy.

Po 14 dnech od betonáže může začít stavba nosné ocelové konstrukce. Nejprve se na zemi smontují jednotlivé díly rámu k sobě a následně se pomocí jeřábu zvednou a ukotví do připravených patek kotevními šrouby. Nejprve se vztyčí řada 1 a 2. Mezi ně se namontuje nosník a ztužidla. Pak se postaví řada 3 a 4, připevní se krajní nosníky a ztužidla. Následně se přimontují středové nosníky.

Po smontování celé nosné ocelové konstrukce mohou být osazeny zásobníky, nejprve se osadí okrajové zásobníky a nakonec zásobníky středové.

5. VARIANTY ŘEŠENÍ ROŠTU

Nosná ocelová konstrukce vynášející sružené zásobníky je půdorysného rozměru 13,67 x 19,455m výška v místě ukotvení sružených zásobníků je 7,0m.

Konstrukce je tvořena 4 rámy v osové vzdálenosti 6,235m a je navržena tak, aby pod ní mohl vjet nákladní automobil, do kterého se vsypává obsah zásobníků.

Z důvodu umístění sil je konstrukce navržena tak, aby každé silo bylo podepřeno ve čtyřech bodech.

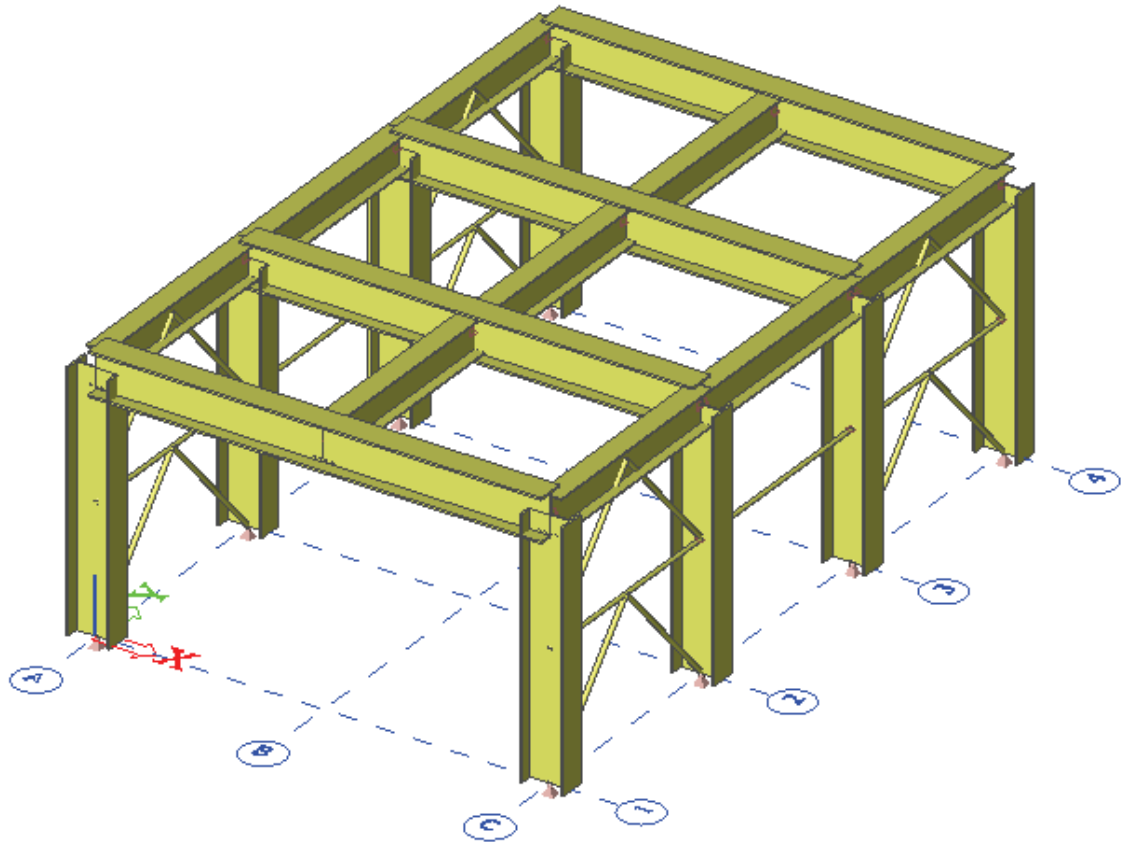
Celá konstrukce sružených ocelových zásobníků je umístěna uvnitř haly. Pro výpočet nosné ocelové konstrukce je uvažováno zatížení od vlastní tíhy konstrukce, vlastní tíhy zásobníku a náplně. Zatížení náplní je počítáno ve čtyřech kombinacích:

