

Studium a optimalizace návrhu svařovaných termoplastových konstrukcí ČOV

Bc. Vlastimil Baránek

Diplomová práce
2007



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2006/2007

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Vlastimil BARÁNEK**
Studijní program: **N 3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**

Téma práce: **Studium a optimalizace návrhu svařovaných termoplastových konstrukcí ČOV**

Zásady pro vypracování:

- 1. Vypracujte literární studii k dané problematice**
- 2. Sestavte FEM modely rozměrové řady malých čistíren odpadních vod, skružovaných a svařovaných z termoplastů**
- 3. Na základě výsledků FEM simulací napěťově deformačního stavu a modální analýzy optimalizujte způsob vyztužení pláště čistírny**
- 4. Získané požadavky formulujte jako doporučení pro aplikaci**

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. ŠUBA, O. Dimenzování a navrhování výrobků z plastů. 1. vyd., 2005. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. 112s. ISBN 80-7318-287-4

2. ČSN EN 1778 Charakteristické hodnoty pro svařované konstrukce z termoplastů - Stanovení dovoleného namáhání a modulů pro navrhování svařovaných dílů z termoplastů, srpen 2002

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Oldřich Šuba, CSc.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

13. února 2007

Termín odevzdání diplomové práce:

25. května 2007

Ve Zlíně dne 22. ledna 2007

prof. Ing. Ignác Hoza, CSc.

děkan



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.

ředitel ústavu

ABSTRAKT

Cílem diplomové práce je návrh a optimalizace (vyztužení stěny nádrže) řady malých čistíren odpadních vod (domovní čistírny odpadních vod), skružovaných a svařovaných z termoplastů. Na základě výsledků FEM simulací napěťově deformačního stavu a modální analýzy formulace doporučení pro aplikaci.

Klíčová slova: skořepiny, stabilita, čistírny odpadních vod

ABSTRACT

The object of this diploma work is project and optimization (reinforce wall tank) series small wastewater treatment systems (domestic wastewater treatment plants), circling and weld of the thermoplasts. According to results FEM simulations of stress deformation situation and modal analysis formulation references for application.

Keywords: shells, stability, wastewater treatment systems

Děkuji vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Oldřichu Šubovi, CSc. za odbornou pomoc a za poskytnutí evropských norem pro stanovení modulů tečení a pro dimenzování malých čistíren odpadních vod. Dále chci poděkovat bratrům Jaroslavu a Pavlu Baránkovi, stavebním technikům, za ochotu a pomoc při řešení stavební připravenosti čističek odpadních vod a poskytnutých publikací.

OBSAH

ÚVOD.....	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 MECHANICKÉ CHOVÁNÍ TENKOSTĚNNÝCH VÝROBKŮ S HOMOGENNÍ STĚNOU	12
1.1 MEMBRÁNOVÁ NAPJATOST A TUHOST TENKOSTĚNNÝCH PLOŠNÝCH VÝROBKŮ	12
1.2 OHYBOVÁ NAPJATOST A TUHOST TENKOSTĚNNÝCH PLOŠNÝCH VÝROBKŮ.....	13
1.3 ROTAČNĚ SYMETRICKÉ PŘÍPADY NAPJATOSTI VÁLCOVÝCH SKOŘEPIN	15
1.3.1 Rotačně souměrný ohyb okrajů válcové skořepiny – ohybové poruchy	16
2 MECHANICKÉ CHOVÁNÍ TENKOSTĚNNÝCH VÝROBKŮ S NEHOMOGENNÍ STĚNOU.....	19
3 TEPLOTNÍ NAPJATOST TENKOSTĚNNÝCH VÝROBKŮ S HOMOGENNÍ STĚNOU	20
3.1 TEPLOTNÍ NAPJATOST ROVINNÉ DESKY S GRADIENTEM TEPLoty VE STĚNĚ	20
3.2 TEPLOTNÍ NAPJATOST VÁLCOVÉ SKOŘEPINY S GRADIENTEM TEPLoty VE STĚNĚ	21
3.2.1 Teplotní napjatost na volném okraji válcové skořepiny s gradientem teploty ve stěně v radiálním směru.....	23
3.2.2 Teplotní napjatost ve stěně válcové skořepiny v blízkosti rovinného dna	24
4 TEPLOTNÍ NAPJATOST TENKOSTĚNNÝCH VÝROBKŮ S NEHOMOGENNÍ STĚNOU.....	26
5 STABILITA	27
5.1 STABILITA VÁLCOVÉ SKOŘEPINY ZATÍŽENÉ VNĚJŠÍM PŘETLAKEM – DLOUHÁ VÁLCOVÁ SKOŘEPINA	29
5.2 STABILITA VYZTUŽENÉ VÁLCOVÉ SKOŘEPINY ZATÍŽENÉ VNĚJŠÍM PŘETLAKEM – KRÁTKÁ VÁLCOVÁ SKOŘEPINA	31
6 SVAŘOVÁNÍ TERMOPLASTOVÝCH KONSTRUKCÍ ČOV.....	32
6.1 SVAŘOVÁNÍ HORKÝM PLYNEM – VYTLAČOVACÍ.....	32
7 ČISTÍRNÝ ODPADNÍCH VOD	35
8 CHARAKTERISTIKY PRO VÝPOČET A POSOUZENÍ KONSTRUKCÍ Z TERMOPLASTŮ – SHRUTÍ POZNATKŮ.....	36

8.1	POSTUP PŘI NÁVRHU KONSTRUKCÍ Z TERMOPLASTŮ	36
8.2	VLASTNOSTI MATERIÁLŮ	36
8.3	FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ VLASTNOSTI MATERIÁLU	37
8.4	SOUVISEJÍCÍ JEVY	38
8.5	POSOUZENÍ	39
II	PRAKTICKÁ ČÁST	40
9	CÍLE PROJEKTU	41
10	ROZMĚROVÁ ŘADA ČISTÍREN ODPADNÍCH VOD.....	42
11	OBEČNÉ INFORMACE PRO NAVRŽENOU ŘADU ČISTÍREN.....	43
11.1	ZATĚŽOVACÍ STAVY – KRÁTKODOBÉ A DLOUHODOBÉ HLEDISKO, ŽIVOTNOST	43
11.2	STANOVENÍ ZATÍŽENÍ NÁDRŽE PRO STAVY MS1, MS2 A PS.....	45
11.3	PROVOZNÍ PODMÍNKY, INSTALACE NÁDRŽE.....	45
11.4	MATERIÁLOVÉ PARAMETRY POUŽITÉHO MATERIÁLU.....	46
11.5	STANOVENÍ DOVOLENÝCH NAPĚTÍ A KOEFICIENTU BEZPEČNOSTI NA ZTRÁTU STABILITY	46
11.6	CHARAKTER NAPĚTÍ PRO STAVY MS1, MS2, PS	47
11.7	CHARAKTER DEFORMACE PLÁŠTĚ.....	48
11.8	CHARAKTER VYBOČENÍ PLÁŠTĚ NÁDRŽE – STABILITA	49
11.8.1	Obvodová žebra - stabilita.....	49
11.8.2	Obvodové pásy - stabilita.....	51
11.8.3	Kombinace obvodových a podélných žeber – stabilita	53
11.9	DRUHY POUŽITÉHO VYZTUŽENÍ	54
12	VÝSLEDKY SIMULACÍ NAPĚŤOVĚ DEFORMAČNÍHO STAVU A MODÁLNÍ ANALÝZY PRO NÁDRŽ O HLAVNÍCH ROZMĚRECH $D_N = 1400$ MM, $H = 1800$ MM	55
12.1	NEVYZTUŽENÁ NÁDRŽ	55
12.2	NÁDRŽ VYZTUŽENÁ OBVODOVÝMI ŽEBRY.....	57
12.3	NÁDRŽ VYZTUŽENÁ OBVODOVÝMI PÁSY	60
12.3.1	Nádrž vyztužená obvodovými pásy – verze 1	60
12.3.2	Nádrž vyztužená obvodovými pásy – verze 2	61
12.3.3	Nádrž vyztužená obvodovými pásy – verze 3	62
12.3.4	Nádrž vyztužená obvodovými pásy – verze 4	63
12.3.5	Nádrž vyztužená obvodovými pásy – verze 5	64
12.3.6	Nádrž vyztužená obvodovými pásy - verze 6.....	64
12.4	NÁDRŽ VYZTUŽENÁ PODÉLNÝMI ŽEBRY	65
12.5	NÁDRŽ VYZTUŽENÁ KOMBINACÍ OBVODOVÝCH A PODÉLNÝCH ŽEBER.....	67
12.5.1	Nádrž vyztužená kombinací obvodových a podélných žeber – verze 1	67
12.5.2	Nádrž vyztužená kombinací obvodových a podélných žeber – verze 2	67
12.5.3	Nádrž vyztužená kombinací obvodových a podélných žeber – verze 3	68

12.5.4	Nádrž vyztužená kombinací obvodových a podélných žeber – verze 4.....	69
12.6	DOPORUČENÉ NÁDRŽE PRO APLIKACI	70
13	VÝSLEDKY SIMULACÍ NAPĚŤOVĚ DEFORMAČNÍHO STAVU A MODÁLNÍ ANALÝZY PRO NÁDRŽ O HLAVNÍCH ROZMĚRECH D_N = 1750 MM, H= 2050 MM	72
13.1	NÁDRŽ NEVYZTUŽENÁ	72
13.2	NÁDRŽ VYZTUŽENÁ OBVODOVÝMI ŽEBRY.....	74
13.3	NÁDRŽ VYZTUŽENÁ OBVODOVÝMI PÁSY	76
13.3.1	Modifikace pro základní tloušťku stěny 5 mm	77
13.3.2	Modifikace pro základní tloušťku stěny 6 mm	77
13.3.3	Modifikace pro základní tloušťku stěny 8 mm	78
13.3.4	Modifikace pro základní tloušťku stěny 10 mm	79
13.4	NÁDRŽ VYZTUŽENÁ PODÉLNÝMI ŽEBRY	80
13.5	NÁDRŽ VYZTUŽENÁ KOMBINACÍ OBVODOVÝCH A PODÉLNÝCH ŽEBER.....	80
13.5.1	Pro základní tloušťku stěny 8 mm.....	80
13.5.2	Pro základní tloušťku stěny 10 mm.....	81
13.6	DOPORUČENÉ NÁDRŽE PRO APLIKACI	82
14	VÝSLEDKY SIMULACÍ NAPĚŤOVĚ DEFORMAČNÍHO STAVU A MODÁLNÍ ANALÝZY PRO NÁDRŽ O HLAVNÍCH ROZMĚRECH D_N = 1900 MM, H= 2300 MM	84
14.1	NÁDRŽ NEVYZTUŽENÁ	84
14.2	NÁDRŽ VYZTUŽENÁ OBVODOVÝMI ŽEBRY.....	86
14.3	NÁDRŽ VYZTUŽENÁ OBVODOVÝMI PÁSY	88
14.3.1	Modifikace pro základní tloušťku stěny 5 mm	89
14.3.2	Modifikace pro základní tloušťku stěny 6 mm	89
14.3.3	Modifikace pro základní tloušťku stěny 8 mm	90
14.3.4	Modifikace pro základní tloušťku stěny 10 mm	90
14.4	NÁDRŽ VYZTUŽENÁ PODÉLNÝMI ŽEBRY	91
14.5	NÁDRŽ VYZTUŽENÁ KOMBINACÍ OBVODOVÝCH A PODÉLNÝCH ŽEBER.....	92
14.5.1	Pro základní tloušťku stěny 8mm.....	92
14.5.2	Pro základní tloušťku stěny 10 mm.....	94
14.6	DOPORUČENÉ NÁDRŽE PRO APLIKACI	95
15	VÝSLEDKY SIMULACÍ NAPĚŤOVĚ DEFORMAČNÍHO STAVU A MODÁLNÍ ANALÝZY PRO NÁDRŽ O HLAVNÍCH ROZMĚRECH D_N = 2500 MM, H= 2500 MM	97
15.1	NÁDRŽ NEVYZTUŽENÁ	97
15.2	NÁDRŽ VYZTUŽENÁ OBVODOVÝMI ŽEBRY.....	99
15.2.1	Tloušťka základní stěny je shodná s tloušťkou žebra	99
15.2.2	Tloušťka základní stěny není shodná s tloušťkou žebra	100
15.3	NÁDRŽ VYZTUŽENÁ OBVODOVÝMI PÁSY	101
15.3.1	Modifikace pro základní tloušťku stěny 10 mm	101

15.3.2	Modifikace pro základní tloušťku stěny 15 mm	101
15.4	NÁDRŽ VYZTUŽENÁ PODÉLNÝMI ŽEBRY	105
15.5	NÁDRŽ VYZTUŽENÁ KOMBINACÍ OBVODOVÝCH A PODÉLNÝCH ŽEBER.....	105
15.5.1	Pro základní tloušťku stěny 15 mm.....	105
15.6	DOPORUČENÉ NÁDRŽE PRO APLIKACI	107
16	VÝSLEDKY SIMULACÍ NAPĚŤOVĚ DEFORMAČNÍHO STAVU A MODÁLNÍ ANALÝZY PRO NÁDRŽ O HLAVNÍCH ROZMĚRECH D_N = 3500 MM, H= 3000 MM	109
16.1	NÁDRŽ NEVYZTUŽENÁ	109
16.2	NÁDRŽ VYZTUŽENÁ OBVODOVÝMI ŽEBRY.....	111
16.3	NÁDRŽ VYZTUŽENÁ OBVODOVÝMI PÁSY	113
16.3.1	Modifikace pro základní tloušťku stěny 10 mm	114
16.3.2	Modifikace pro základní tloušťku stěny 15 mm	114
16.3.3	Modifikace pro základní tloušťku stěny 20 mm	115
16.4	NÁDRŽ VYZTUŽENÁ PODÉLNÝMI ŽEBRY	116
16.5	NÁDRŽ VYZTUŽENÁ KOMBINACÍ OBVODOVÝCH A PODÉLNÝCH ŽEBER.....	116
16.5.1	Pro základní tloušťku stěny 15 mm.....	116
16.5.2	Pro základní tloušťku stěny 20 mm.....	118
16.6	DOPORUČENÉ NÁDRŽE PRO APLIKACI	120
17	VÝSLEDKY SIMULACÍ NAPĚŤOVĚ DEFORMAČNÍHO STAVU A MODÁLNÍ ANALÝZY PRO NÁDRŽ O HLAVNÍCH ROZMĚRECH D_N = 5200 MM, H= 3500 MM	122
17.1	NÁDRŽ NEVYZTUŽENÁ	122
17.2	NÁDRŽ VYZTUŽENÁ OBVODOVÝMI ŽEBRY.....	124
17.3	NÁDRŽ VYZTUŽENÁ OBVODOVÝMI PÁSY	126
17.3.1	Modifikace pro základní tloušťku stěny 30 mm	127
17.3.2	Modifikace pro základní tloušťku stěny 35 mm	127
17.4	NÁDRŽ VYZTUŽENÁ PODÉLNÝMI ŽEBRY	129
17.5	NÁDRŽ VYZTUŽENÁ KOMBINACÍ OBVODOVÝCH A PODÉLNÝCH ŽEBER.....	130
17.5.1	Pro základní tloušťku stěny 30 mm.....	130
17.5.2	Pro základní tloušťku stěny 35 mm.....	131
17.6	DOPORUČENÉ NÁDRŽE PRO APLIKACI	132
18	DOPORUČENÍ PRO APLIKACI	134
	ZÁVĚR	140
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	141
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	142
	SEZNAM OBRÁZKŮ	145
	SEZNAM TABULEK.....	151
	SEZNAM PŘÍLOH.....	155

ÚVOD

Plasty v současnosti hrají důležitou roli v průmyslovém odvětví a tempo jejich rozvoje se neustále zvyšuje. Vzestup plastových výrobků je dán rostoucí potřebou (požadavky) techniky, kdy klasické materiály již nesplňují tyto požadavky. Díky plastům a kompozitům na bázi plastů byla uskutečněna řada inovačních procesů. Specifické vlastnosti těchto nových konstrukčních materiálů spolu s novými technologiemi otevírají široké možnosti použití v mnoha oblastech.

Ve srovnání s kovovými materiály jsou plasty obecně mnohem méně tuhé a pevné, mají výrazný sklon k tečení, vysokou teplotní roztažnost a výraznou závislost mechanických charakteristik na teplotě. Na druhé straně se však plasty snadno zpracovávají, mají nízkou energetickou náročnost, vysokou produktivitu výroby, možnost použití nových technologií, vynikající odolnost proti agresivním látkám a prostředím (chemický a potravinářský průmysl) a nízkou objemovou hmotnost (možnost dalšího snížení lehkostí). Nízkou tuhost a pevnost základních plastů lze výrazně zvyšovat vyztužováním dlouhými či plněním krátkými vlákny a částicovými plnivými. Vznikají tak vysoce progresivní konstrukční materiály (vláknové a částicové kompozity s plastovými matricemi).

Úspěšná aplikace plastů je podmíněná důkladnou technologickou přípravou, kvalifikovaným stanovením dimenzí a tvarem výrobku. Při návrhu je nutno vycházet z možností dané technologie, z vlastností použitého materiálu a funkce výrobku. Požaduje se určitá tuhost, chemická odolnost, nízká hmotnost, estetický vzhled aj. Základním požadavkem bývá, aby se výrobek za daných pracovních podmínek neporušil, alespoň ne v době kratší než je jeho životnost.

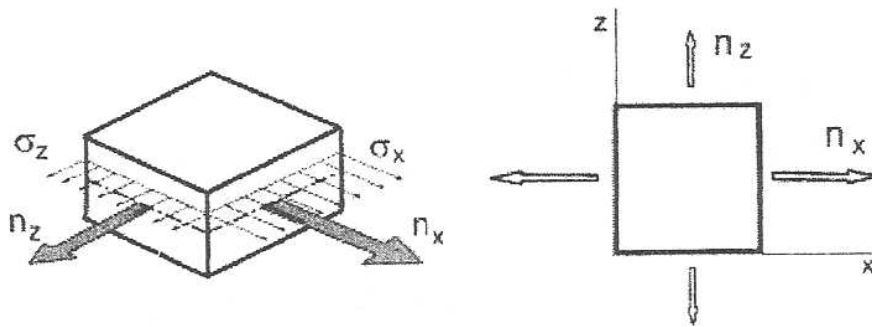
Specifičnost mechanického chování plastů přináší zvláštnosti a obtíže pevnostních výpočtů ve srovnání s klasickými konstrukcemi. Charakter technologie a snaha omezit hmotnost (snížení materiálových nákladů / ceny) vedou k tomu, že výrobky z plastů jsou nejčastěji navrhovány jako tenkostěnné. Proto musíme návrhu plastových konstrukcí věnovat zvýšenou pozornost, neboť opomenutím zdánlivě nepodstatných činitelů může vést k havárii konstrukce (např. stabilita).

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 MECHANICKÉ CHOVÁNÍ TENKOSTĚNNÝCH VÝROBKŮ S HOMOGENNÍ STĚNOU

1.1 Membránová napjatost a tuhost tenkostěnných plošných výrobků

Tělesa, jejichž jeden rozměr (tloušťka) je zanedbatelný oproti dvěma ostatním rozměrům, označujeme jako desky resp. skořepiny. Potom můžeme zanedbat složky napětí ve směru normály ke střední ploše desky (skořepiny) a předpokládat, že napjatost tenkých desek (skořepin) je pouze dvouosá.



Obr. 1. Element desky tloušťky s s rozměry 1×1 mm

Membránové deformace elementu skořepiny v hlavním souřadném systému x, z jsou podle rovnic elasticity, kde $(i, j = x, z)$:

$$\varepsilon_i^M = \frac{1}{E} (\sigma_i^M - \nu \sigma_j^M). \quad (1)$$

Inverzí těchto rovnic je pak:

$$\sigma_i^M = E^{**} (\varepsilon_i^M + \nu \varepsilon_j^M). \quad (2)$$

Výsledné vztahy jsou tak:

$$(\varepsilon_i^M + \nu \varepsilon_j^M) = \frac{n_i}{E^{**} s}, \quad (3)$$

$$\sigma_i^M = \frac{n_i}{s}. \quad (4)$$

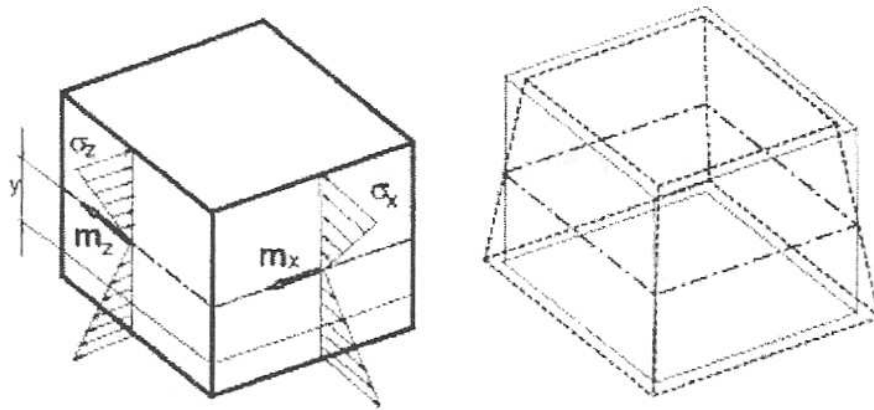
Výraz $E^{**} s$ je membránovou tuhostí stěny desky / skořepiny.

1.2 Ohybová napjatost a tuhost tenkostěnných plošných výrobků

Namáhejme nyní izotropní desku obdélníkového tvaru momenty m_x , m_z . Technická teorie ohybu ohybově tuhých desek – Kirchhoffova teorie je založena na těchto předpokladech:

a) normály ke střední (neutrální) ploše desky zůstávají přímé a kolmé k této ploše i po deformaci

b) střední plocha se při ohybu desky plošně nedeformuje – to znamená, že se neroztahuje ani nestlačuje.



Obr. 2. Element desky namáhaný ohybovými momenty m_x a m_z

Složky poměrné deformace jsou dány vztahem

$$\varepsilon_i(y) = \frac{1}{r_i}, \quad i, j = x, z. \quad (5)$$

Ohybové momenty m_x a m_z jsou vyvažovány v průřezech stěny vnitřními elementárními normálovými silami podle rovnic rovnováhy:

$$\int_{(s)} \sigma_i(y) dy \cdot y = m_i, \quad i, j = x, z. \quad (6)$$

Použitím rovnic elasticity a vztahu pro poměrnou deformaci, tak získáme vztah

$$\frac{1}{r_i} + \nu \frac{1}{r_j} = \frac{m_i}{D}, \quad i, j = x, z. \quad (7)$$

Konstantu D nazýváme válcovou (cylindrickou) ohybovou tuhostí stěny desky / skořepiny a je dána vtahem:

$$D = E^{**} j \quad (8)$$

$$E^{**} = E / (1 - \nu^2) \quad (9)$$

$$j = s^3 / 12. \quad (10)$$

V případě ohybu stěny do válcové plochy, tj. pro $1 / r_z = 0$ ($m_z = \nu m_x$) přechází rovnice (7) na rovnici

$$\frac{1}{r_x} = \frac{m_x}{D}. \quad (11)$$

V případě ohybu stěny do kulové plochy, tj. $m_x = m_z$, pak $(1 / r_x) = (1 / r_z) = (1 / r)$ přechází rovnice (7) na rovnici

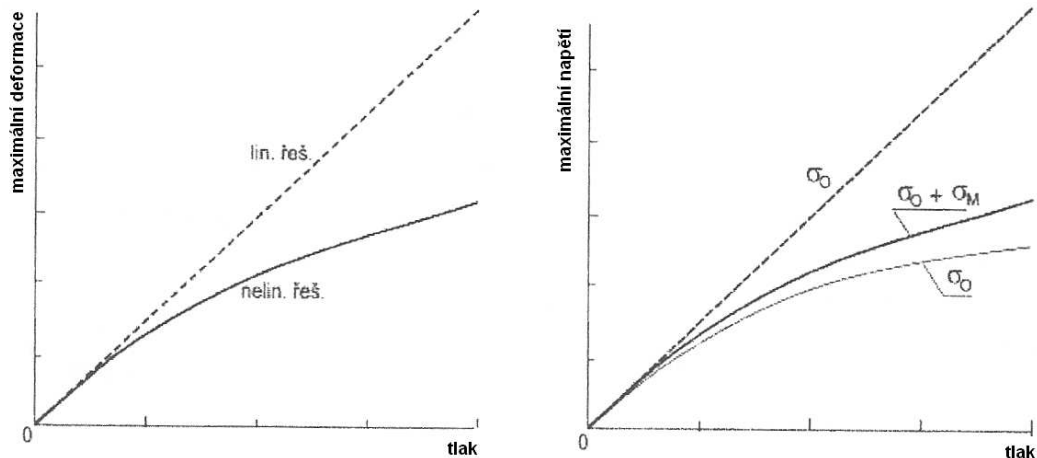
$$\frac{1}{r} = \frac{m}{E^{*} j} \quad (12)$$

$$E^{*} = E / (1 - \nu). \quad (13)$$

Ohybová napětí v desce budou nabývat hodnot dle vztahu

$$\sigma_i(y) = \frac{m_i}{j} y, \quad i = x, z, \quad \sigma_i = \frac{6 m_i}{s^2}, \quad i = x, z \quad (14)$$

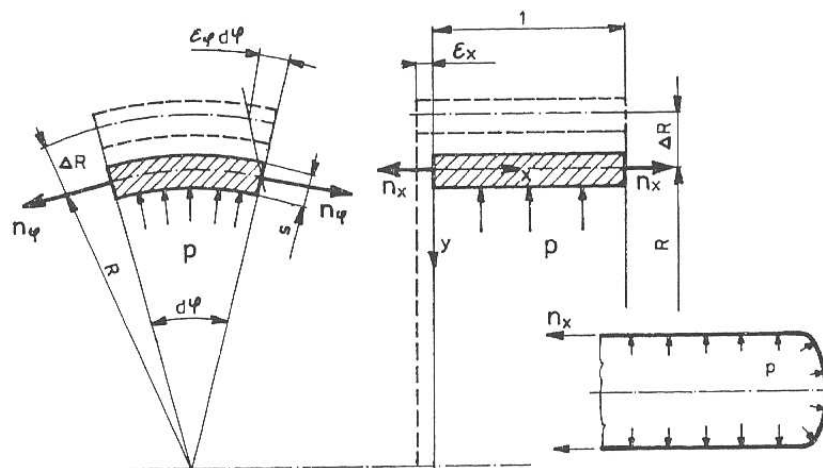
Rovnice (7) představují (až na zvláštní případ ohybu do válcové plochy) deformační plochu nerozvinutelnou, což odporuje výchozímu předpokladu o nulové deformaci střední – neutrální plochy. Ve skutečnosti vznikají při dvouosém ohybu desky kromě napětí ohybových také napětí membránová. S klesající tloušťkou stěny (případně modulu pružnosti) roste podíl membránových napětí, a tedy vzrůstá chyba v určení napjatosti a deformace desky vzhledem ke Kirchhoffově teorii. Porovnání lineárního řešení čistého ohybu (Kirchhoffova) s nelineárním řešením (zahrnující vliv membránových deformací a napětí) je znázorněno na (Obr. 3), ze kterého vyplývá, že s narůstajícím zatížením vzrůstá odchylka v určení deformace a napětí.



Obr. 3. Porovnání lineárního a nelineárního řešení ohybu

1.3 Rotačně symetrické případy napjatosti válcových skořepin

Nejčastějším případem rotačně souměrného případu válcové skořepiny je plášť tenkostěnné válcové nádoby, zatížené vnitřním přetlakem (Obr.4). Vycházíme z předpokladů, že skořepiny mají konstantní tloušťku, jsou hladké (bez výztuh, otvorů, hrdel apod.) a jsou dostatečně vzdáleny místům připojení vík, den, přírub atd.. To znamená, že nic nebrání posuvům v radiálním směru. Dále předpokládáme, že není zabráněno prodloužení skořepiny v osovém směru.



Obr. 4. Řez válcové nádoby v obvodovém a osovém směru

Uvolníme-li část nádoby řezem kolmým k ose, bude rovnice rovnováhy sil v ose nádoby

$$p \cdot \pi \cdot R^2 = \sigma_x \cdot 2 \cdot \pi \cdot R \cdot s \quad (15)$$

Osové (axiální) membránové napětí v plášti nádoby tak bude

$$\sigma_x = \frac{pR}{2s}. \quad (16)$$

Oddělíme-li myšleně dvěma řezy kolnými k ose válce pláště prstence jednotkové šířky, platí pro jeho polovinu rovnice rovnováhy:

$$2\sigma_\varphi s = \int_0^\pi pR \sin\varphi d\varphi = 2pR \quad (17)$$

Obvodové membránové napětí v plášti nádoby tak bude

$$\sigma_\varphi = \frac{pR}{s}. \quad (18)$$

Ze vztahů pro osovou a obvodovou membránovou napjatost vyplývá, že obvodové napětí je dvakrát větší než osové. Poněvadž v osovém ani obvodovém směru nepůsobí smyková napětí, jsou σ_x a σ_φ hlavní napětí.

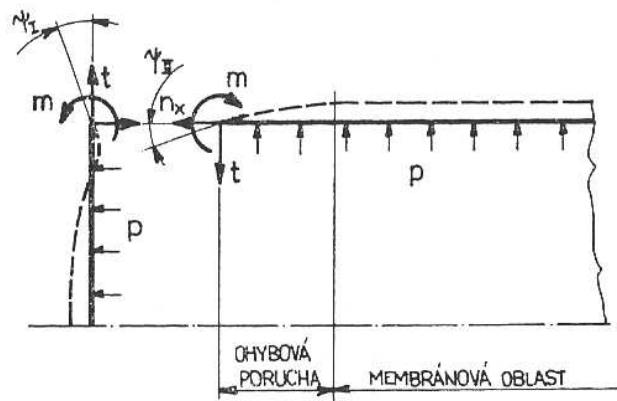
Membránové deformace pláště podle rovnic elasticity jsou:

$$\varepsilon_x^M = \frac{1}{E}(\sigma_x - \nu\sigma_\varphi), \varepsilon_\varphi^M = \frac{1}{E}(\sigma_\varphi - \nu\sigma_x). \quad (19)$$

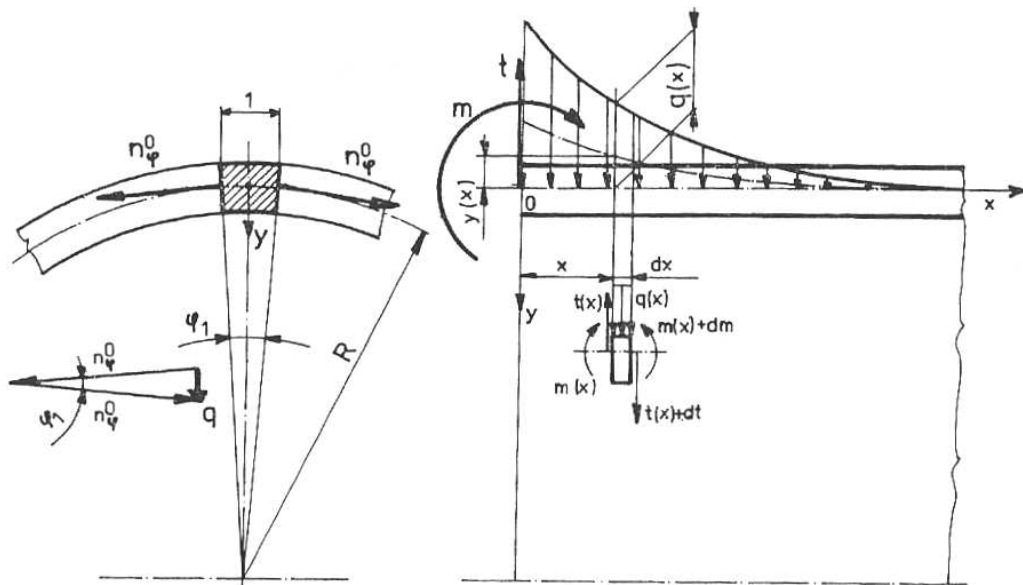
1.3.1 Rotačně souměrný ohyb okrajů válcové skořepiny – ohybové poruchy

Vztahy pro napjatost a deformaci válcové skořepiny s vnitřním přetlakem neplatí v těch místech a jejich okolí, kde je nějakým způsobem zabráněno volné membránové deformaci pláště (např. v místě připojení dna).

Při myšleném oddělení válcového pláště od dna (Obr. 5) se dna účinkem vnitřního přetlaku obecně jinak deformuje než válcový plášť. Proto pro obnovení souvislosti nádoby musíme připojit nejen osovou membránovou sílu n_x , ale i příčnou sílu t (pro překonání rozdílu radiálních posuvů) a ohybový moment m (pro překonání natočení) vztažený na jednotkovou délku obvodu řezu.



Obr. 5. Válcová nádoba v místě připojení dna

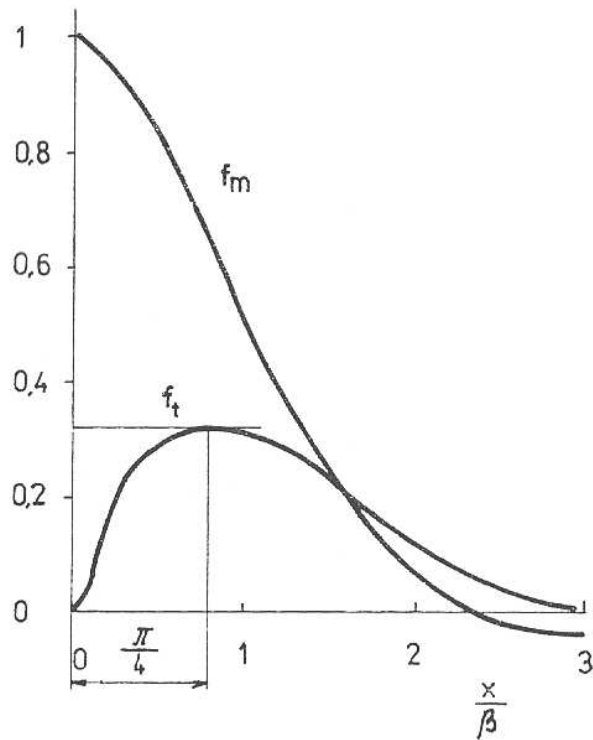


Obr. 6. Válcová skořepina zatížená na volném okraji ohybovým momentem a příčnou silou

Průběh momentů m a sil t můžeme popsat funkcemi

$$f_m(x) = e^{-\frac{x}{\beta}} \left(\sin \frac{x}{\beta} + \cos \frac{x}{\beta} \right) \quad (20)$$

$$f_t(x) = e^{-\frac{x}{\beta}} \sin \frac{x}{\beta}. \quad (21)$$



Obr. 7. Průběh funkcí f_m a f_t

Z grafického vyjádření funkcí (20) a (21) na (Obr. 7) je patrné, že pro $x = 3\beta$ lze již hodnoty f_m a f_t a tedy i hodnotu ohybového momentu m_x zanedbat. Ohyb okrajů skořepiny je tedy pouze místní povahy – od zdroje ohybové poruchy vymizí napjatost způsobená touto poruchou ve vzdálenosti $x \geq 3\beta$.

β je dána vztahem

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{4DR}{Es}}, \quad (22)$$

kde D je válcová ohybová tuhost, R je poloměr válcové nádoby, E je modul pružnosti a s je tloušťka stěny válcové nádoby.

2 MECHANICKÉ CHOVÁNÍ TENKOSTĚNNÝCH VÝROBKŮ S NEHOMOGENNÍ STĚNOU

V předchozí kapitole jsem se zabýval základními rovnicemi membránové a ohybové napjatosti a deformaci pro izotropní a homogenní tenkostěnné výrobky – tedy za předpokladu neproměnnosti mechanických vlastností po tloušťce stěny.

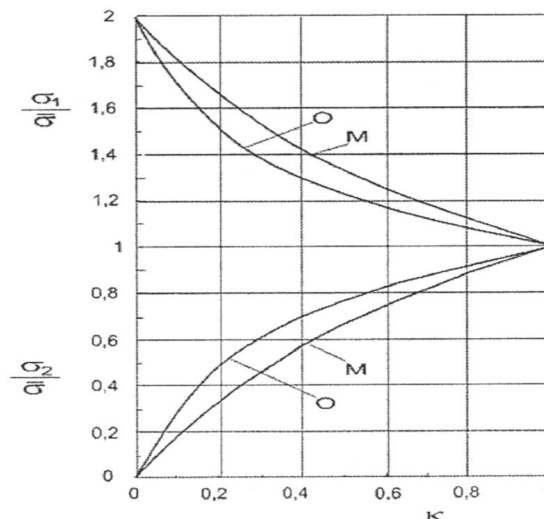
Z důvodů výrazných teplotních závislostí fyzikálních vlastností (především modulu pružnosti) se stěna z termoplastu účinkem gradientu teploty po tloušťce stěny stává de facto nehomogenní.

V diagramu na (Obr.8) jsou vyneseny relativní odchylky membránových a ohybových napětí pro rovinnou stěnu na obou površích (chladnější povrch – 1) v závislosti na redukčním poměru κ . Pomocí těchto závislostí lze hodnoty membránových a ohybových napětí, které jsme určili běžným způsobem (tj. za předpokladu homogenní stěny) opravit na vliv závislosti elastických konstant na teplotě.

Redukční poměr κ je dán vzátem

$$\kappa = \frac{E_2^{**}}{E_1^{**}} \quad (23)$$

$$E_1^{**} = E_1 / (1 - \nu^2), \quad E_2^{**} = E_2 / (1 - \nu^2) \quad (24)$$



Obr. 8. Relativní odchylky membránových a ohybových napětí v závislosti na poměru

κ

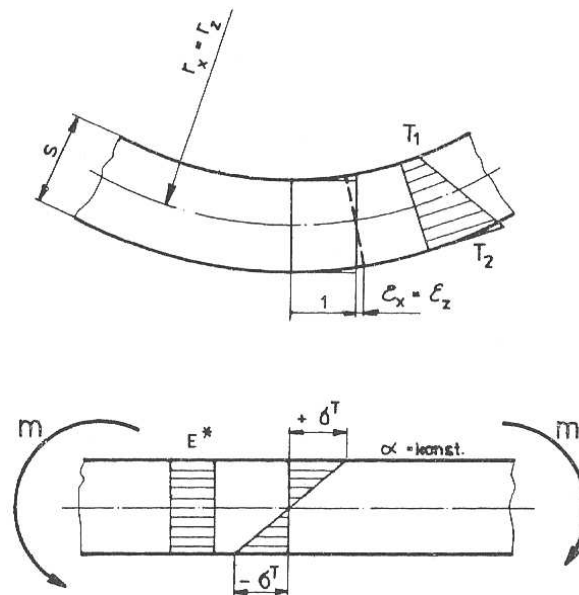
3 TEPLOTNÍ NAPJATOST TENKOSTĚNNÝCH VÝROBKŮ S HOMOGENNÍ STĚNOU

3.1 Teplotní napjatost rovinné desky s gradientem teploty ve stěně

Homogenní a izotropní deska je vystavena ustálenému teplotnímu režimu s gradientem teploty ve směru normály ke střední rovině.

Předpoklady:

- lineární rozložení teploty po tloušťce
- konstantní (na teplotě nezávislá) hodnota koeficientu teplotní roztažnosti
- příslušné teplotní dilatace v rovinách, ekvidistantních se střednicí desky se budou řídit lineárním zákonem



Obr. 9. Deformace desky vlivem teplotní dilatace

Poměrné deformace jsou dány vztahem

$$\varepsilon_x = \varepsilon_z = \frac{\alpha(T_2 - T_1)}{2}. \quad (25)$$

Křivost střední plochy účinkem gradientu teploty

$$\frac{1}{r_x} = \frac{1}{r_z} = \frac{\alpha(T_2 - T_1)}{2}. \quad (26)$$

Toto zprohýbání desky nevyvolává žádná napětí za předpokladu, že nebude desce bráněno volně se deformovat a jedná-li se o malé průhyby (Kirchhofova teorie ohybu desek).

Pokud toto zprohýbání potlačíme působením momentů $m_x=m_z=m$, vznikne v zakřivené desce při vyrovnání stejná napjatost jako v rovné desce, v níž vyvoláme shodné zakřivení. Hodnota momentu je dána vztahem

$$m^T = \frac{1}{r} E^* j = \frac{E^* \alpha (T_2 - T_1) s^2}{12} \quad (27)$$

Teplotní napětí vznikající v desce, jíž je bráněno ve zprohýbání, mají povahu ohybových napětí. V krajních plochách desky je unibiaxiální napjatost (Timoshenkův vztah)

$$\sigma^T = \pm \frac{6m}{s^2} = \pm \frac{E^* \alpha (T_2 - T_1)}{2}. \quad (28)$$

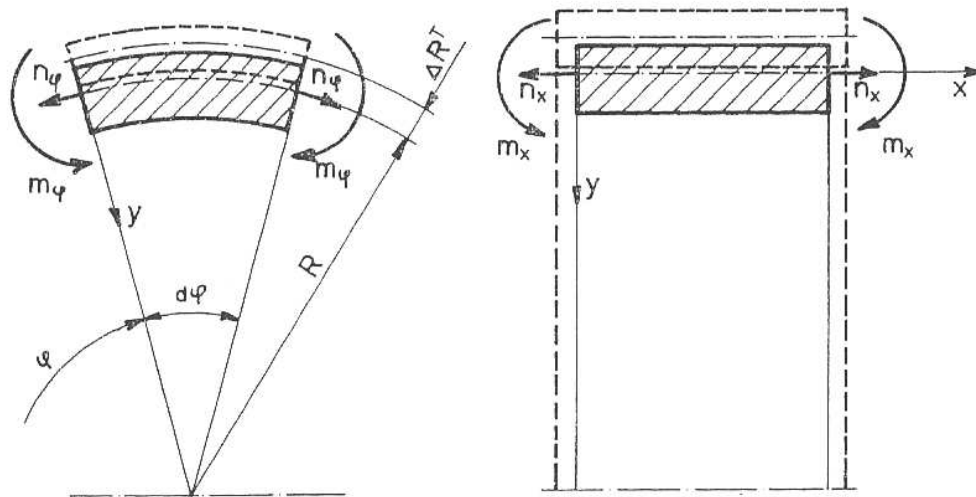
Na chladnější straně desky je vždy dvouosý tah. Těchto hodnot teplotního ohybového napětí je dosaženo je-li zcela bráněno zprohýbání stěny. V reálné konstrukci mohou být hodnoty teplotních napětí způsobených gradientem teploty ve stěně nižší v místech, kde je zprohýbání stěny částečně umožněno vlivem geometrie konstrukce, nebo naopak vyšší než v místech, způsobujících koncentrace teplotních napětí.