- všechny zásobníky plné
- polovina zásobníků plná
- zásobníky plné v šachu
- čtyři zásobníky plné

Materiál oceli v obou variantách je S355.

Pro objektivní porovnání jsou zpracovány oba statické modely se všemi zatěžovacími stavy. Statické výpočty obou variant jsou součástí příloh.

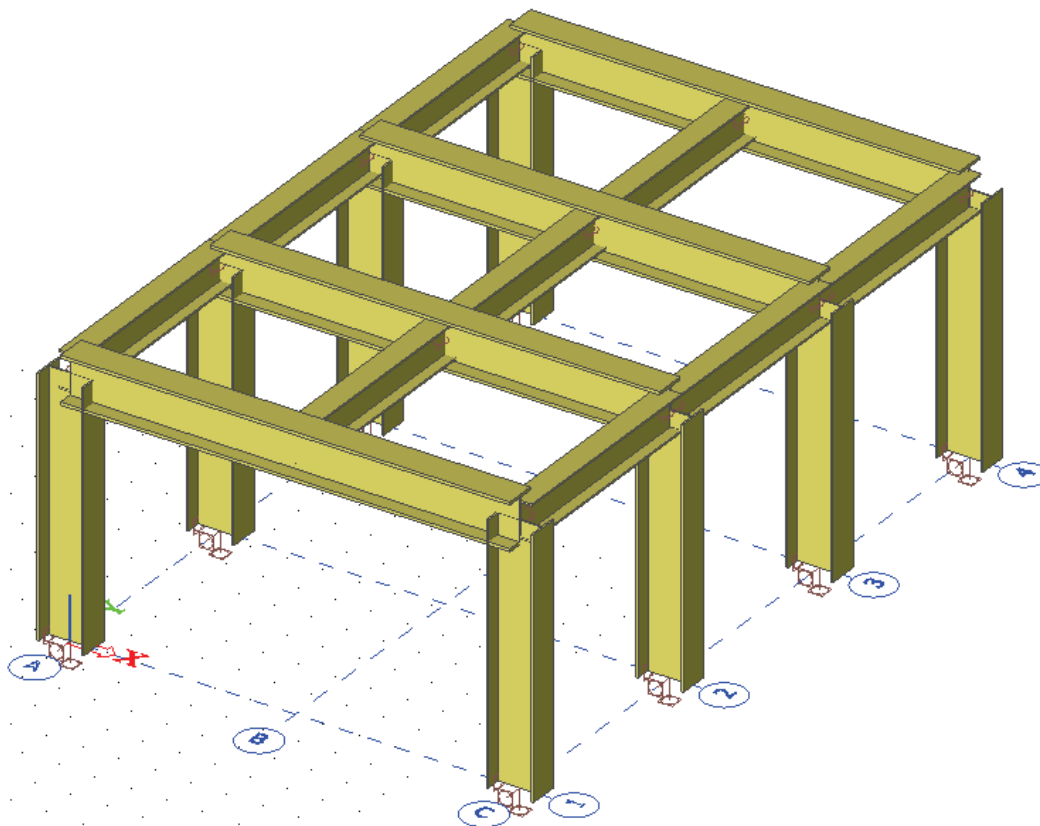
VARIANTA A



Ocelová konstrukce je tvořena 4 rámy v osové vzdálenosti 12,47m. Mezi rámy jsou kloubově vloženy nosníky. V polovině výšky sloupu je umístěno ztužení. V krajních řadách (1-2, 3-4) jsou příčná ztužidla navržena jako polopříčková soustava. Rámové příčné vazby jsou uloženy kloubově v obou směrech.