Timoshenkův vztah předpokládá neproměnnost elastických konstant po tloušťce stěny desky, tedy že nezávisí na teplotě. U termoplastů se vzhledem k výrazným závislostem modulu pružnosti na teplotě (a čase) dají očekávat výrazné rozdíly hodnot teplotních napětí oproti skutečnosti. Touto skutečností se zabývám v kapitole 4.

3.2 Teplotní napjatost válcové skořepiny s gradientem teploty ve stěně

Předpoklady:

- teplotní pole zatěžující válcovou skořepinu v její membránové oblasti je rotačně symetrické k ose skořepiny
- gradient teploty je nenulový pouze v radiálním směru normály ke střední ploše
- deformace skořepiny při přechodu, kdy je skořepina bez napětí, na provozní teplotní stav jsou rotačně symetrické
- myšlené příčné řezy, kolmé k ose skořepiny, zůstanou rovnými



Obr. 10. Deformace válcové skořepiny vlivem teplotní dilatace

Předpokládáme-li izotropní válcovou skořepinu, budou deformace v obou směrech (φ , x) shodné velikosti - vyjádřením rovnicí termoelastivity pro unibiaxiální napjatost tak bude hodnota deformace

$$\varepsilon = \frac{1}{E^*} \sigma^T(y) + \varepsilon^T(y), \quad (29)$$

kde hodnota teplotní dilatace je dána vztahem

$$\varepsilon^T(y) = \alpha \Delta T(y), \quad \Delta T(y) = T(y) - T_0. \quad (30)$$

Unibiaxiální teplotní napjatost stěny skořepiny v místě y činí

$$\sigma^T(y) = E^* (\varepsilon - \alpha \Delta T(y)). \quad (31)$$

Hodnoty napětí na površích stěny jsou dány vztahem

$$\sigma^T = \pm E^* \alpha \frac{(T_2 - T_1)}{2}. \quad (32)$$

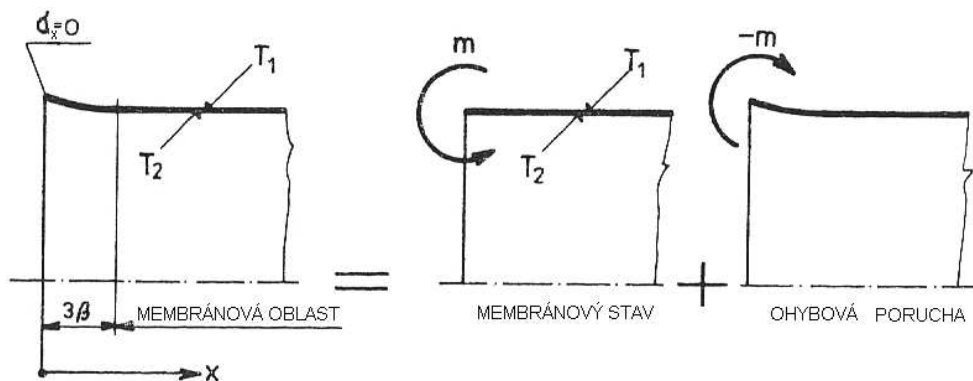
Vlivem gradientu teploty po tloušťce stěny v membránové oblasti válcové skořepiny vzniká teplotní napětí shodného charakteru jako v rovinné desce, které je při působení gradientu teploty po tloušťce bráněno ve zprohýbání.

Stěna v membránové oblasti válcové skořepiny vystavené teplotnímu poli s gradientem teploty v radiálním směru je ve stavu unibiaxiálního ohybu ohybovými momenty $m_\varphi = m_x$ velikosti

$$m^T = \sigma^T \frac{s^2}{6} = E^* \alpha (T_2 - T_1) \frac{s^2}{2}. \quad (33)$$

3.2.1 Teplotní napjatost na volném okraji válcové skořepiny s gradientem teploty ve stěně v radiálním směru

Napjatost v blízkosti volného okraje se bude lišit od teplotní napjatosti v membránové oblasti, tj. v místech o více než 3β vzdálených od okraje skořepiny. Membránový stav napjatosti a deformace na okraji můžeme myšleně obnovit momentem, jenž má hodnotu danou vztahem (33). Pro (Obr. 11) platí, že teplota okolí T_1 je nižší, než teplota T_2 .



Obr. 11. Membránová a ohybová oblast válcové skořepiny

Celkové napětí v obvodovém směru se skládá:

- 1) z ohybového napětí působeného momentem $m_x = -m^T$ v obvodovém směru (na povrchu 1 se záporným znaménkem)

$$\sigma_{\varphi}^{(1)} = \pm \nu \frac{6 m^T}{s^2} \quad (34)$$

- 2) z membránové obvodové složky, působené membránovou silou

$$\sigma_{\varphi}^{(2)} = \frac{n_{\varphi}^0}{s} = E \frac{\beta^2 m^T}{2DR} \quad (35)$$

Napětí $\sigma_{\varphi}^{(2)}$ je napětím tahovým.

3) z teplotního napětí membránové oblasti v obvodovém směru (na povrchu 1 s kladným znaménkem)

$$\sigma_{\varphi}^{(3)} = \sigma^T = \pm \frac{6 m^T}{s^2} \quad (36)$$

Celkové maximální obvodové napětí na povrchu 1 tak bude

$$\sigma_{\varphi \max} = \frac{6 m^T}{s^2} \left(1 - \nu + \frac{\sqrt{3(1 - \nu^2)}}{6} \right). \quad (37)$$

Celkové maximální obvodové napětí představuje zvýšení obvodového napětí na volném okraji ve srovnání s obvodovou složkou teplotní napjatosti v membránové oblasti σ^T .

3.2.2 Teplotní napjatost ve stěně válcové skořepiny v blízkosti rovinného dna

Nechť je teplota vnějšího povrchu nádoby (válcového pláště i dna) T_1 a teplota vnitřního povrchu T_2 , pro kterou platí $T_2 > T_1$. Tloušťky válcové části i dna jsou shodné.

Uvolníme-li od sebe myšleným řezem dno nádoby a válcovou část (Obr. 12), nastane na uvolněném okraji válcové skořepiny jistý ohyb – natočení okraje. Nulové natočení a membránový stav zde můžeme obnovit připojením momentu o velikosti dané vztahem (33).

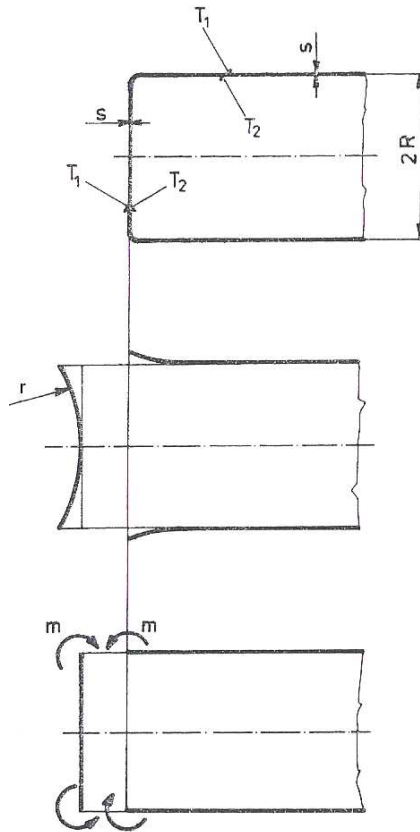
Uvolněné dno se účinkem nerovnoměrného ohřevu zdeformuje do kulové plochy s křivostí, která je dána vztahem

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\alpha(T_2 - T_1)}{s}. \quad (38)$$

K vyrovnání dna nádoby je nutno na jeho obvodu působit momentem

$$m = E^* j \frac{1}{r} = \frac{E^* j \alpha (T_2 - T_1)}{s}. \quad (39)$$

Tento moment je shodné velikosti jako (33), avšak opačné orientace. Z toho vyplývá, že v daném případě nedochází k místnímu zvýšení membránové teplotní napjatosti.

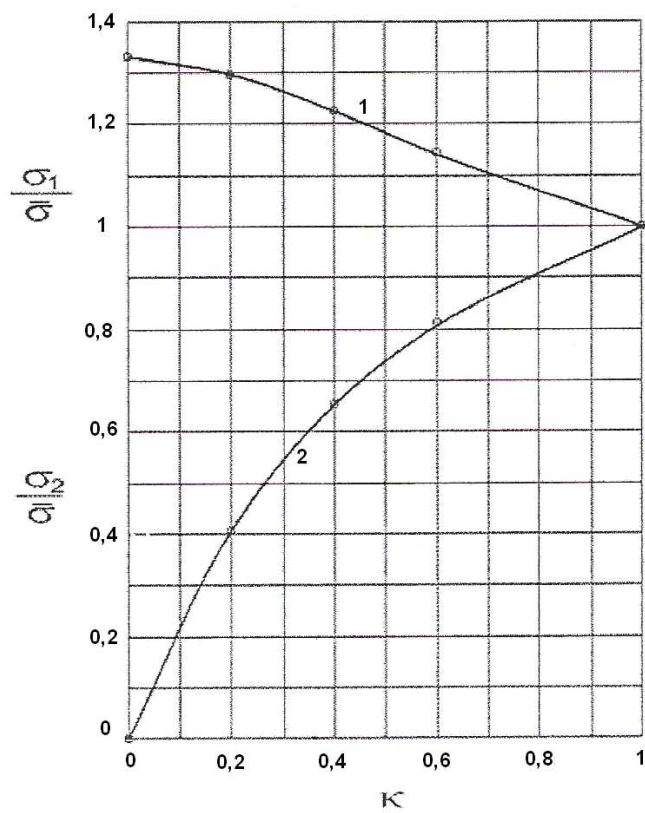


Obr. 12. Uvolnění válcové nádoby

4 TEPLOTNÍ NAPJATOST TENKOSTĚNNÝCH VÝROBKŮ S NEHOMOGENNÍ STĚNOU

Klasický Timoshenkův vztah předpokládal neproměnnost elastických konstant po tloušťce stěny desky. Nyní se budu zabývat problematikou, kdy již uvažujeme při určování teplotní napjatosti s proměnností elastických konstant po tloušťce stěny desky.

Relativní odchylky hodnot napětí na obou površích (T_1 – teplota na chladnějším povrchu, T_2 – teplota na teplejším povrchu) vůči hodnotě dle vztahu (28) v závislosti na redukčním poměru κ jsou vyneseny na (Obr.13).



Obr. 13. Relativní odchylky teplotního napětí na obou površích vzhledem k redukčnímu poměru κ

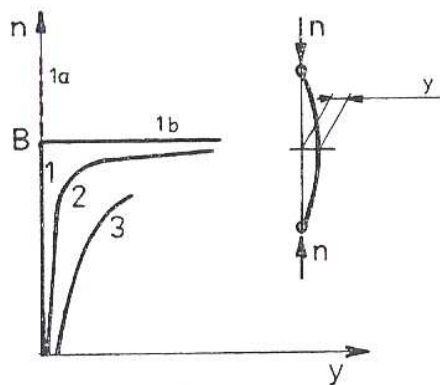
5 STABILITA

Je-li tenkostěnná válcová skořepina ve své membránové oblasti zatížena rotačně symetrickým účinkem vnějšího přetlaku, případně vnitřního podtlaku, obrátí se znaménka membránových sil n_φ , n_x a ve stěně skořepiny pak působí tlaková membránová napjatost. Existence tlakových napětí v tenkostěnné konstrukci, a tedy existence vnějších účinků, které vyvolávají tlaková napětí (osové tlakové zatížení, ohyb pláště, účinky větru aj.) znamená obecně nebezpečí ztráty stability konstrukce. [3]

Jednoose tlačena ideálně rovná deska, jejíž boční okraje jsou volné, je při zatížení

$$n \leq n_{KR} = \frac{\pi^2 \cdot D}{l^2} \quad (40)$$

ve stabilní rovnovážné poloze. Dostoupí-li tlakové zatížení n kritické hodnotě n_{KR} (Obr. 14), vybočí deska ohybem – $1b$, přímý tvar $1a$ již není stabilní. Ve skutečnosti nejsou desky nikdy dokonale rovné, takže v důsledku počátečních deformací vybočují již od počátku zatěžování – křivky 2 a 3 na (Obr. 14). Křivky skutečných desek tak neprocházejí bodem B (bod bifurkace – rozdělení rovnováhy), ale ohýbají se blíže nebo dále od bodu B v závislosti na velikosti počátečních deformací. [3]



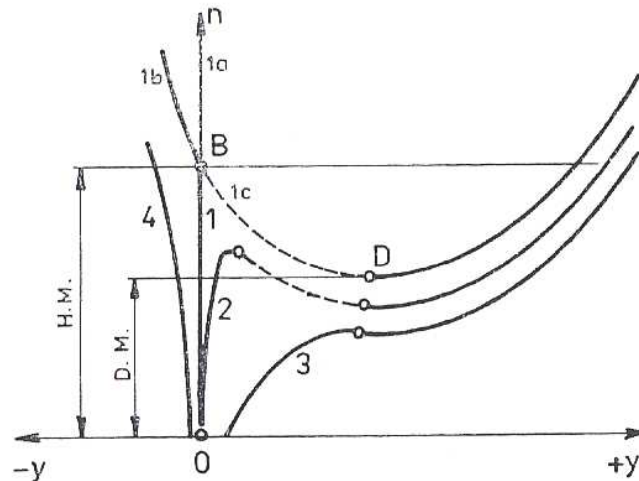
Obr. 14. Odezva jednoose tlačené rovné desky

Odezva tenkostěnné válcové skořepiny na tlaková namáhání je složitější, jak ukazuje schéma na (Obr. 15). Při zvyšování zatížení je teoreticky ideální válcový plášť v rovnováze bez vybočení – ve stavu čisté membránové tlakové napjatosti – až do bodu B v němž se rovnováha rozvětvuje na tři teoreticky možné rovnovážné stavy:

1a – pokračuje pouze membránový stav pláště bez ohybu

1b – plášť skořepiny vybočí směrem vně – od středu křivosti ($y < 0$)

1c – plášť se prolomí směrem ke středu křivosti ($y > 0$)



Obr. 15. Odezva válcové skořepiny na tlaková namáhání

Stavy 1a a 1b rovnováhy pláště jsou nestabilní. Reálným stavem je pouze 1c. Po vybočení – prolomení pláště nabývá skořepina stabilního stavu až v bodě D (tzv. dolní kritická hranice). Na rozdíl od předchozího případu desky je plášť skořepiny schopen přenášet další – pokritické zatížení, pokud se neporuší. [3]

Diagram reálných skořepin s odchylkami od ideálního tvaru se bude lišit od průběhu 1 – 1c. Křivka 2 znázorňuje chování skořepiny s malými odchylkami tvaru. Únosnost skořepiny nejdříve roste, nedosáhne však bodu B, ale prudce klesá při prolomení pláště na svou dolní mez, pak opět poněkud roste. Jsou-li počáteční deformace skořepiny větší, zvyšují se ohybové deformace značnou měrou již od počátku zatěžování bez charakteristického náhlého prolomení pláště – křivka 3. Chování skořepiny s počáteční deformací ve směru od středu křivosti je znázorněno křivkou 4. Tato charakteristika je strmější a plášť se prolomí při napětích, jež jsou vyšší než horní kritická mez. [3]

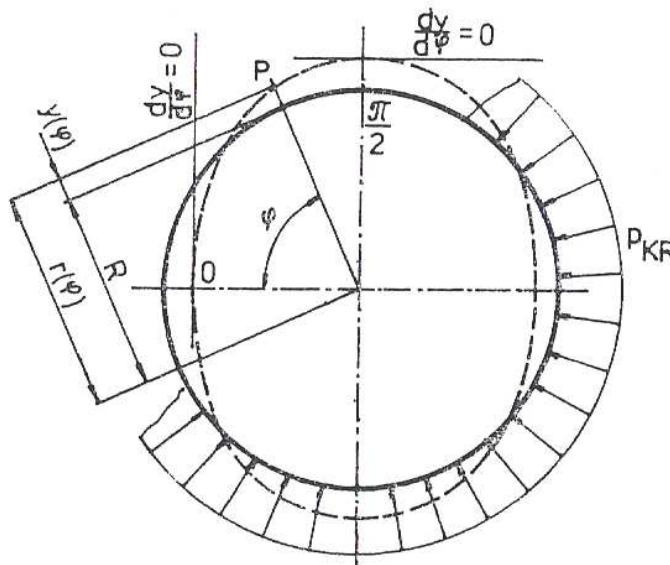
5.1 Stabilita válcové skořepiny zatížené vnějším přetlakem – dlouhá válcová skořepina

Válcové skořepiny při řešení stability rozdělujeme na krátké válcové skořepiny a dlouhé válcové skořepiny. Dělicím faktorem, zda se jedná o krátkou či dlouhou válcovou skořepinu je vztah

$$L \geq 4R \sqrt{\frac{R}{s}}, \quad (41)$$

kde R je poloměr střednice válcové skořepiny a s je tloušťka stěny skořepiny. [3]

Máme hladkou tenkostěnnou dlouhou válcovou skořepinu zatíženou vnějším přetlakem p , neproměnným po její délce. Při určité hodnotě přetlaku p_{KR} ztratí plášť skořepiny stabilitu, tak že původně kruhový průřez se zploští (Obr. 16).



Obr. 16. Dlouhá válcová skořepina zatížená vnějším přetlakem p

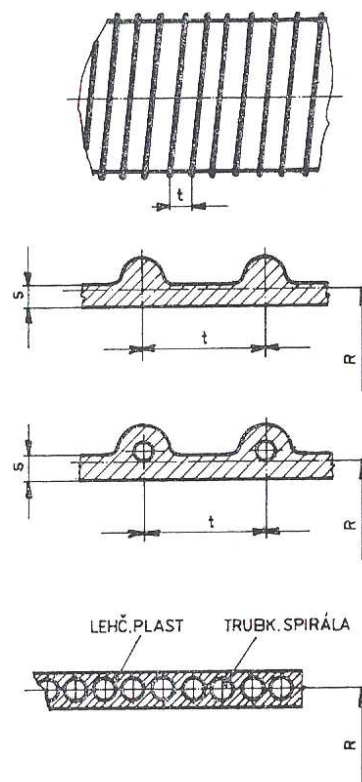
Hodnota kritického tlaku pro dlouhou válcovou skořepinu je dána vztahem

$$p_{KR} = \frac{3D}{R^3}, \quad (42)$$

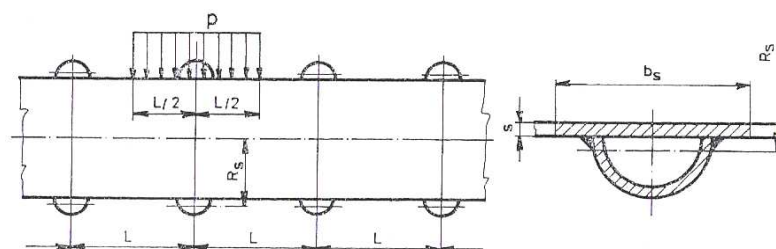
rozepsáním vztahu (42) pak

$$p_{KR} = \frac{E^{**}}{4} \left(\frac{s}{R} \right)^3 \quad (43)$$

Ze vztahu pro homogenní hladkou skořepinu (43) vyplývá, že při daném materiálu a požadovaném průměru tak zbývá zvyšovat odolnost proti ztrátě stability pouze zvětšením tloušťky stěny pláště. Takový postup by znamenal značné zvýšení materiálových nákladů u skořepin větších průměru. Proto je nutno volit vyztužení tenkostěnného válcového pláště. Řada rour velkých průměrů se vyrábí buď jako roury vinuté (tedy s kontinuální výztuží) (Obr.17), nebo s prstencovou výztuží jež mají konstantní vzdálenost mezi jednotlivými prstenci (hovoříme pak o diskontinuální výztuží) (Obr.18) – dosáhneme tak značné ohybové tuhosti a současně dosáhneme úspory hmotnosti (snížení nákladů na materiál). Na druhou stranu rostou se složitostí daného typu vyztužení technologické (výrobní) náklady.



Obr. 17. Kontinuální výztuž
válcové skořepiny



Obr. 18. Diskontinuální výztuž válcové skořepiny

5.2 Stabilita vyztužené válcové skořepiny zatížené vnějším přetlakem – krátká válcová skořepina

Opatříme-li válcovou skořepinu prstencovou výztuží (Obr.18), rozdělíme tak válcovou skořepinu na několik kratších úseků L s konstantní roztečí. Jednotlivé úseky L válcové skořepiny jsou tak oboustranně vetknuté – jedná se pak o krátkou válcovou skořepinu. Při výpočtu pak řešíme pouze jeden úsek.

Hodnota kritického tlaku pro krátkou válcovou skořepinu je dána vztahem

$$p_{KR} = E^{**} \left(\frac{s}{R} \right)^{\frac{5}{2}} \frac{R}{L}. \quad (44)$$

Hodnota koeficientu bezpečnosti na ztrátu stability pro plastové konstrukce je $S=2$.



Obr. 19. Ukázka nádrží, pokud se problém stability v praxi podcení

6 SVAŘOVÁNÍ TERMOPLASTOVÝCH KONSTRUKCÍ ČOV

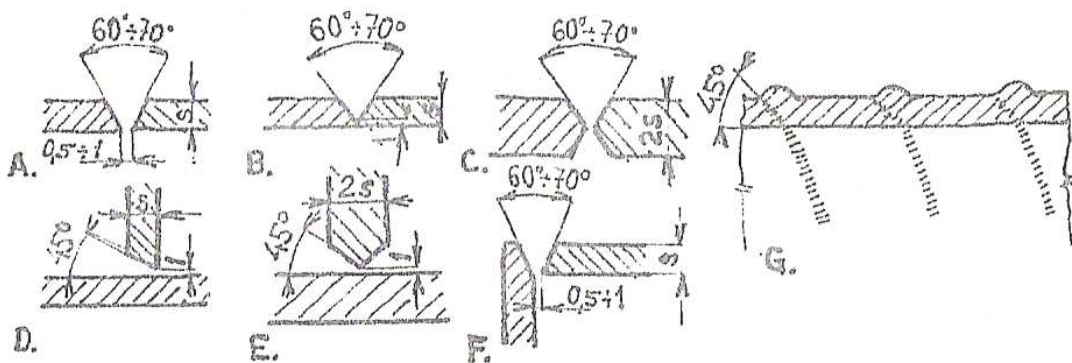
Z důvodu, že budou dané termoplastové bloky spojovány svařováním horkým plynem – vytlačovací, omezím výklad pouze na vytlačovací svařování.

6.1 Svařování horkým plynem – vytlačovací

Extruzní svařování se používá pro svařování tenkostěnných polotovarů o tloušťce od 4 do 25 mm z polyethylenu o vysoké hustotě a z polypropylenu. Výhodou extruzního svařování je jeho jednoduchost a velká produktivita, široké technologické možnosti a velmi dobrá kvalita svarů.

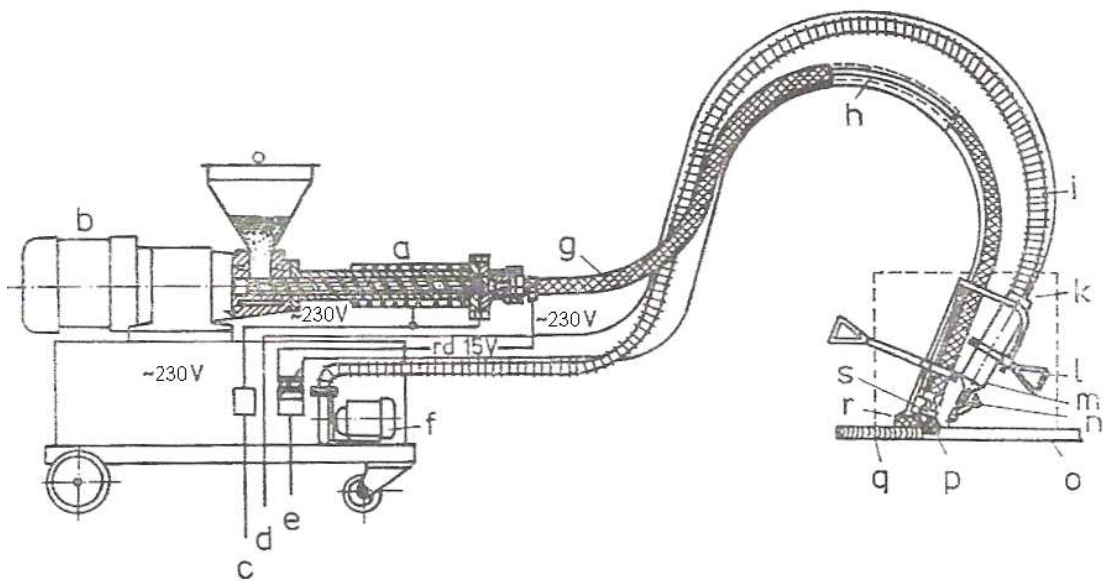
Ve svařovaném materiálu se obvykle upravuje lůžko svaru obráběním (Obr. 20). Velmi tenké desky (do tloušťky 2 mm) nevyžadují žádné úpravy, tlustší desky (do tloušťky 8 mm) se upravují pro svary V a pro desky které mají tloušťku stěny nad 8 mm se volí svar X.

Jako přídatný materiál se používají dráty o průměru 2 až 4 mm, případně různé profily (vytlačovaná struna přesahující průměr 4 mm). Počet pokládání drátů ve svaru (housesek) závisí na průměru drátu a tloušťce svařovaného materiálu. Do kořene svaru se zpravidla pokládají dráty o průměru 2mm, ostatní dráty pak mívají průměr 3 mm. Počet svaru (housesek) neřešíme jedná-li se o vytlačování strun, kdy dané spojení daných polotovarů se provádí pomocí jednoho svaru – tím se získávají tlusté homogenní svary, i když mohou vznikat potíže se smršťováním poměrně velkých objemů.



Obr. 20. Úpravy lůžka svaru

Metoda extruzního svařování spočívá ve vytlačení taveniny spojovacího materiálu mezi spojované povrchy, které ohřeje na svařovací teplotu a spojí se s nimi za vzniku svaru. Někdy lze ohřev spojovaných povrchů usnadnit předehřevem horkým vzduchem – schéma takového zařízení je na (Obr. 21). Svařování může probíhat buď bez kontaktu vytlačovací hubice se spojovanými díly, nebo při kontaktu hubice se svařovanými povrchy. V prvním případě mluvíme o bezkontaktním extrúzním svařování, ve druhém případě o kontaktním extrúzním svařování.



Obr. 21. Zařízení pro extruzní svařování

- a – vytlačovací stroj
- b – regulovatelný motor vytlačovacího stroje
- c – regulátor teploty vytlačovacího stroje
- d – přívod elektrického proudu pro ohříváč vzduchu
- e – regulátor teploty hadice s vytlačovaným přídavným materiálem
- f – ventilátor
- g – oplet z tepelné izolace
- h – PTFE hadice
- i – hadice pro vzduch
- k – svařovací hlava

l – držadlo

m – ohřev vzduchu

n – teploměr pro ohřátý vzduch

o – svařovaný díl

p – vodící hrot

q – svar

r – svařovací patka

s – ústí hadice

Stroje pro extruzní svařování mohou být konstruovány buď s oddělenou plastikační jednotkou (Obr. 21), nebo jako ruční s malým extrudérem přímo ve svařovací hlavě. Stroje mohou být zásobovány práškem, granulátem nebo páskem polymeru. K zajištění různých požadavků slouží výměnné hubice a patky (patkou se patřičně vymezí prostor lůžka svaru).

Kvalita svaru se posuzuje ze vzhledu a z měření mechanických vlastností. Kvalitní svar na lomu má spíše vláknitý než sklovitý vzhled a lomová plocha má být členitá, značně odchýlena od proložené roviny. Ve svaru nesmí být přítomny spálené vměstky a bubliny. Norma ČSN EN 1778 uvádí krátkodobý a dlouhodobý součinitel svaru. Pro dimenzování uvádí norma ČSN EN 1778 pro extruzní svařování krátkodobý svařovací faktor $f_s=0,8$ a dlouhodobý svařovací faktor $f_l=0,6$. Zkoušky svarových spojů se provádějí podle ČSN EN 12 814, vizuální kontrola svarových spojů se provádí podle ČSN EN 13 100. Vodotěsnost svarů u termoplastových nádrží se provádí dle ČSN EN 12566-3.

7 ČISTÍRNY ODPADNÍCH VOD

Čistírny se obecně konstruují buď jako hranaté, nebo jako válcové nádrže. Dále rozeznáváme konstrukce balené a/nebo na místě montované. Konstrukce (nádrže) jsou vyráběny svařováním homogenních desek (desky – polotovary se vyrábějí vytlačováním přes plochou vytlačovací hlavu a následně se zakružují pomocí 4 válcové zakružovačky).

Nádrže mohou být instalovány jako nadzemní nebo podzemní (zapuštěné v zemi). Nádrže jsou konstruovány buď jako samonosné, tzn. při podzemním uložení osazení do výkopu na základovou desku a obsyp zeminou, nebo vyžadují-li to podmínky instalace (výskyt spodní vody, pojezdová plocha aj.) je konstrukce podzemní nádrže upravena pro částečné nebo úplné obetonování. Podle typu použitého filtračního systému a jeho složitosti je vnitřní prostor čistírny rozdělen jednou či více přepážkami ze stejného materiálu jako plášť čistírny.

8 CHARAKTERISTIKY PRO VÝPOČET A POSOUZENÍ KONSTRUKCÍ Z TERMOPLASTŮ – SHRNUÍ POZNATKŮ

8.1 Postup při návrhu konstrukcí z termoplastů

Při návrhu konstrukcí z termoplastů se obvykle postupuje podle těchto bodů:

- a) geometrie konstrukce
- b) vlastnosti materiálu
- c) okrajové podmínky
- d) zatížení (kombinace zatěžovacích stavů)
- e) výpočet
- f) posouzení

8.2 Vlastnosti materiálů

Izotropie nebo anizotropie materiálu je ovlivněna technologií výroby, druhem materiálu a dalšími faktory. Modul tečení v tahu nemusí být totožný s modulem tečení v tlaku. Tuto vlastnost ve více či méně ostré podobě mají všechny plasty. U některých termoplastů je však tento rozdíl menší a proto při technických výpočtech může být zanedbán. Pak můžeme považovat materiál za izotropní, pro který potřebujeme při výpočtu znát minimálně dvě veličiny (modul tečení a Poissonův součinitel).

Modul tečení se u termoplastů používá místo modulu pružnosti. Je v každém okamžiku dán podílem napětí (konstantní) a deformace. Modul tečení závisí na čase, teplotě, okolním prostředí a na úrovni napětí.

Poissonův součinitel se u termoplastů pohybuje v rozmezí 0,3 až 0,5. U všech plastů se zvětšuje s růstem teploty a v oblasti měknutí plastů dosahuje hodnoty 0,5. Rovněž se zvětšuje s velikostí a dobou působení mechanického namáhání. U plastů vyztužených vlákny má větší hodnotu při namáhání ve směru orientace než ve směru kolmém (v tomto případě velikost Poissonova součinitele může klesnout k hodnotě kolem 0,1).

Součinitel teplotní roztažnosti je o řád větší než se uvádí pro ocel a beton. To je nutné respektovat při kombinaci různých materiálů. Součinitel teplotní roztažnosti se mění s teplotou.

Hustota materiálu se pohybuje u konstrukčních termoplastů v hodnotách kolem 900 až 1 700 kg.m⁻³. Je závislá na technologii výroby, změně teploty, zatížení, působení okolního prostředí atd.

Pevnost materiálu v tlaku je v obecném případě většinou, pokud neuvažujeme stabilitu, vyšší než pevnost v tahu. Proto se dělají jen tahové zkoušky a předpokládá se stejná pevnost v tahu i tlaku.

8.3 Faktory ovlivňující vlastnosti materiálu

Teplota je výrazně dominantním vlivem pro konstrukce z termoplastů. Je také velmi často limitujícím faktorem pro použitelnost. Spolu s životností určuje hranici hospodárnosti. Například při životnosti konstrukce 25 roků, což je běžný požadavek na funkčnost stavebních konstrukcí, se považuje teplota 50 °C za maximální. Lze navrhovat konstrukce i pro vyšší teploty, avšak za cenu zkrácení životnosti nebo neúměrného zdražení výrobku.

Zatížení a kombinace zatěžovacích stavů nutno vybrat tak, aby z hlediska únosnosti konstrukce byly kombinace co nejpříznivější, tzn. většinou na konci životnosti konstrukce.

Vliv okolního prostředí vyplývá z mnohostranného použití plastů. Jedná se o styk s různými chemikáliemi, které mohou způsobit bobtnání (příjem látky) nebo extrakci (vyluhování) plastů. Chování plastů při působení chemikálii se určuje za předem zvolených (dohodnutých) podmínek pro vzájemné srovnání materiálů při jejich výběru. Volba zkušebních podmínek a vlastností, které se mají testovat, závisí na předpokládaném použití na zkoušené hmotě.

Odolnost proti vlivu prostředí výrobci většinou udávají ve třech stupních, a to odolný, podmíněně odolný a neodolný.

Záření má velký vliv na stárnutí plastů. Jde zejména o ultrafialové záření, které působí na plochu a v určité míře proniká i do materiálu. Některé plasty jsou proti UV záření odolné, běžné plasty, polyolefiny a PVC však nejsou odolné a musí se proti vlivu UV záření chránit.

Rentgenové a radioaktivní záření se chová v postatě jako UV paprsky, je však energetičtější a působí na celou hmotu materiálu.

Po působení záření se materiál stává křehčí a méně pružný než původní materiál, což je ovšem při mechanickém nebo teplotním namáhání příčinou vzniku mikrotrhlin.

Doba působení teploty, zatížení, okolního prostředí atd. ovlivňuje pevnost a modul tečení a ve většině případů dochází ke snížení velikosti těchto veličin.

Technologie výroby má velký vliv na výsledné vlastnosti hotového výrobku. Teplota taveniny, teplota formy, tlaky, vstřikovací rychlost, jednotlivé časové úseky zpracovatelského procesu atd. ovlivňující hustotu, rozměry, vlastnosti a vnitřní pnutí plastových výrobků. To vše má vliv na pevnost, tažnost, houževnatost, odolnost proti korozi za napětí i na další vlastnosti.

Spojování plastů se realizuje mnoha způsoby. Pro termoplasty se však nejvíce používá svařování, kde je zapotřebí brát ohled na typ svaru, způsob provedení svaru, kde musíme počítat se snížením únosnosti apod. Svarové spoje je vhodné volit co nejvíce symetrické a umisťovat je pokud možno do neutrální osy průřezu a do míst konstrukce méně namáhaných.

8.4 Související jevy

Tečení (creep) a relaxace se projevuje při působení napětí, teploty a okolního prostředí s časem. Proto jsou termoplasty vhodné pro konstrukce méně namáhané. V reálných materiálech mohou oba jevy probíhat současně.

Smršťování při tváření se uvádí obvykle v určitém rozmezí. Předem nelze stanovit, protože závisí nejen na druhu materiálu, ale i na tvaru výrobku, na druhu a umístění vtoků a na zpracovatelských podmínkách (teploty, tlaky, časy), neboť vzniká vnitřní pnutí ve výrobku.

Dodatečné smrštění bývá obvykle několikanásobně menší než smrštění při tváření a probíhá po několik týdnů nebo měsíců. Příčinou je uvolňování vnitřního pnutí, dokrystalizace u semikrystalických termoplastů apod.

Vnitřní pnutí konstrukce je nutno zvážit v případě, kdy se vnější působící zatížení může sčítat s vnitřním pnutím, které zbylo po vstřikování nebo jiném tváření.

8.5 Posouzení

Stabilita je významným faktorem při návrhu a posouzení konstrukcí z termoplastů. Pro posouzení stability je určující hodnota modulu tečení na konci životnosti konstrukce. Koeficient bezpečnosti na ztrátu stability pro plastové konstrukce musí být $S \geq 2$.

Životnost je doba, po kterou konstrukce musí bez ztráty užitné hodnoty plnit funkci, na kterou je navržena. Pro převážnou část konstrukcí z termoplastů ve stavebnictví se předpokládá životnost 25 roků. V plynárenství a ve vodárenství se počítají potrubní systémy běžně na životnost 50 roků. Jinak lze posuzovat konstrukce na životnost požadovanou zadavatelem.

Dalšími sledovanými faktory jsou cena, ekologie (možnost recyklace) a konstrukční detaily.

Při výpočtu termoplastových konstrukcí je nezbytné vycházet z dlouhodobých hodnot materiálových charakteristik. Dále je nutno věnovat zvýšenou pozornost zejména kontrole stability.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

9 CÍLE PROJEKTU

- 1) Sestavení FEM modelů rozměrové řady malých čistíren odpadních vod (hladkých – nevyztužených).
- 2) Pomocí FEM simulací napěťově deformačního stavu a modální analýzy stanovení charakteristik pro různé tloušťky stěny hladkého pláště čistírny. Provedení pevnostní a stabilitní kontroly výsledků.
- 3) Optimalizace hladkého pláště nádrže vyztužením pro tloušťky stěn, jež nevyhovovaly pevnostnímu a/nebo stabilitnímu hledisku.
- 4) Na základě zjištěných poznatků a zkušeností formulace doporučení pro aplikaci.

Konstrukce je řešena pomocí konečněprvkového systému COSMOS/M 2.5. Pro posouzení stability konstrukce je použita lineárně elastická modální analýza skořepinového modelu.

10 ROZMĚROVÁ ŘADA ČISTÍREN ODPADNÍCH VOD

Při návrhu hlavních rozměrů čistíren jsem vycházel z praktických rozměrových řad, jež jsou běžně vyráběny a dodávány na trhu (např. AQUATEC s. r. o.).

Tab. 1. Navržená řada čistíren odpadních vod

Nádrž	1	2	3	4	5	6
D_n	1400	1750	1900	2500	3500	5200
H	1800	2050	2300	2500	3000	3500

Bližší informace (stavy napětí, deformací, a stability) k jednotlivým navrženým nádržím jsou uvedeny v následujících kapitolách.

V jednotlivých kapitolách uvádím pouze výsledky pro maximální počet 5 žeber (obvodových, pásových, podélných) a pro maximální počet 10 žeber pro kombinaci obvodových a podélných žeber, jejichž tloušťka nepřesahuje základní tloušťku stěny nádrže, dále pro nejvyšší hodnotu bezpečnosti na ztrátu stability $S = 3$ (mimo výsledky pro nevyztuženou – hladkou nádrž). Ostatní výsledky spolu s již uvedenými v daných kapitolách jsou uvedeny v části pro přílohy (PI až PVI) – tabulkové provedení a (PVII až PXII) – grafické provedení.

Poznámka: Přílohy (PI až PVI) jsou v tištěné podobě a přílohy (PVII až PXII) jsou v elektronické podobě přiloženy na CD.