Tato varianta zvolena pro další výpočet.

VARIANTA B



Ocelová konstrukce je tvořena 4 rámy v osové vzdálenosti 12,47m. Mezi rámy jsou kloubově vloženy nosníky. Rámové příčné vazby jsou vetknuty v obou směrech. Tato varianta není v tomto projektu realizována.

5.2 POROVNÁNÍ VARIANT

		varianta A	varianta B
Hmotnost OK		175t	204t
Nátěrová plocha		977m ²	1028m ²
Počet prutů		43	21
Kotvení do beton. patek		kloubové	vetknutí
Průhyb (u_z):	- rámová příčel	25,8mm	19,0mm
	- nosník	8,4mm	6,3mm
Využití průřezů:	- sloup	96%	88%
	- rámová příčel	90%	97%
	- nosník	86%	97%

Obě varianty jsou vyrobeny ze svařovaných profilů, proto nelze jednoznačně říct, která varianta je na výrobu jednodušší. Varianta B má sice o polovinu méně prutů, ale sloupy jsou vetknuty do beton. patek, tato varianta je náročnější na montáž.

Varianta A je lehčí a má menší nátěrovou plochu, z ekonomického hlediska je varianta A výhodnější. Pro další podrobné zpracování byla vybrána varianta A.

SDRUŽENÉ OCELOVÉ ZÁSObNÍKY	
Diplomová práce	
Autor:	Bc. Markéta Ivánková
Vedoucí práce:	doc. Ing. Bajer Miroslav, CSc.

6. ZÁVĚR

Diplomová práce byla vypracována v programu Scia Engineer 2014 verze 14.0.101. Pro tvorbu projektové dokumentace program Tekla Structures a AutoCAD 2007.

Cílem mé diplomové práce bylo navrhnout nosnou ocelovou konstrukci a sružené ocelové zásobníky. Navržená konstrukce vyhoví na mezní stav únosnosti i mezní stav použitelnosti dle platných norem.

SDRUŽENÉ OCELOVÉ ZÁSOBNÍKY	
Diplomová práce	
Autor:	Bc. Markéta Ivánková
Vedoucí práce:	doc. Ing. Bajer Miroslav, CSc.

7. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- ČSN 73 0035 Zatížení stavebních konstrukcí
 - ČSN 73 5570 Navrhování konstrukcí zásobníků
 - ČSN EN 1990 Zásady navrhování konstrukcí
 - ČSN EN 1991-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 4: Zatížení zásobníků a nádrží
 - ČSN EN 1993-4-1 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 4-1: Zásobníky
 - ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3 : Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
 - ČSN EN 1993-1-5 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-5: Boulení stěn
 - ČSN EN 1993-1-8 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-8: Navrhování styčnicků
- [1] *Konstrukce: odborný časopis pro stavebnictví a strojírenství*. Ostrava: Měřinský, 2004, roč. 3, č. 5. ISSN 1213-8762. Dostupné z: www.konstrukce.cz. Statická analýza ocelových zásobníků (M. Bajer, S. Buchta, V. Salajka, V. Kanický).
- [2] *Konstrukce: odborný časopis pro stavebnictví a strojírenství* [online]. Ostrava, 2011 [cit. 2015-01-03]. ISSN 1213-8762. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/nadrze-a-zasobniky-v-souladu-s-pozadavky-evropskych-norem/>
- [3] *Ocelar.cz* [online]. 2010 [cit. 2015-01-03]. Dostupné z: <http://steelcalc.com/cs/>
- [4] *Ferona* [online]. 2015 [cit. 2015-01-03]. Dostupné z: <http://www.ferona.cz/cze/index.php>
- [5] BARTONĚK, R. *Sdružená ocelová sila*. Brno, 2007. Diplomová práce. VUT Brno, fakulta stavební, ústav kovových a dřevěných konstrukcí. Vedoucí práce Doc. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
- [6] Krycí nátěry. *Sika CZ* [online]. 2014 [cit. 2015-01-09]. Dostupné z: http://cze.sika.com/cs/solutions_products/02/02a010/02a010sa02/02a010sa02sa03.html