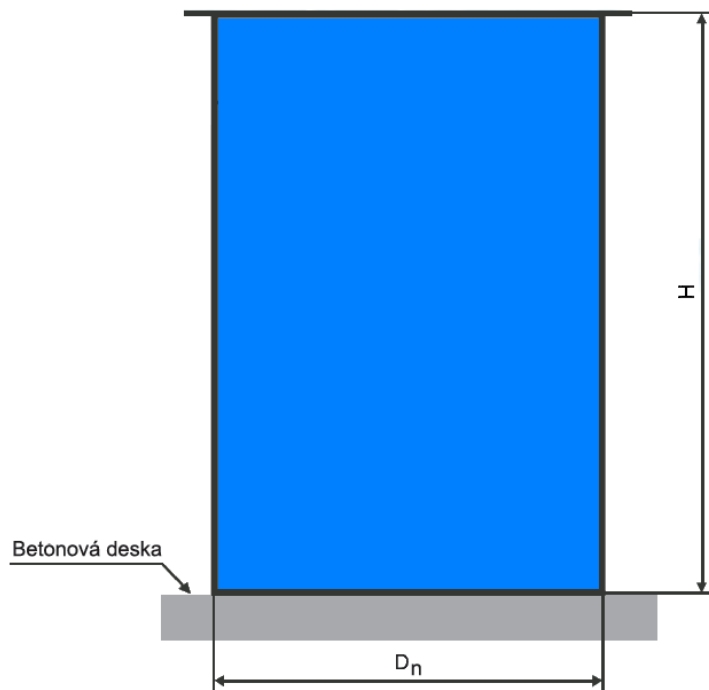
11 OBECNÉ INFORMACE PRO NAVRŽENOU ŘADU ČISTÍREN

11.1 Zatěžovací stavy – krátkodobé a dlouhodobé hledisko, životnost

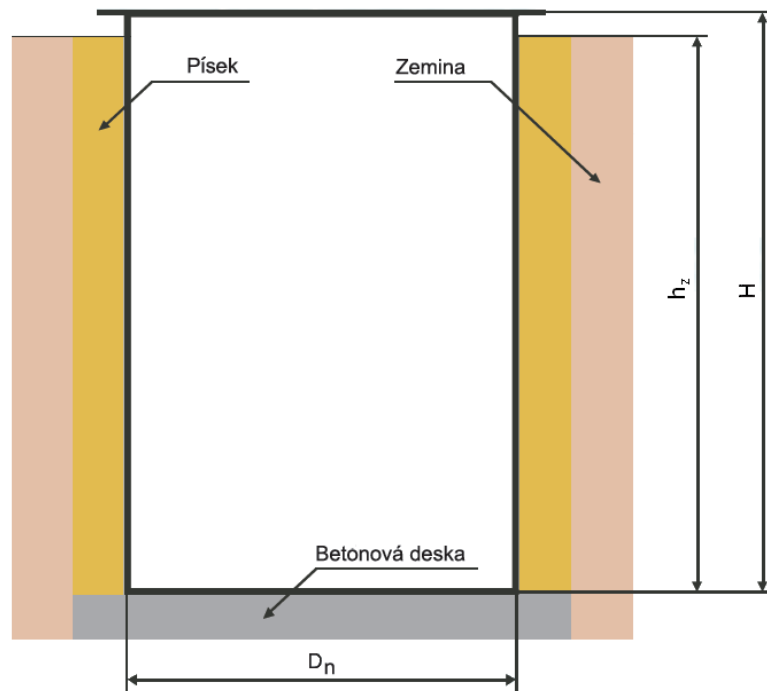
Konstrukce budou vystaveny třem případům zatížení:

- nádrž nezapuštěná v zemi a zaplněná vodou po horní okraj (zatížení pouze hydrostatickým tlakem) – MS1
- nádrž zapuštěná v zemi a zcela prázdná (zatížení pouze tlakem zeminy) – MS2
- nádrž zapuštěná v zemi a zaplněná vodou do předepsané výšky h_{VPS} (zatížení hydrostatickým tlakem a tlakem zeminy) - PS

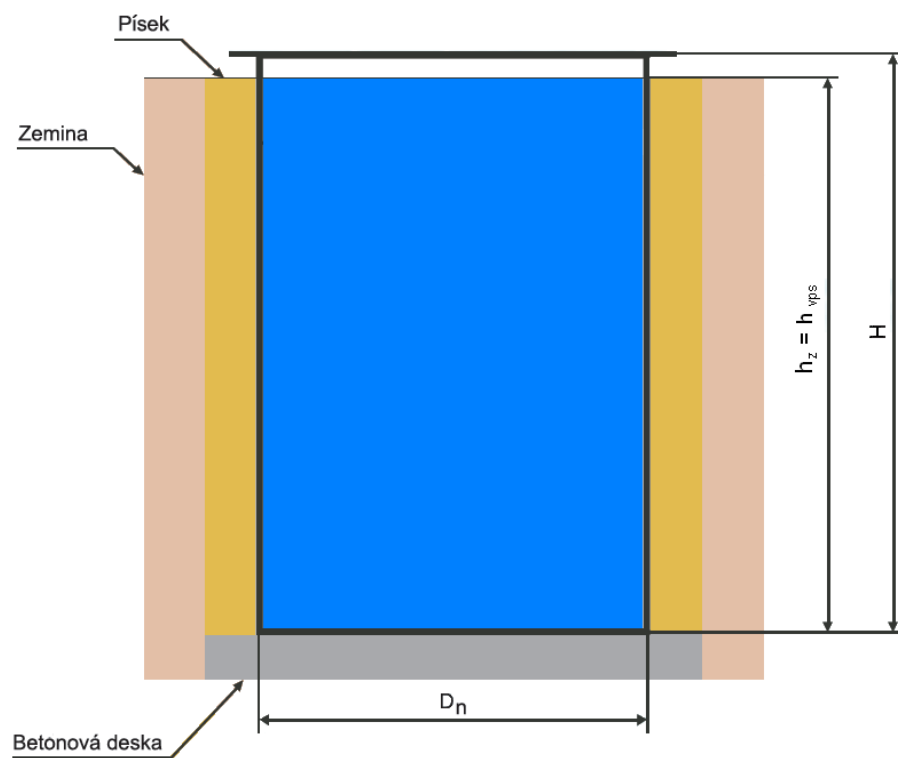
Konstrukce je dimenzována z krátkodobého hlediska (MS1, MS2) pro maximální dobu zatížení 10 hodin (což je dostačující pro odběr kalu a případnou údržbu). Z dlouhodobého hlediska (PS) je konstrukce dimenzována na životnost 25 let.



Obr. 22. Mimořádný stav 1



Obr. 23. Mimořádný stav 2



Obr. 24. Provozní stav

11.2 Stanovení zatížení nádrže pro stavy MS1, MS2 a PS

Vztahy pro výpočet zatížení způsobené médiem (znečištěná voda) a zeminou jsou dány dle ČSN EN 12566 – 3.

Zatížení hydrostatickým tlakem při MS1 (pro dno i plášť nádrže) se stanoví ze vztahu

$$p_{vms} = H \cdot \rho_v \cdot g \quad (45)$$

Zatížení tlakem zeminy při MS2 (pro plášť nádrže) se stanoví ze vztahu

$$p_z = K \cdot h_z \cdot \rho_z \cdot g \quad (46)$$

Zatížení hydrostatickým tlakem a tlakem zeminy při PS se stanoví ze vztahu

a) pro dno nádrže

$$p_{ps \text{ (dno)}} = h_{vps} \cdot \rho_v \cdot g \quad (47)$$

b) pro plášť nádrže

$$p_{ps \text{ (plášť)}} = (h_{vps} \cdot \rho_v \cdot g) - p_z \quad (48)$$

11.3 Provozní podmínky, instalace nádrže

Typ instalace nádrže bude podzemní, kdy se nádrž osadí (zabuduje) do výkopu na vodorovnou betonovou základovou desku. Po usazení nádrže se provede obsyp zeminou. Prostor mezi stěnou pláště nádrže a zeminou je oddělen pískem (pro písek koeficient horizontálního tlaku půdy $K = 0,33$ dle ČSN EN 12566-3). Tuhost základové betonové desky předepisují 0,1 MPa /mm.

Nepřetržitý provoz. Výška hladiny media (znečištěné vody) bude maximálně h_{vps} (podle typu navržené nádrže), hladina vody a terén obsypu je ve stejné výšce ($h_{vps} = h_z$). Hustota zeminy $\rho_z = 1800 \text{ kg/m}^3$, hustota znečištěné vody $\rho_v = 1000 \text{ kg/m}^3$.

Tab. 2. Vliv tuhosti základové desky na celkovém srovnávacím napětí – Von Mises pro nádrž $D_n = 5200 \text{ mm}$, $H = 3500$, $s = 20 \text{ mm}$, hydrostatický tlak $p = 0,034 \text{ MPa}$

Tuhost podkladu (MPa/mm)	0	0,025	0,05	0,1	0,5	1	∞
VM (MPa)	>300	4,322	4,302	4,283	4,257	4,252	4,246

11.4 Materiálové parametry použitého materiálu

Navržené konstrukce (jak hladké, tak i vyztužené) budou vyráběny z termoplastu PP-H.

Tab. 3. Mechanické vlastnosti pro termoplast PP-H

Krátkodobý modul pružnosti	1000 MPa
Dlouhodobý modul pružnosti (pro 20°C, maximální zatížení 2,5 MPa a životnost 25 let)	303 MPa
Poissonovo číslo (pro krátkodobý i dlouhodobý stav)	0,35

11.5 Stanovení dovolených napětí a koeficientu bezpečnosti na ztrátu stability

Dovolené napětí pro krátkodobý stav

$$\sigma_{DK} = \frac{k \cdot f_s}{A_1 \cdot A_{2K} \cdot S} \quad (49)$$

Dovolené napětí pro dlouhodobý stav

$$\sigma_{DD} = \frac{k \cdot f_l}{A_1 \cdot A_{2K} \cdot S} \quad (50)$$

Dle ČSN EN 1778:

- korekční faktor zohledňující vlivy pracovního media $A_{2K} = 1,0$
- korekční faktor pevnosti materiálu v závislosti na teplotě $A_1 = 1,3$
- koeficient bezpečnosti
 - na pevnost $S_p = 2$
 - na mez ztráty stability $S = 2$
- krátkodobý svařovací faktor – extruzní svařování $f_s = 0,8$
- dlouhodobý svařovací faktor – extruzní svařování $f_l = 0,6$
- časový stav pevnosti
 - pro 20°C a 10 hodin $k = 18,6 \text{ N/mm}^2$
 - pro 20°C a 25 let $k = 10,9 \text{ N/mm}^2$

Dosažením faktorů dle ČSN EN 1778 do rovnic (49) a (50) dostaneme hodnoty dovolených (maximálně přípustných) napětí:

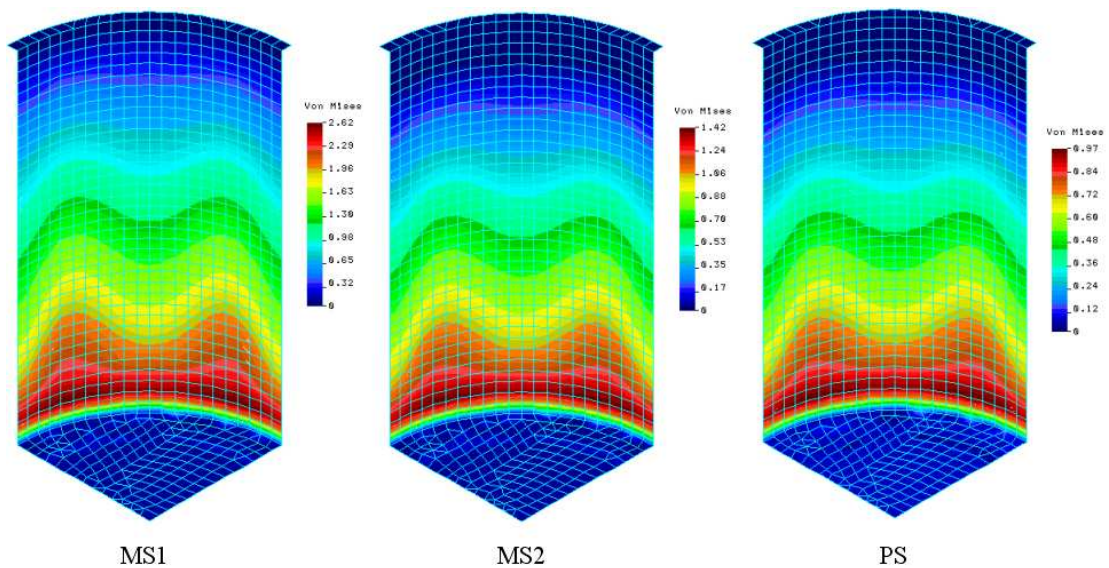
Pro krátkodobý stav

$$\sigma_{DK} = \frac{18,6 \cdot 0,8}{1,3 \cdot 1 \cdot 2} = 5,7 \text{ MPa}$$

Pro dlouhodobý stav

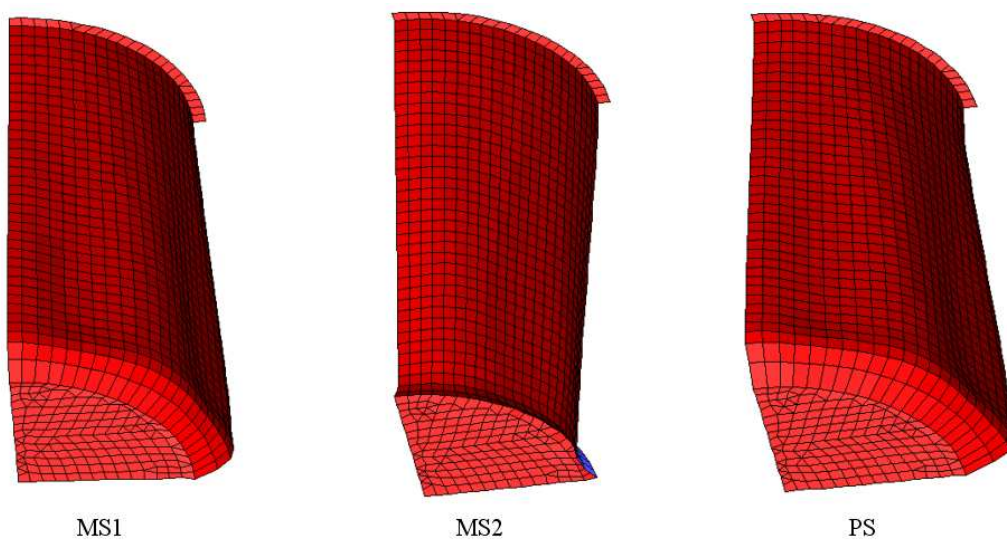
$$\sigma_{DD} = \frac{10,9 \cdot 0,6}{1,3 \cdot 1 \cdot 2} = 2,5 \text{ MPa}$$

11.6 Charakter napětí pro stavy MS1, MS2, PS



Obr. 25. Průběh napětí pro základní tloušťku stěny 5 mm a stavy MS1, MS2, PS

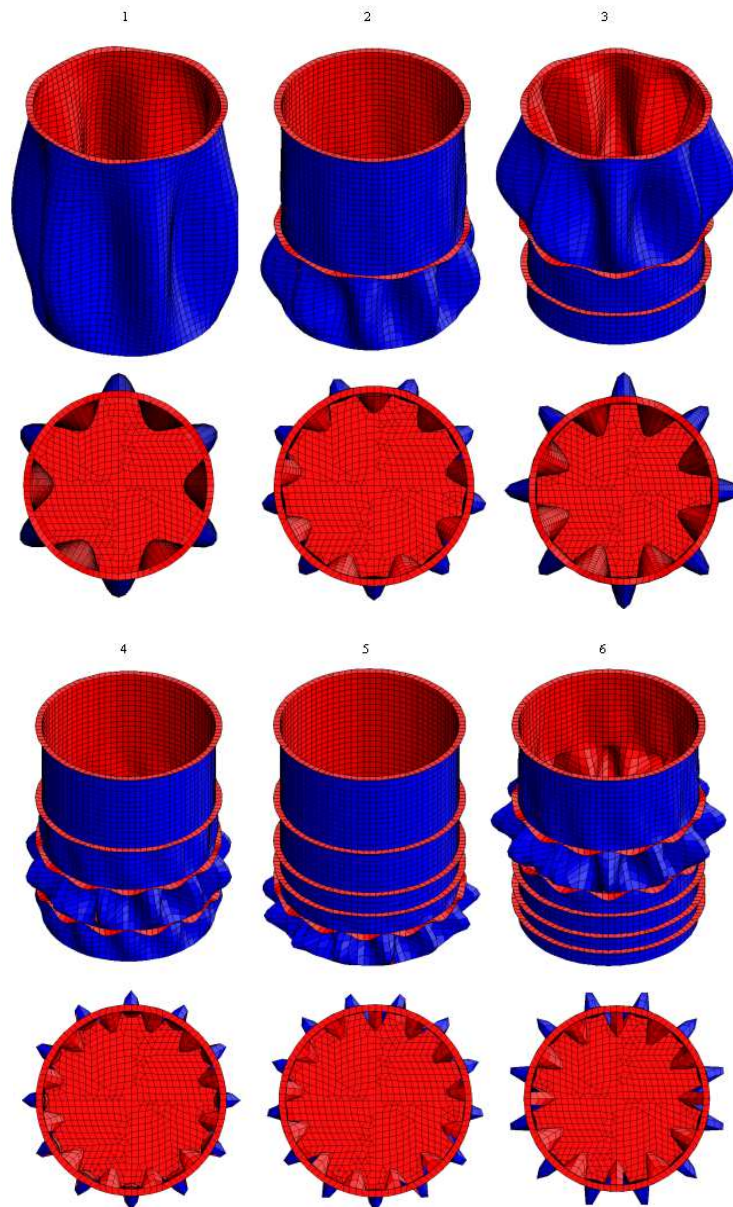
11.7 Charakter deformace pláště



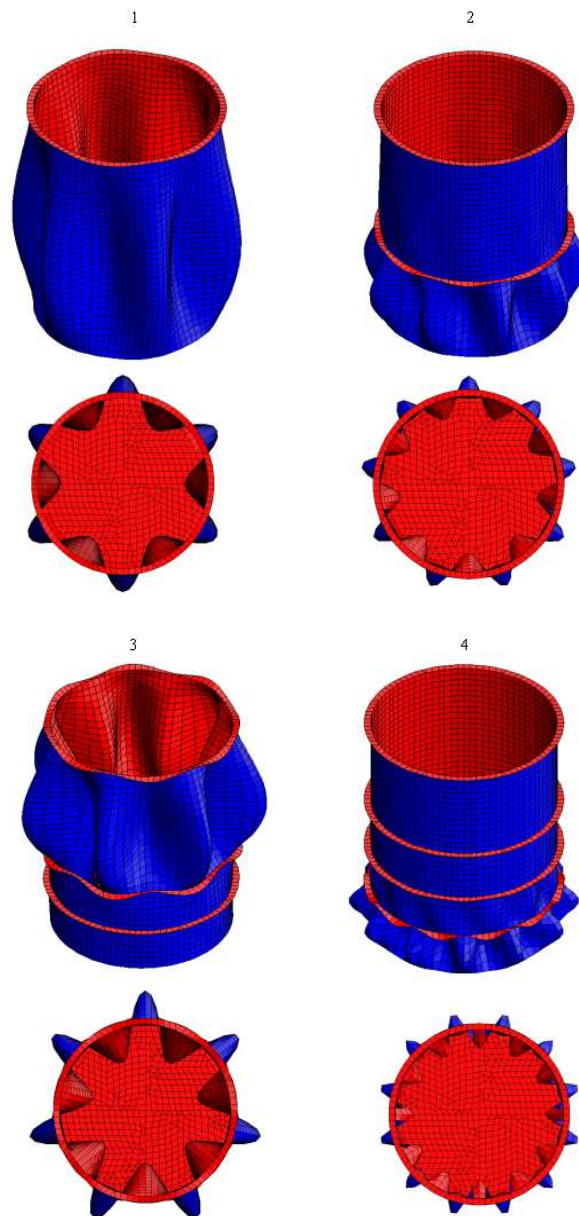
Obr. 26. Charakter deformace pláště pro stavy MS1, MS2, PS – měřítko 100:1

11.8 Charakter vybočení pláště nádrže – stabilita

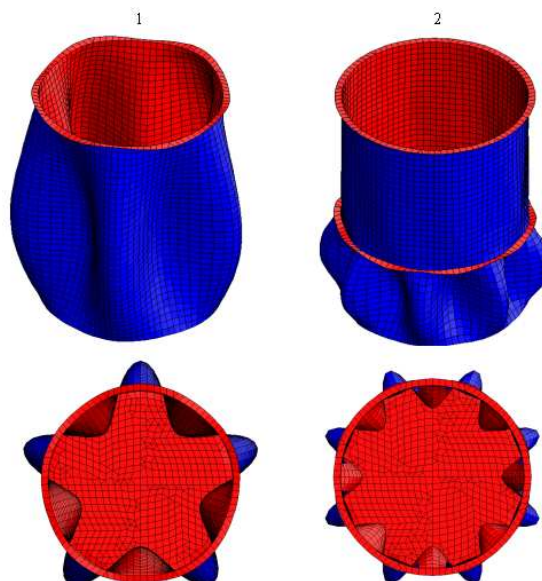
11.8.1 Obvodová žebra - stabilita



Obr. 27. Vybočení pláště nádrže o hlavních rozměrech $D_n = 1400 \text{ mm}$ a $H=1800 \text{ mm}$ pro základní tloušťku stěny 5 mm a tloušťku žebra 5 mm – vyztužení obvodovými žebry – MS2, měřítko 4000:1