SDRUŽENÉ OCELOVÉ ZÁSOBNÍKY	
Diplomová práce	
Autor:	Bc. Markéta Ivánková
Vedoucí práce:	doc. Ing. Bajer Miroslav, CSc.

8. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Použité zkratky a symboly pro výpočet dle ČSN (73 0035, 73 5570)

A	plocha vnitřního průřezu buňky
E_m	modul pružnosti zhutněného materiálu
E_ω	modul pružnosti materiálu, z něhož jsou vyrobeny stěny buňky
E_0	modul přetvárnosti zeminy
G_v	tíha části výsyvky a náplně pod posuzovaným průřezem výsyvky
$R=A/u$	hydraulický poloměr
T	termodynamická teplota
ΔT	rozdíl teplot
T_e	teplota vnějšího prostředí
T_i	teplota vnitřní náplně
B	šířka průřezu
C	vzdálenost výpustního otvoru od svislé osy buňky
D	vnitřní průměr kruhové buňky
E	základ přirozených logaritmů
G	vlastní tíha na 1m^2 stěny
H	výška komory buňky
h_p	výška plnění zásobníku
m	součinitel podmínek působení
m_h^r	vodorovný ohybový moment na jednotku výšky působící ve svislém průřezu stěny buňky od výpočtového zatížení náplní
n	součinitel zatížení
n_h^r	vodorovná normálová síla na jednotku výšky působící ve svislém průřezu stěny buňky od výpočtového zatížení náplní
n_l^r	normálová síla na jednotku obvodu výsyvky od výpočtového zatížení náplní, působící ve směru povrchové přímky
n_v^n	normová hodnota svislé normálové síly na jednotku délky obvodu stěny vyvolaná třením náplně o stěny
p_h^n	hodnota normového vodorovného tlaku náplně obecně
p_{h0}^n	hodnota normového základního vodorovného tlaku náplně, rovnoměrně rozděleného po obvodě síla
p_{h1}^n	hodnota normového zvýšeného vodorovného tlaku náplně, rovnoměrně rozděleného po obvodě síla, působící na stěny buněk, které nejsou v příčném směru ohybově tuhé
p_{h2}^n	hodnota normového místního vodorovného tlaku náplně působícího na stěny buněk, které jsou v příčném směru ohybově tuhé
p_{ht}^n	hodnota normového vodorovného tlaku náplně, rovnoměrně rozděleného po obvodě i výšce buňky, vyvolaného náhlým poklesem

SDRUŽENÉ OCELOVÉ ZÁSOBNÍKY	
Diplomová práce	
Autor:	Bc. Markéta Ivánková
Vedoucí práce:	doc. Ing. Bajer Miroslav, CSc.

	teploty venkovního vzduchu
Δp_h^n	hodnota změny normového základního vodorovného tlaku účinkem mimostředního vyprazdňování
p_t^n	hodnota normové složky tlaku náplně kolmá k povrchu výsyvky
p_v^n	hodnota normového svislého tlaku náplně
q_f^n	hodnota svislého normového spojitého zatížení, vyvolaného třením uskladněného materiálu o stěny buňky
q_l^n	hodnota složky normového spojitého zatížení ve směru povrchu výsyvky
S	vzdálenost stěny buňky, směrem k níž se přesouvá výpustní otvor při mimostředním vyprazdňování, od svislé osy buňky
t	tloušťka stěny buňky
u	vnitřní obvod buňky
Z	hloubka uskladněného materiálu po slehnutí měřená od horizontální roviny jeho horního povrchu
Z	rameno vnitřních sil
α	úhel sevřený povrchovou přímkou kuželové výsyvky s vodorovnou rovinou
α_t	součinitel tepelné roztažnosti
α_1	součinitel, vyjadřující nerovnoměrné působení náplně a místní zvýšení tlaku na stěny buněk, které nejsou v příčném směru ohybově tuhé
α_4	součinitel, vyjadřující místní zvýšení tlaku náplně a podmínky působení konstrukce při výpočtu namáhání výsyvky tvaru rotačního kužele
γ	objemová tíha náplně
K	tvarový součinitel
Λ	tepelná vodivost materiálu stěny buňky
M	součinitel tření náplně o stěny sila
N	Poissonův součinitel
P	objemová hmotnost náplně
Σ	normálové napětí ve stěně buňky
σ_1	normálové napětí ve směru povrchových přímek
σ_2	normálové napětí v příčném směru
σ_{tot}	výsledné normálové napětí
$\Delta\sigma$	přírůstek normálového napětí
τ	čas
φ	úhel vnitřního tření
$\omega = \text{tg}^2(45^\circ - \varphi/2)$	součinitel aktivního tlaku sypké hmoty

Použité zkratky a symboly pro výpočet dle ČSN EN (1991-4, 1993-4-1)

A	plocha vodorovného řezu zásobníku
α	redukční součinitel imperfekce boulení v pružné oblasti

SDRUŽENÉ OCELOVÉ ZÁSOBNÍKY	
Diplomová práce	
Autor:	Bc. Markéta Ivánková
Vedoucí práce:	doc. Ing. Bajer Miroslav, CSc.

α_0	součinitel imperfekcí v pružném stavu
A_{ep}	průřezová plocha prstence přechodového spoje
β	poloviční úhel stěny výsypky
b	empirický součinitel pro tlaky ve výsypce
β	polovina úhlu ve vrcholu výsypky
C_b	součinitel zvětšující zatížení dna
C_o	součinitel vyprazdňování pro tuhou látku
C_{op}	referenční součinitel místního zatížení pro skladovanou tuhou látku
C_{pe}	součinitel místního zatížení při vyprazdňování
C_{pf}	součinitel místního zatížení při plnění
C_w	součinitel tahové složky tření o stěnu při vyprazdňování
χ_x	součinitel vzpěrnosti při boulení
d_c	charakteristická hodnota rozměru vnitřního průřezu zásobníku
E	modul pružnosti v tahu, tlaku
e_f	maximální výstřednost navršeného materiálu během plnění
e_o	výstřednost středu výpusti
F	poměr normálového tlaku na stěnu zásobníku a svislého napětí v tuhé látce
F_e	poměr tlaků v zásobníku při vyprazdňování
F_e	účinná radiální síla
$f_{e,Rd}$	návrhová pevnost svařované konstrukce
F_f	poměr tlaků v zásobníku při plnění
ϕ_i	charakteristická hodnota úhlu vnitřního tření zrnité látky při plnění
F_{pe}	celková vodorovná síla vyvozená místním zatížením v tenkostěnném kruhovém zásobníku během vyprazdňování
F_{pf}	celková vodorovná síla vyvozená místním zatížením v tenkostěnném kruhovém zásobníku při plnění
f_u	pevnost oceli v tahu
ϕ_{wh}	úhel tření zrnité látky o stěnu výsypky zásobníku
f_y	mez kluzu oceli
γ	horní charakteristická hodnota objemové tíhy zrnité tuhé látky
h_c	výška části zásobníku se svislými stěnami od přechodu k ekvivalentnímu povrchu
h_h	výška výsypky od vrcholu k přechodu
C_h	součinitel vodorovného tlaku při vyprazdňování
I	moment setrvačnosti průřezu
K	charakteristická hodnota poměru bočních tlaků

SDRUŽENÉ OCELOVÉ ZÁSOBNÍKY	
Diplomová práce	
Autor:	Bc. Markéta Ivánková
Vedoucí práce:	doc. Ing. Bajer Miroslav, CSc.