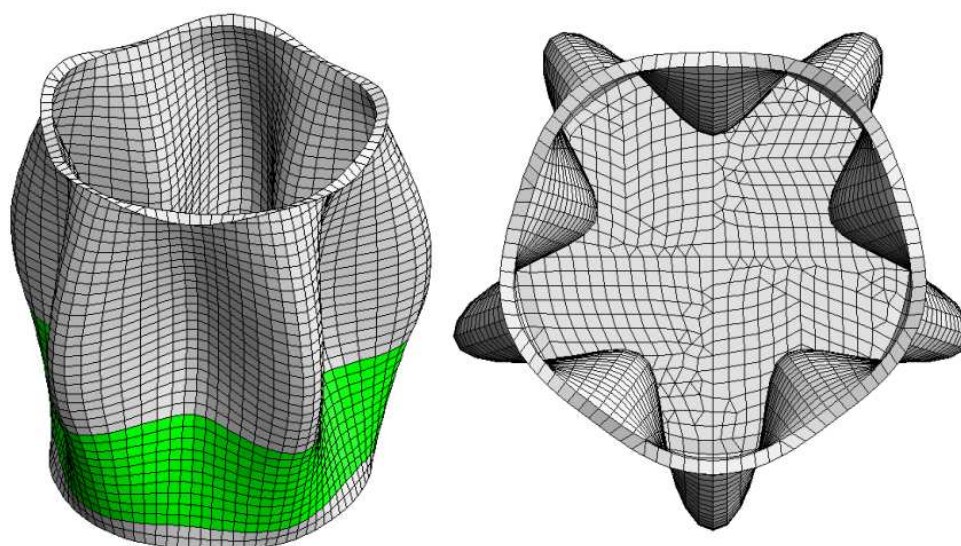


Obr. 28. Vybočení pláště nádrže o hlavních rozměrech $D_n = 1400 \text{ mm}$ a $H=1800 \text{ mm}$ pro základní tloušťku stěny 6 mm a tloušťku žebra 6 mm – vyztužení obvodovými žebry – MS2, měřítko 4000:1

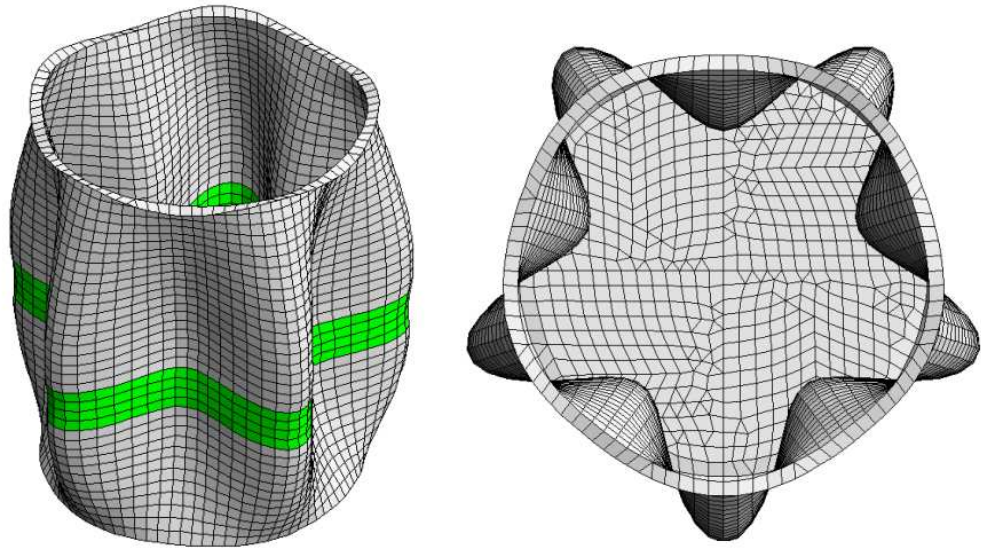


Obr. 29. Vybočení pláště nádrže o hlavních rozměrech $D_n = 1400$ mm a $H=1800$ mm pro základní tloušťku stěny 8 mm a tloušťku žebra 8 mm – vyztužení obovovými žebry – MS2, měřítko 4000:1

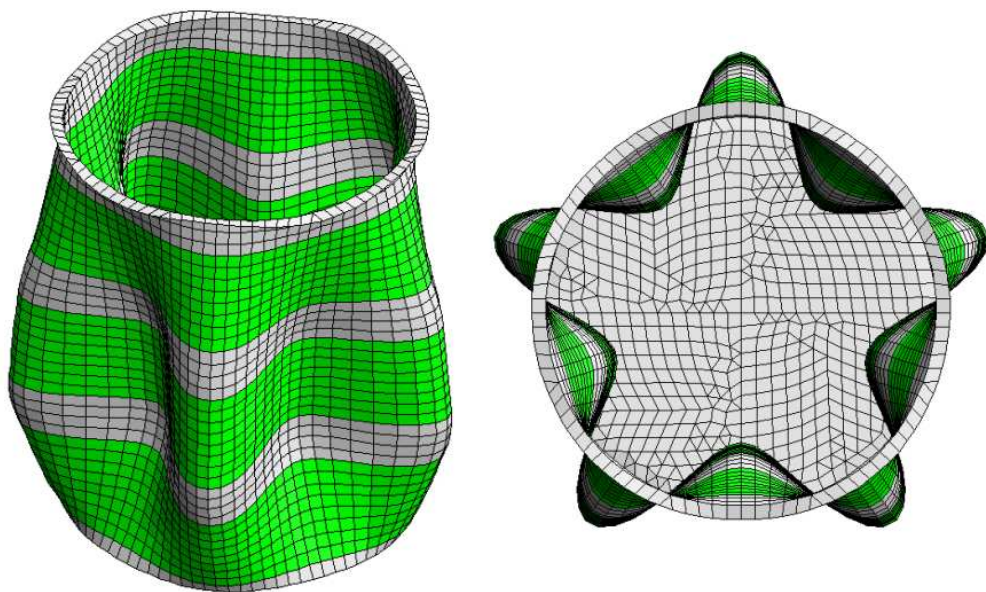
11.8.2 Obvodové pásy - stabilita



Obr. 30. Vybočení pláště nádrže o hlavních rozměrech $D_n = 1400$ mm a $H=1800$ mm pro základní tloušťku stěny 8 mm a tloušťku pásu 8 mm – vyztužení obvodovými pásy verze 3 – MS2, měřítko 4000:1

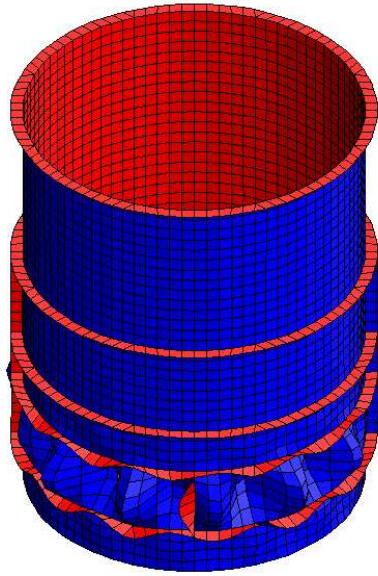


Obr. 31. Vybočení pláště nádrže o hlavních rozměrech $D_n = 1400$ mm a $H=1800$ mm pro základní tloušťku stěny 8 mm a tloušťku pásu 8 mm – vyztužení obvodovými pásy verze 6 – MS2, měřítko 4000:1

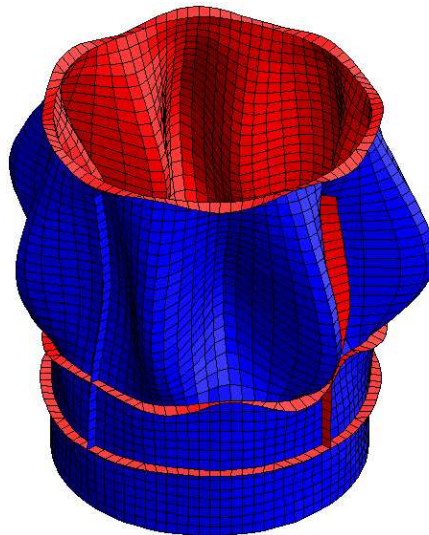


Obr. 32. Vybočení pláště nádrže o hlavních rozměrech $D_n = 1400$ mm a $H=1800$ mm pro základní tloušťku stěny 6 mm a tloušťku pásu 6 mm – vyztužení obvodovými pásy verze 4 – MS2, měřítko 4000:1

11.8.3 Kombinace obvodových a podélných žebër – stabilita



Obr. 33. Vybočení pláště nádrže o hlavních rozměrech $D_n = 1400$ mm a $H=1800$ mm – verze 3 – MS2, měřítko 4000:1



Obr. 34. Vybočení pláště nádrže o hlavních rozměrech $D_n = 1400$ mm a $H=1800$ mm – verze 4 – MS2, měřítko 4000:1

11.9 Druhy použitého vyztužení

Při optimalizaci návrhu byly použity 4 typy vyztužení pláště nádrže.

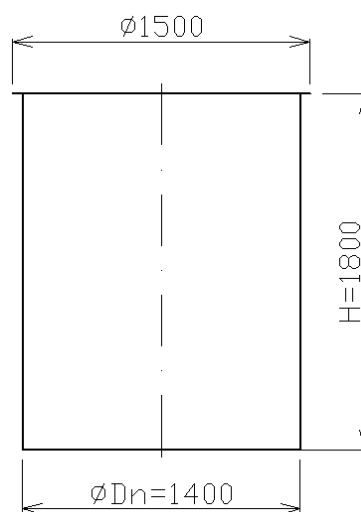
1. obvodová žebra (prstence)
2. obvodové pásy (pláty)
3. podélná žebra (osová)
4. kombinace obvodových a podélných žeber

12 VÝSLEDKY SIMULACÍ NAPĚŤOVĚ DEFORMAČNÍHO STAVU A MODÁLNÍ ANALÝZY PRO NÁDRŽ O HLAVNÍCH ROZMĚRECH $D_N = 1400$ MM, $H = 1800$ MM

Tab. 4. Parametry pro výpočet

$h_{vps} = h_z$ (mm)	1650
p_z (MPa)	0,0098
p_{vms} (MPa)	0,0180
p_{ps} (dno) (MPa)	0,0165
p_{ps} (plášť) (MPa)	0,0067

12.1 Nevztužená nádrž



Obr. 35. Rozměrové parametry hladké nádrže

Tab. 5. Hodnoty napětí a spotřeby materiálu pro různé tloušťky základní stěny pro stavy MS1, MS2 a PS

Tloušťka základní stěny (mm)	5	6	8	10	15	20
MS1 (MPa)	2,62	2,15	1,59	1,27	0,83	0,62
MS2 (MPa)	1,42	1,17	0,86	0,69	0,45	0,33
PS (MPa)	0,97	0,80	0,59	0,47	0,31	0,23
Spotřeba materiálu (m ³)	0,0484	0,0581	0,0775	0,0969	0,1453	0,1937

Pevnostně vyhovují všechny tloušťky stěn pro stavy MS1, MS2 a PS.

Tab. 6. Hodnoty bezpečnosti na ztrátu stability pro různé tloušťky základní stěny pro stavy MS1, MS2 a PS

Tloušťka základní stěny (mm)	5	6	8	10	15	20
MS1 (1)	Vyhovuje (není třeba kontrolovat)					
MS2 (1)	0,37	0,59	1,25	2,30	6,19	12,25
PS (1)	Vyhovuje (není třeba kontrolovat)					

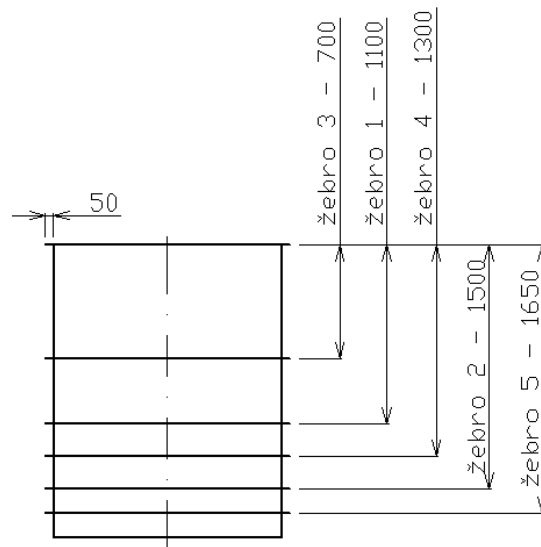
Tloušťky stěn 10 až 20 mm vyhovují z hlediska stability, tloušťky stěn 5 až 8 mm je třeba vyztužit, aby byla minimální hodnota bezpečnosti na ztrátu stability $S = 2$.

Tab. 7. Hodnoty maximálních deformací pro různé tloušťky základní stěny pro stavy MS1, MS2 a PS

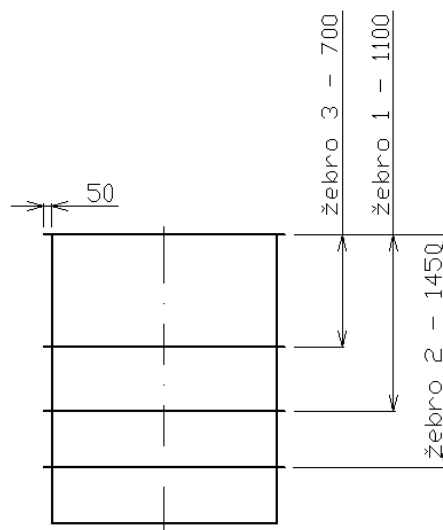
Tloušťka základní stěny (mm)	5	6	8	10	15	20
MS1 (mm)	2,00	1,62	1,18	0,94	0,64	0,51
MS2 (mm)	1,07	0,86	0,62	0,48	0,31	0,23
PS (mm)	2,40	1,95	1,40	1,11	0,74	0,56

Z podmínky maximální deformace, kdy by neměla tato deformace překročit tloušťku stěny, vyhovují veškeré zvolené tloušťky u všech stavů zatížení.

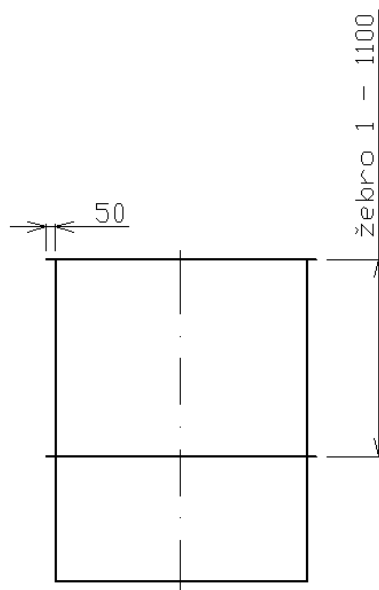
12.2 Nádrž vyztužená obvodovými žebry



Obr. 36. Rozmístění žeber pro základní tloušťku stěny 5 mm



Obr. 37. Rozmístění žeber pro základní tloušťku stěny 6 mm



Obr. 38. Rozmístění žeber
pro základní tloušťku stěny
8 mm

Tab. 8. Hodnoty napětí, deformací, spotřeby materiálu a bezpečnosti na ztrátu stability - MS2

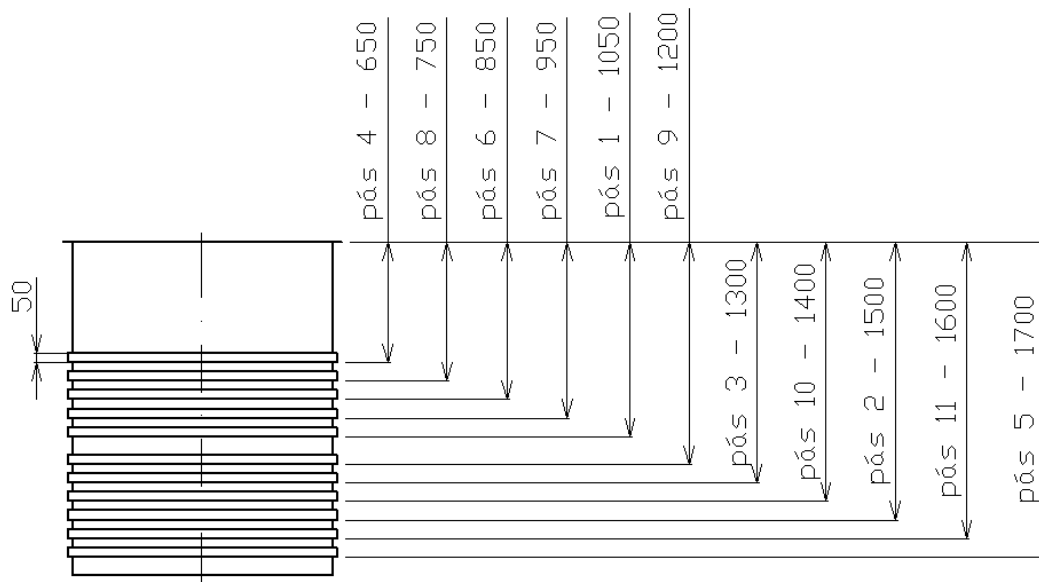
Tloušťka základní stěny a žebra (mm)		5	6	8
Žebro 1	VM	1,42	1,17	0,86
	MD	1,05	0,85	0,62
	SM	0,0496	0,0595	0,0793
	S	0,68	1,09	2,19
Žebro 1 až 2	VM	1,41	1,16	-
	MD	0,98	0,82	-
	SM	0,0507	0,0609	-
	S	1,22	1,94	-

Tloušťka základní stěny a žebra (mm)		5	6	8
Žebro 1 až 3	VM	1,41	1,16	-
	MD	0,98	0,82	-
	SM	0,0519	0,0622	-
	S	1,49	2,22	-
Žebro 1 až 4	VM	1,41	-	-
	MD	0,99	-	-
	SM	0,0530	-	-
	S	1,69	-	-
Žebro 1 až 5	VM	1,24	-	-
	MD	0,79	-	-
	SM	0,0542	-	-
	S	2,32	-	-

Pro získání odpovídající bezpečnosti na ztrátu stability je třeba vyztužit hladkou nádrž 5 obvodovými žebry pro základní tloušťku stěny 5 mm, 3 obvodovými žebry pro základní tloušťku stěny 6 mm a 1 obvodovým žebrem pro základní tloušťku stěny 8 mm.

12.3 Nádrž vyztužená obvodovými pásy

12.3.1 Nádrž vyztužená obvodovými pásy – verze 1



Obr. 39. Rozmístění pásů pro základní tloušťku stěny 5 až 8 mm

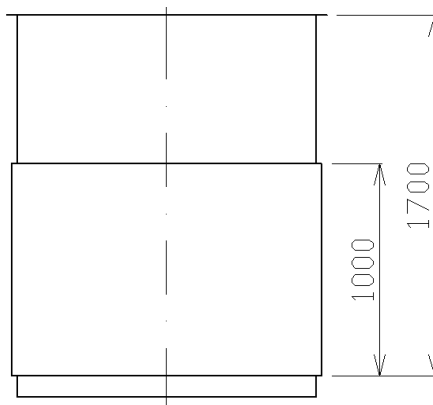
Tab. 9. Hodnoty napětí, deformací, bezpečnosti na ztrátu stability a spotřeby materiálu pro základní tloušťku stěny 8 mm a tloušťky pásů 8 mm – MS2

Počet pásů (ks)	2	3	4	5
VM (MPa)	0,87	0,87	0,87	0,72
MD (MPa)	0,61	0,61	0,61	0,51
SM (m ³)	0,0810	0,0828	0,0845	0,0863
S (1)	1,82	2,14	2,31	2,36

Tab. 10. Hodnoty napětí, deformací, bezpečnosti na ztrátu stability a spotřeby materiálu pro základní tloušťku stěny 8 mm a tloušťky pásů 7 mm – MS2

Počet pásů (ks)	4	5
VM (MPa)	0,87	0,73
MD (MPa)	0,61	0,52
SM (m ³)	0,0836	0,0852
S (1)	2,12	2,20

12.3.2 Nádrž vyztužená obvodovými pásy – verze 2



Obr. 40. Umístění pásu šířky 1m

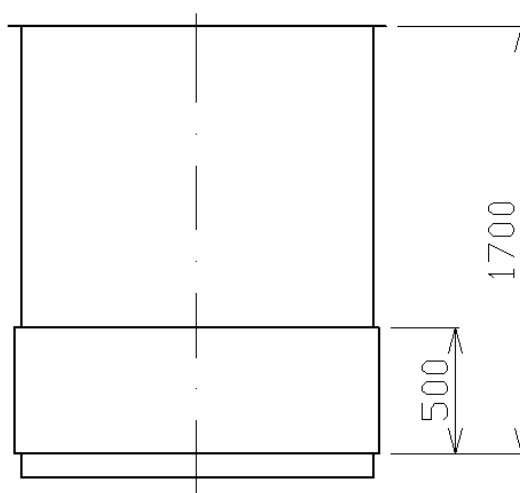
Tab. 11. Výsledky pro základní tloušťku stěny 6 mm a tloušťky pásu 4 až 6 mm – MS2

Tloušťka pásu (mm)	4	5	6
VM (MPa)	0,88	0,88	0,87
MD (MPa)	0,58	0,55	0,52
SM (m ³)	0,0757	0,0801	0,0845
S (1)	1,87	2,14	2,45

Tab. 12. Výsledky pro základní tloušťku stěny 8 mm a tloušťky pásu 3 a 4 mm – MS2

Tloušťka pásu (mm)	3	4
VM (MPa)	0,71	0,68
MD (MPa)	0,46	0,43
SM (m ³)	0,0907	0,0951
S (1)	2,56	2,90