L	výška části skořepiny nebo výztuhy
l_{ec}	účinná délka části válce nad přechodovým spojem
l_{eh}	účinná délka části výsypky
$\bar{\lambda}$	poměrná štíhlost skořepiny
μ	charakteristická hodnota součinitele tření o svislou stěnu
μ_h	dolní charakteristická hodnota součinitele tření o stěny výsypky
μ_{heff}	účinné tření o stěnu pro výsypku
n	mocnina ve vztahu pro tlak ve výsypce
n_ϕ	obvodová membránová vnitřní síla na délkovou jednotku výšky skořepiny
$n_{\phi,Ed}$	návrhová hodnota meridiální membránové vnitřní síly na horním okraji výsypky
n_x	meridiální membránová vnitřní síla na délkovou jednotku obvodu
p_{h0}	asymptotický vodorovný tlak ve velké hloubce, vyvozený skladovanou tuhou látkou
p_{he}	vodorovný tlak při vyprazdňování
p_{hf}	vodorovný tlak při plnění zásobníku
p_{nc}	místní hodnota kolmého tlaku na válec těsně nad přechodem
p_{ne}	tlak kolmý ke stěně výsypky při vyprazdňování
p_{nf}	tlak kolmý ke stěně výsypky při plnění zásobníku
p_{nh}	místní hodnota kolmého tlaku na výsypku těsně pod přechodem
p_{pe}	místní tlak při vyprazdňování
p_{pes}	místní tlak příslušný úhlu v polární soustavě souřadnic θ při vyprazdňování
p_{pf}	místní tlak při plnění zásobníku
p_{pfs}	místní tlak příslušný úhlu v polární soustavě souřadnic θ při plnění zásobníku
p_{te}	tahová složka tření při vyprazdňování
p_{tf}	tahová složka tření při plnění zásobníku
p_v	svislé napětí ve skladované tuhé látce
p_{vf}	svislé napětí ve skladované tuhé látce při plnění zásobníku
p_{vft}	svislé napětí ve skladované tuhé látce v přechodu při plnění zásobníku
p_{we}	tahová složka tření o stěnu při vyprazdňování
p_{wf}	tahová složka tření o stěnu při plnění zásobníku
θ	úhel v polární soustavě souřadnic
Q	parametr jakosti výroby konstrukce skořepiny z hlediska boulení
r	poloměr střednicové plochy skořepiny

SDRUŽENÉ OCELOVÉ ZÁSOBNÍKY	
Diplomová práce	
Autor:	Bc. Markéta Ivánková
Vedoucí práce:	doc. Ing. Bajer Miroslav, CSc.

s	rozměr pruhu ovlivněného místním zatížením
S	součinitel geometrie výsypky
σ	normálové napětí
t	tloušťka stěny
t_c	místní tloušťka stěny válce v přechodovém spoji
t_h	místní tloušťka stěny výsypky
t_s	místní tloušťka stěny lemujícího pásu pod přechodovým spojem
U	vnitřní obvod vodorovného řezu zásobníku
W_{ok}	amplituda reprezentativní imperfekce
x	svislá souřadnice výsypky s počátkem ve vrcholu kužele nebo jehlanu
Y	variační funkce hloubky
ψ	redukční součinitel průběhu napětí
Y_j	variační funkce hloubky Janssenova tlaku
z	hloubka tuhé látky pod ekvivalentním povrchem při plnění zásobníku
Z_0	Janssenova charakteristická hloubka
Z_p	hloubka pod ekvivalentním povrchem působení místního zatížení v tenkostěnném zásobníku

Použité zkratky a symboly pro výpočet dle ČSN EN (1993-1-1, 1993-1-5, 1993-1-8)