12.3.3 Nádrž vyztužená obvodovými pásy – verze 3

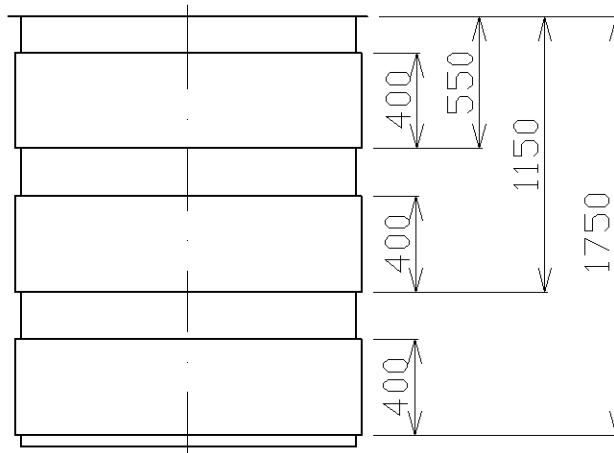


Obr. 41. Umístění pásu šířky 0,5 m

Tab. 13. Výsledky pro základní tloušťku stěny 8 mm a tloušťky pásu 5 a 8 mm – MS2

Tloušťka pásu (mm)	5	8
VM (MPa)	0,65	0,59
MD (MPa)	0,42	0,40
SM (m ³)	0,0885	0,0951
S (1)	2,09	2,52

12.3.4 Nádrž vyztužená obvodovými pásy – verze 4



Obr. 42. Rozmístění pásů šířky 0,4 m

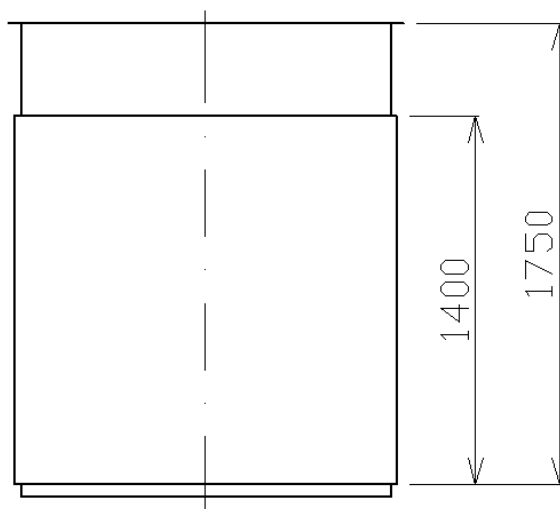
Tab. 14. Výsledky pro základní tloušťku stěny 6 mm a tloušťky pásů 5 a 6 mm – MS2

Tloušťka pásu (mm)	5	6
VM (MPa)	0,81	0,81
MD (MPa)	0,61	0,59
SM (m ³)	0,0845	0,0898
S (1)	2,05	2,51

Tab. 15. Výsledky pro základní tloušťku stěny 8 mm a tloušťky pásů 3 a 4 mm – MS2

Tloušťka pásu (mm)	3	4
VM (MPa)	0,63	0,60
MD (MPa)	0,47	0,46
SM (m ³)	0,0933	0,0986
S (1)	2,34	2,83

12.3.5 Nádrž vyztužená obvodovými pásy – verze 5

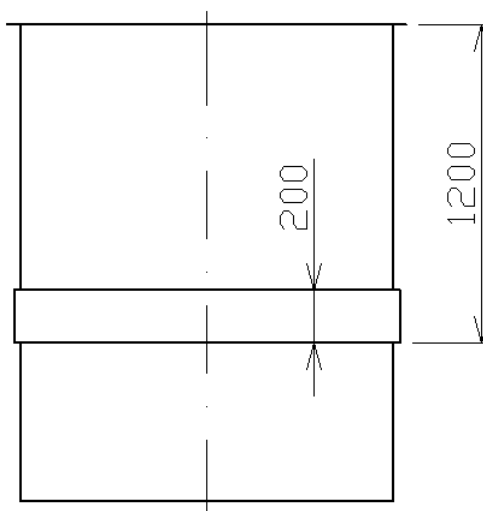


Obr. 43. Umístění pásu šířky 1,4 m

Tab. 16. Výsledky pro základní tloušťku stěny 5 mm a tloušťky pásu 5 mm – MS2

VM (MPa)	MD (mm)	SM (m ³)	S (1)
0,82	0,49	0,0792	2,12

12.3.6 Nádrž vyztužená obvodovými pásy - verze 6

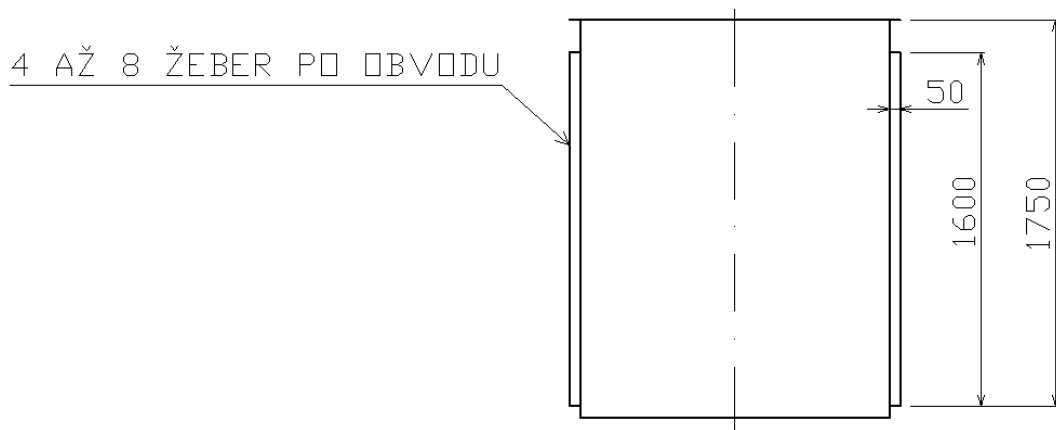


Obr. 44. Umístění pásu šířky 0,2 m

Tab. 17. Výsledky pro základní tloušťku stěny 8 mm a tloušťky pásu 8 mm – MS2

VM (MPa)	MD (mm)	SM (m ³)	S (1)
0,86	0,62	0,0845	2,38

12.4 Nádrž vyztužená podélnými žebry



Obr. 45. Rozmístění podélných žeber

Tab. 18. Výsledky pro základní tloušťku stěny 5 mm – MS2

Tloušťka žebra (mm)		10	15	20
4 žebra podélná	VM	1,43	1,43	1,43
	MD	1,26	1,32	1,36
	SM	0,0516	0,0532	0,0548
	S	0,38	0,39	0,39
8 žeber podélných	VM	1,43	1,43	1,43
	MD	1,28	1,31	1,33
	SM	0,0580	0,0628	0,0676
	S	0,46	0,49	0,51

Tab. 19. Výsledky pro základní tloušťku stěny 6 mm – MS2

Tloušťka žebra (mm)		10	15	20
4 žebra podélná	VM	1,17	1,17	1,17
	MD	0,97	1,01	1,05
	SM	0,0613	0,0629	0,0645
	S	0,59	0,61	0,62
8 žeber podélných	VM	1,17	1,17	1,17
	MD	0,97	0,99	1,00
	SM	0,0677	0,0725	0,0773
	S	0,70	0,74	0,77

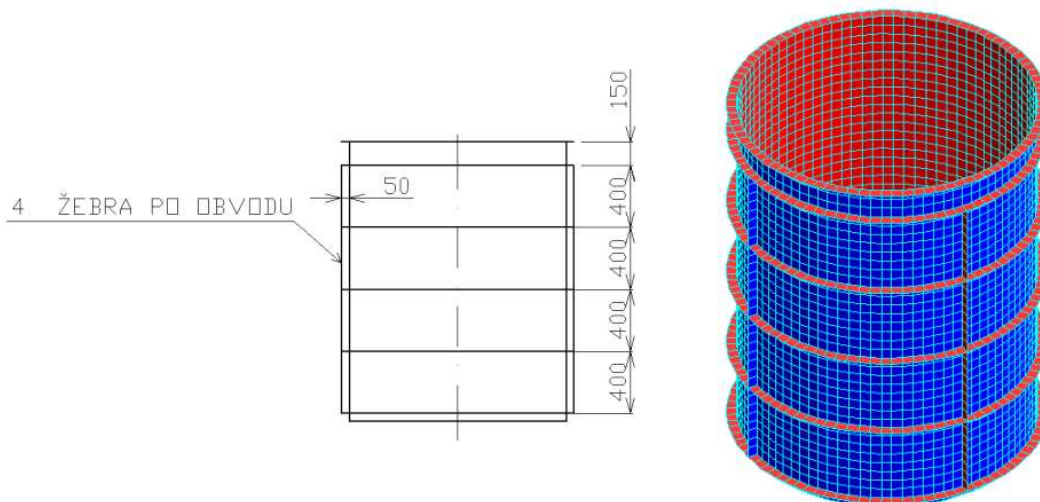
Tab. 20. Výsledky pro základní tloušťku stěny 8 mm – MS2

Tloušťka žebra (mm)		10	15	20
4 žebra podélná	VM	0,87	0,87	0,87
	MD	0,66	0,67782	0,69843
	SM	0,0807	0,0823	0,0839
	S	1,26	1,28	1,30
8 žeber podélných	VM	0,85	0,85	0,85
	MD	0,65	0,66	0,67
	SM	0,0871	0,0919	0,0967
	S	1,40	1,46	1,52

Vyztužováním pláště nádrže podélnými žebry nedosáhneme požadované hodnoty bezpečnosti na ztrátu stability.

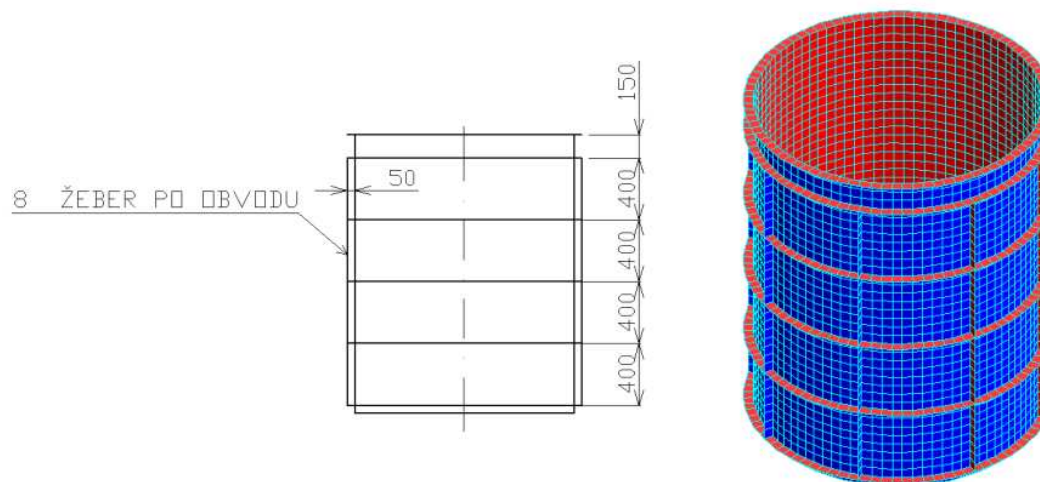
12.5 Nádrž vyztužená kombinací obvodových a podélných žebér

12.5.1 Nádrž vyztužená kombinací obvodových a podélných žebér – verze 1



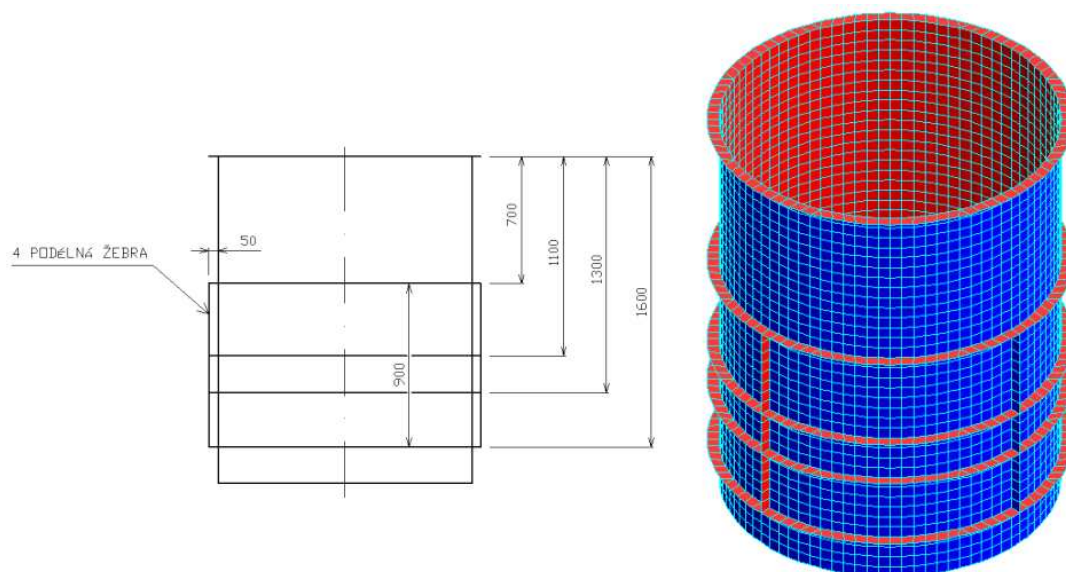
Obr. 46. Rozmístění obvodových a podélných žebér – verze 1

12.5.2 Nádrž vyztužená kombinací obvodových a podélných žebér – verze 2



Obr. 47. Rozmístění obvodových a podélných žebér – verze 2

12.5.3 Nádrž vyztužená kombinací obvodových a podélných žebér – verze 3

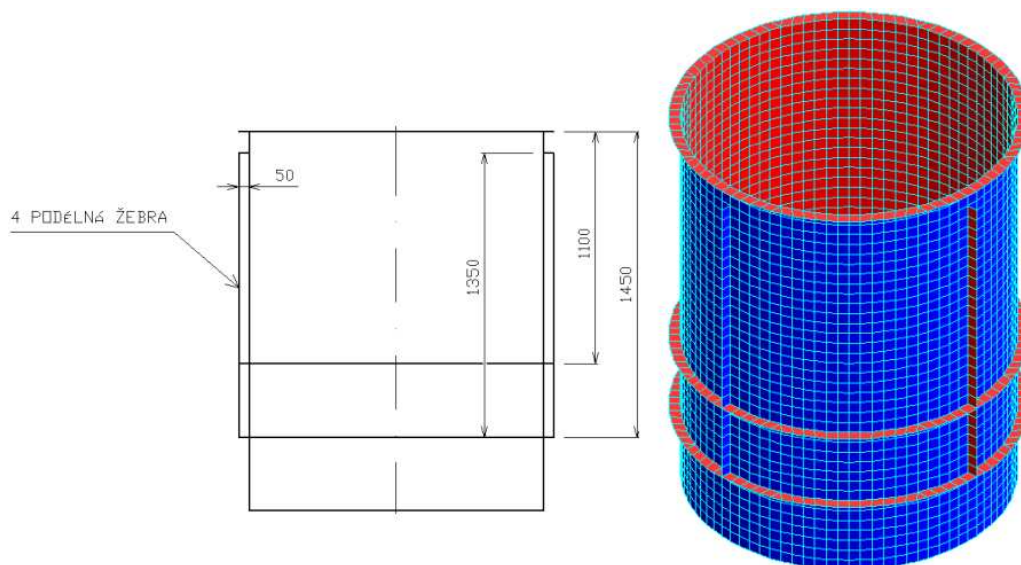


Obr. 48. Rozmístění obvodových a podélných žebér – verze 3

Tab. 21. Výsledky pro základní tloušťku stěny 5 mm
– MS2

Tloušťka žebra (mm)		5
4 obvodová žebra a 4 podélná žebra	VM	1,44
	MD	0,92
	SM	0,0539
	S	2,04

12.5.4 Nádrž vyztužená kombinací obvodových a podélných žebér – verze 4



Obr. 49. Rozmístění obvodových a podélných žebér – verze 4

Tab. 22. Výsledky pro základní tloušťku stěny 6 mm
– MS2

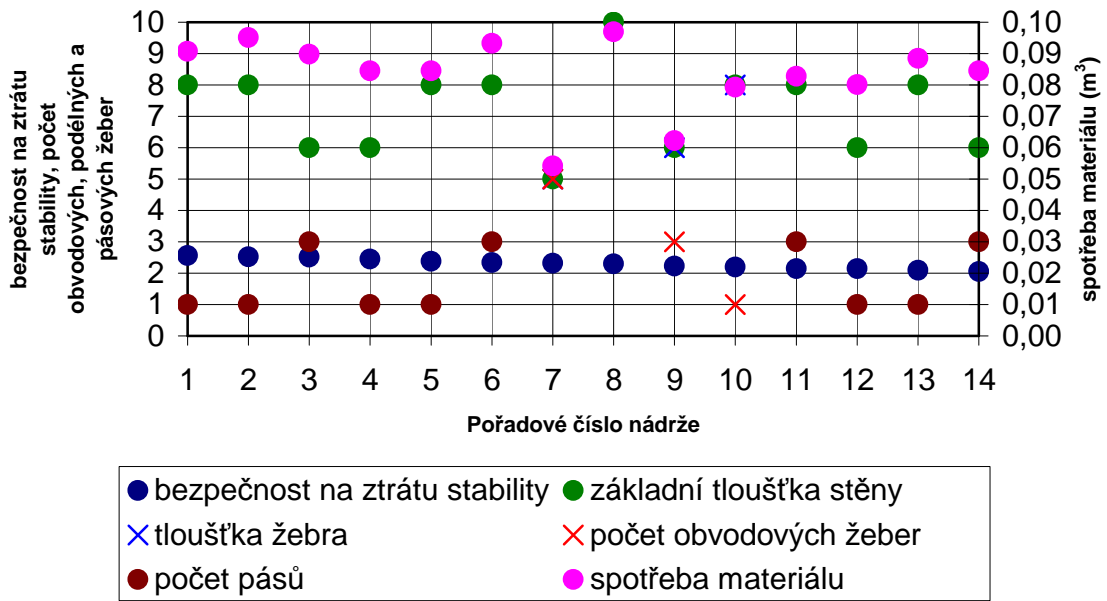
Tloušťka žebra (mm)		6
2 obvodová žebra a 4 podélná žebra	VM	1,16
	MD	0,81
	SM	0,0637
	S	2,00

Poznámka: Podélná žebra je možno zakončit až po horní lem nádrže (délka podélného žebra by tak byla 1450 mm).