α	součinitel imperfekce
A_v	smyková plocha
A_{vc}	smyková plocha sloupu
b	šířka průřezu
b_{eff}	účinná šířka přípoje mezipásového prutu k pásu
β_w	korelační součinitel
χ	součinitel vzpěrnosti
c	šířka nebo výška části průřezu
χ_{LT}	součinitel klopení
χ_y	součinitel vzpěrnosti při rovinném vzpěru k ose y-y
χ_z	součinitel vzpěrnosti při rovinném vzpěru k ose z-z
d	výška rovné části stojiny
d_c	čistá výška stěny sloupu
ΔM_y	moment v důsledku posunu těžištní osy y-y
ΔM_z	moment v důsledku posunu těžištní osy z-z
d_s	osová vzdálenost výztuh
E	modul pružnosti v tahu, v tlaku
ϕ	imperfekce ve tvaru globálního počátečního naklonění
f_{jd}	návrhová únosnost styčnicku v uložení
ϕ_{LT}	hodnota pro výpočet součinitele klopení χ_{LT}

SDRUŽENÉ OCELOVÉ ZÁSOBNÍKY	
Diplomová práce	
Autor:	Bc. Markéta Ivánková
Vedoucí práce:	doc. Ing. Bajer Miroslav, CSc.

f_u	pevnost v tahu
f_y	mez kluzu
γ_M	globální dílčí součinitel spolehlivosti
γ_{M0}	dílčí součinitel únosnosti průřezu kterékoliv třídy
γ_{M1}	dílčí součinitel únosnosti průřezu při posuzování stability prutu
γ_{M2}	dílčí součinitel únosnosti průřezu při porušení v tahu
h	výška průřezu
h_w	čistá výška stojiny mezi pásnicemi
I	moment setrvačnosti průřezu
k_{yy}	součinitel interakce
k_{yz}	součinitel interakce
k_{zy}	součinitel interakce
k_{zz}	součinitel interakce
L	délka prutu
l	délka
l_{eff}	účinná délka koutového svaru
$\bar{\lambda}$	poměrná štíhlost
$\bar{\lambda}_{LT}$	poměrná štíhlost při klopení
$M_{b,Rd}$	návrhová únosnost v ohybu při klopení
$M_{c,Rd}$	návrhová únosnost v ohybu k některé hlavní ose průřezu
M_{Ed}	návrhový ohybový moment
$M_{j,Rd}$	návrhová momentová únosnost styčnicku
$M_{pl,fc,Rd}$	návrhová plastická momentová únosnost pásnice sloupu
$M_{pl,Sk,Rd}$	návrhová plastická momentová únosnost výztuhy
$M_{y,Rk}$	charakteristická hodnota únosnosti v ohybu k ose y-y
$M_{z,Rk}$	charakteristická hodnota únosnosti v ohybu k ose z-z
$N_{b,Rd}$	návrhová vzpěrná únosnost tlačенého prutu
$N_{c,Rd}$	návrhová únosnost průřezu v prostém tlaku
N_{cr}	pružná kritická síla neoslabeného průřezu pro příslušný způsob vybočení
N_{Ed}	návrhová osová síla
N_{Rk}	charakteristická hodnota únosnosti v tlaku
σ_{\perp}	normálové napětí kolmé na účinný průřez svaru
$\sigma_{ }$	normálové napětí rovnoběžné s osou svaru
t	tloušťka
τ_{\perp}	smykové napětí kolmé na osu svaru
t_f	tloušťka pásnice
$\tau_{ }$	smykové napětí rovnoběžné s osou svaru
t_w	tloušťka stojiny
t_w	tloušťka stojiny
W_{pl}	plastický modul průřezu

SDRUŽENÉ OCELOVÉ ZÁSOBNÍKY	
Diplomová práce	
Autor:	Bc. Markéta Ivánková
Vedoucí práce:	doc. Ing. Bajer Miroslav, CSc.

Z rameno

9. SEZNAM PŘÍLOH

1. STATICKÝ VÝPOČET
2. VÝKAZ MATERIÁLU
3. VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE
4. OVĚŘENÍ RUČNÍCH VÝPOČTŮ, TECHNICKÝ LIST