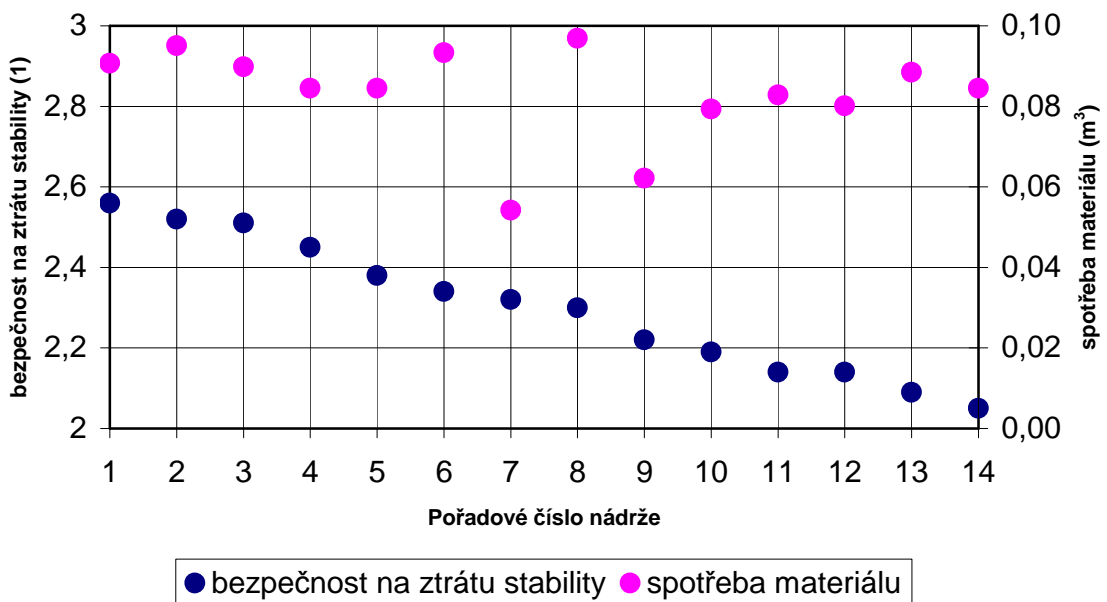
12.6 Doporučené nádrže pro aplikaci

Tab. 23. Seznam doporučených nádrží pro aplikaci seřazených sestupně podle bezpečnosti na ztrátu stability

Poř. číslo	Zákl. tl. stěny (mm)	Tl. žebra (mm)	Počet obvod. žeber (ks)	Počet pásů (ks)	Šířka pásu (mm)	Tl. pásu (mm)	Spotř. mat. (m ³)	Bezp. na ztrátu stability (1)
1	8			1	1000	3	0,0907	2,56
2	8			1	500	8	0,0951	2,52
3	6			3	400	6	0,0898	2,51
4	6			1	1000	6	0,0845	2,45
5	8			1	200	8	0,0845	2,38
6	8			3	400	3	0,0933	2,34
7	5	5	5				0,0542	2,32
8	10						0,0969	2,3
9	6	6	3				0,0622	2,22
10	8	8	1				0,0793	2,19
11	8			3	100	8	0,0828	2,14
12	6			1	1000	5	0,0801	2,14
13	8			1	500	5	0,0885	2,09
14	6			3	400	5	0,0845	2,05



Obr. 50. Grafický přehled dat pro nádrže k aplikaci – souhrnný graf



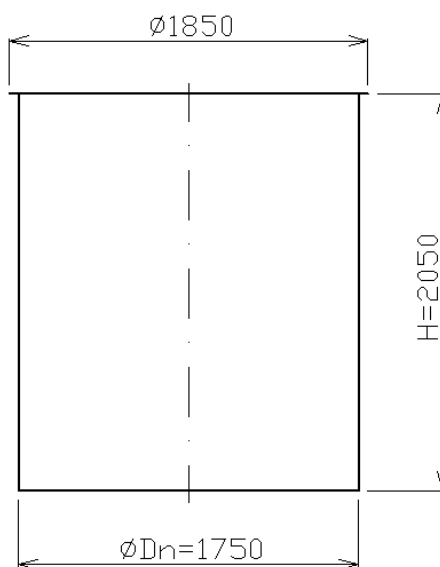
Obr. 51. Grafický přehled dat pro nádrže k aplikaci – bezpečnost na ztrátu stability versus spotřeba materiálu

13 VÝSLEDKY SIMULACÍ NAPĚŤOVĚ DEFORMAČNÍHO STAVU A MODÁLNÍ ANALÝZY PRO NÁDRŽ O HLAVNÍCH ROZMĚRECH $D_N = 1750$ MM, $H = 2050$ MM

Tab. 24. Parametry pro výpočet

$h_{vps} = h_z$ (mm)	1900
p_z (MPa)	0,0113
p_{vms} (MPa)	0,0205
p_{ps} (dno) (MPa)	0,0190
p_{ps} (plášť) (MPa)	0,0077

13.1 Nádrž nevyztužená



Obr. 52. Rozměrové parametry hladké nádrže

Tab. 25. Hodnoty napětí a spotřeby materiálu pro různé tloušťky základní stěny pro stavy MS1, MS2 a PS

Tloušťka základní stěny (mm)	5	6	8	10	15	20
MS1 (MPa)	3,68	3,06	2,29	1,82	1,19	0,88
MS2 (MPa)	2,02	1,68	1,26	0,99	0,65	0,48
PS (MPa)	1,37	1,14	0,86	0,68	0,44	0,33
Spotřeba materiálu (m ³)	0,0698	0,0838	0,1117	0,1396	0,2094	0,2792

Pevnostně vyhovují všechny tloušťky stěn pro stavy MS1, MS2 a PS.

Tab. 26. Hodnoty bezpečnosti na ztrátu stability pro různé tloušťky základní stěny pro stavy MS1, MS2 a PS

Tloušťka základní stěny (mm)	5	6	8	10	15	20
MS1 (1)	Vyhovuje (není třeba kontrolovat)					
MS2 (1)	0,21	0,32	0,65	1,16	3,46	6,86
PS (1)	Vyhovuje (není třeba kontrolovat)					

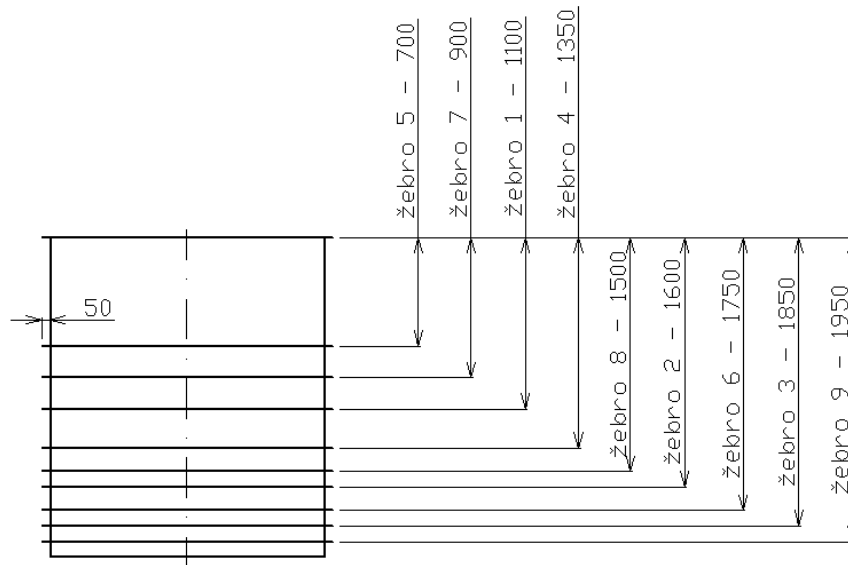
Tloušťky stěn 15 a 20 mm vyhovují z hlediska stability, tloušťky stěn 5 až 10 mm je třeba vyztužit, aby byla minimální hodnota bezpečnosti na ztrátu stability $S = 2$.

Tab. 27. Hodnoty maximálních deformací pro různé tloušťky základní stěny pro stavy MS1, MS2 a PS

Tloušťka základní stěny (mm)	5	6	8	10	15	20
MS1 (mm)	3,73	2,95	2,12	1,66	1,10	0,84
MS2 (mm)	2,00	1,60	1,14	0,89	0,57	0,42
PS (mm)	4,47	3,59	2,57	2,00	1,30	0,97

Z podmínky maximální deformace, kdy by neměla tato deformace překročit tloušťku stěny, vyhovují veškeré zvolené tloušťky u všech stavů zatížení.

13.2 Nádrž vyztužená obvodovými žebry



Obr. 53. Rozmístění žeber pro základní tloušťky stěn 5 až 10 mm

Tab. 28. Výsledky pro základní tloušťku stěny 6 mm – MS2

Tloušťka žebra (mm)		5	6
Žebro 1 až 5	VM	1,67	1,64
	MD	1,26	1,25
	SM	0,0908	0,0923
	S	2,52	2,66

Poznámka: Minimální počet obvodových žeber pro základní tloušťku stěny 6 mm je 5. (Při použití 4 obvodových žeber při jakémkoliv uspořádání nedosáhneme minimální bezpečnosti na ztrátu stability $S=2$).

Tab. 29. Výsledky pro základní tloušťku stěny 8 mm – MS2

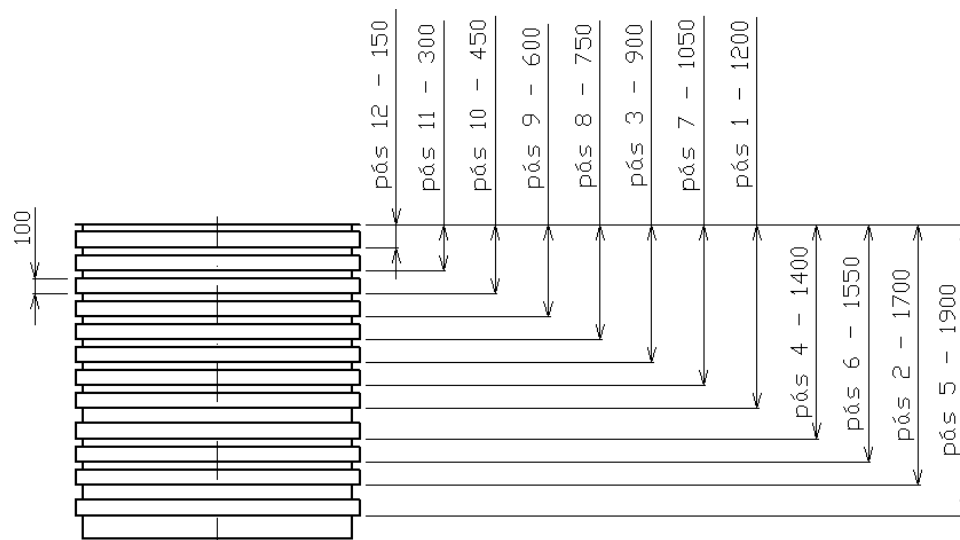
Tloušťka žebra (mm)		5	6	8
Žebro 1 až 4	VM	1,16	1,16	1,16
	MD	0,93	0,92	0,90
	SM	0,1174	0,1185	0,1208
	S	2,43	2,62	2,72

Tloušťka žebra (mm)		5	6	8
Žebro 1 až 3	VM	1,16	1,16	1,16
	MD	0,93	0,92	0,90
	SM	0,1160	0,1168	0,1185
	S	2,01	2,13	2,34
Žebro 1 až 2	VM	-	-	1,25
	MD	-	-	1,09
	SM	-	-	0,1162
	S	-	-	2,19

Tab. 30. Výsledky pro základní tloušťku stěny 10 mm – MS2

Tloušťka žebra (mm)		5	6	8
Žebro 1 až 2	VM	0,99	0,99	0,99
	MD	0,87	0,87	0,87
	SM	0,1424	0,01430	0,1442
	S	2,54	2,67	2,92
Žebro 4	VM	-	-	1,00
	MD	-	-	0,93
	SM	-	-	0,1419
	S	-	-	2,06

13.3 Nádrž vyztužená obvodovými pásy

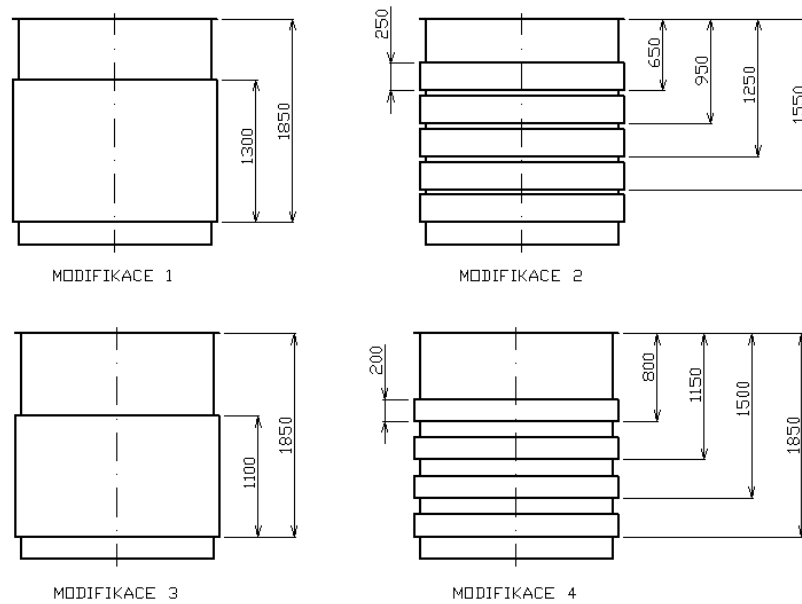


Obr. 54. Rozmístění pásů pro základní tloušťky stěn 5 až 10 mm

Tab. 31. Výsledky pro základní tloušťku stěny 10 mm – MS2

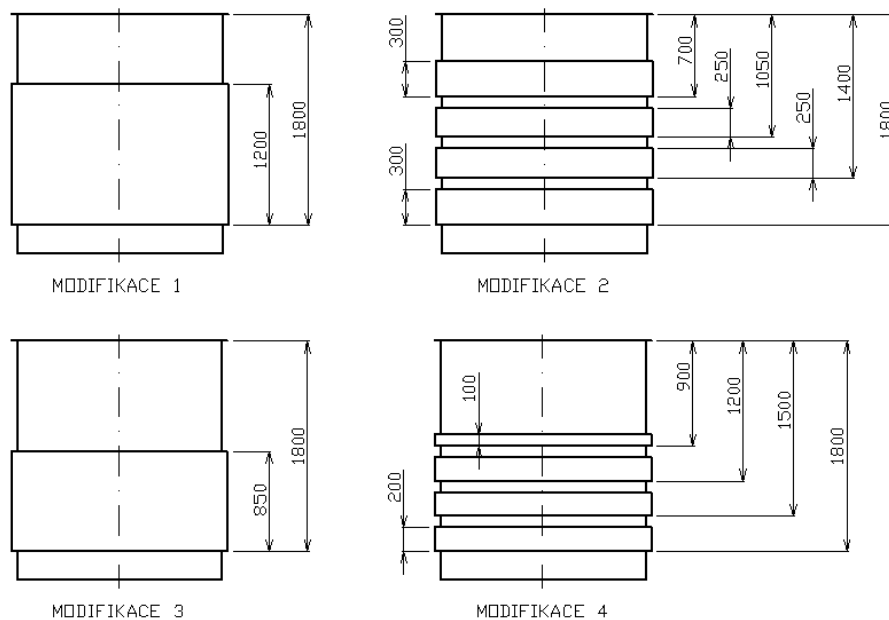
Tloušťka pásu (mm)		5
Pás 1 až 3	VM	1,01
	MD	0,86
	SM	0,1561
	S	2,33
Pás 1 až 2	VM	1,01
	MD	0,86
	SM	0,1506
	S	2,02

13.3.1 Modifikace pro základní tloušťku stěny 5 mm



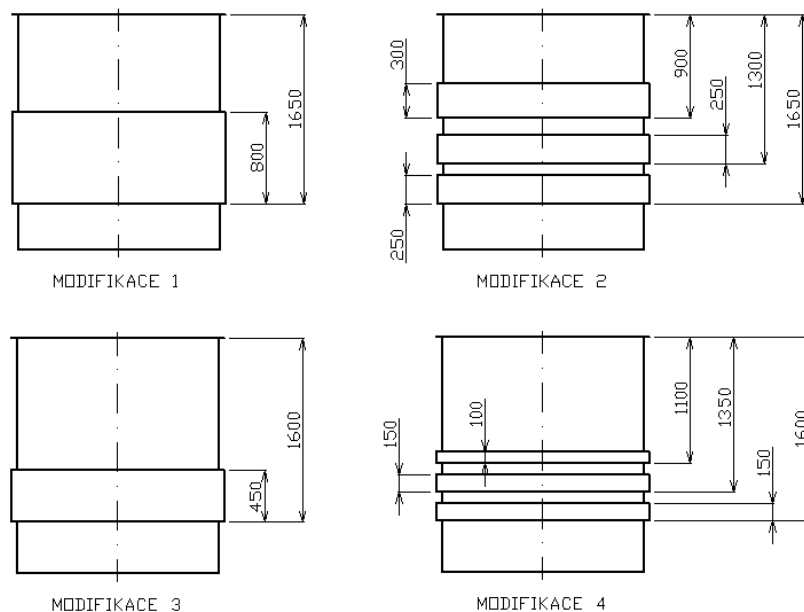
Obr. 55. Rozmístění pásů pro základní tloušťku stěny 5 mm

13.3.2 Modifikace pro základní tloušťku stěny 6 mm



Obr. 56. Rozmístění pásů pro základní tloušťku stěny 6 mm

13.3.3 Modifikace pro základní tloušťku stěny 8 mm

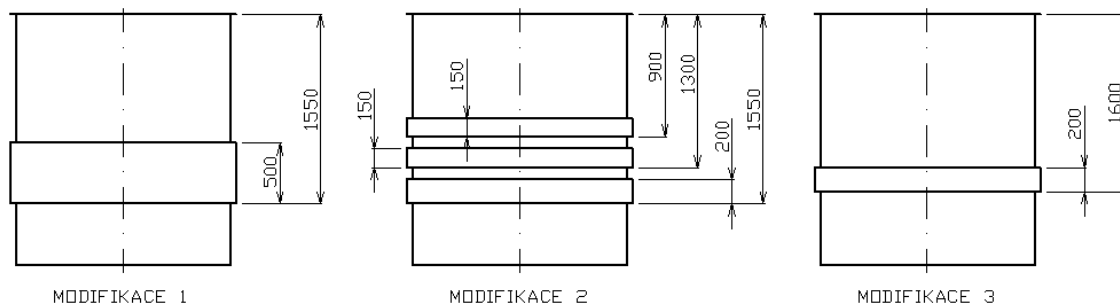


Obr. 57. Rozmístění pásů pro základní tloušťku stěny 8 mm

Tab. 32. Výsledky pro základní tloušťku stěny 8 mm – MS2

Tloušťka pásu (mm)		8
Modifikace 1	VM	1,25
	MD	1,10
	SM	0,1469
	S	2,21
Modifikace 2	VM	1,25
	MD	1,10
	SM	0,1469
	S	2,24

13.3.4 Modifikace pro základní tloušťku stěny 10 mm

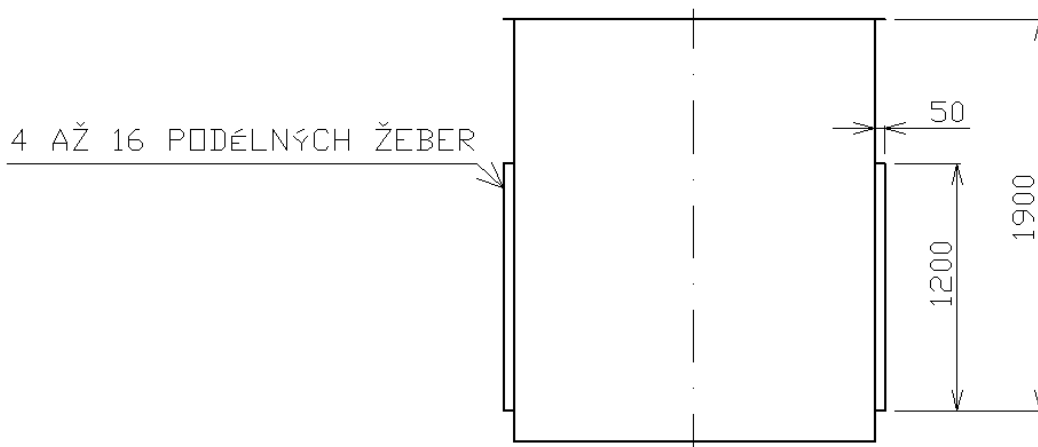


Obr. 58. Rozmístění pásů pro základní tloušťku stěny 10 mm

Tab. 33. Výsledky pro základní tloušťku stěny 10 mm – MS2

Tloušťka pásu (mm)		5	10
Modifikace 1	VM	0,99	-
	MD	0,88	-
	SM	0,1534	-
	S	2,09	-
Modifikace 2	VM	0,99	-
	MD	0,88	-
	SM	0,1534	-
	S	2,03	-
Modifikace 3	VM	-	0,99
	MD	-	0,87
	SM	-	0,1506
	S	-	2,11

13.4 Nádrž vyztužená podélnými žebry

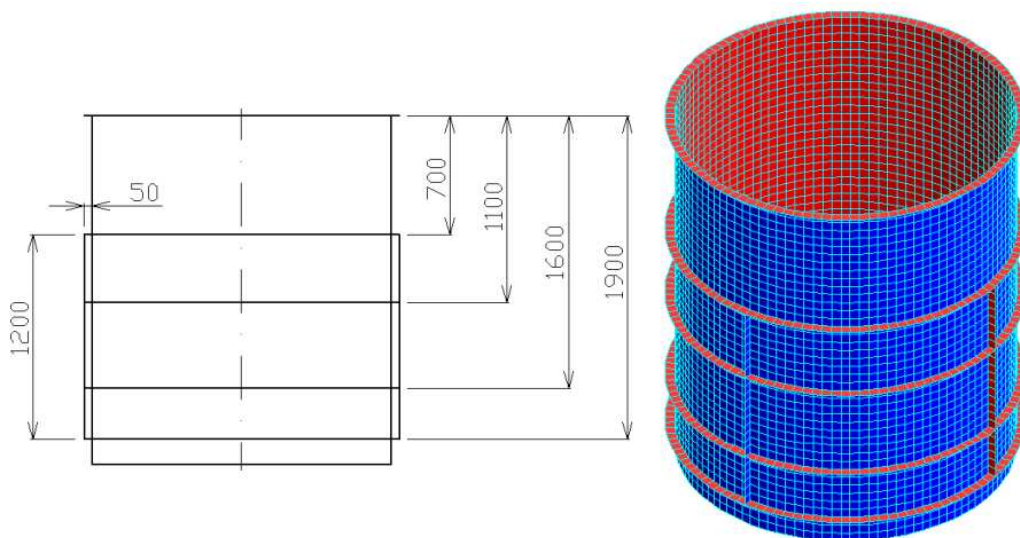


Obr. 59. Rozmístění podélných žeber

Použitím podélných žeber (4 až 16) tloušťky 5 až 20 mm při konfiguraci žeber dle obrázku (Obr. 59) se nedosáhne požadované stability. Maximální zvýšení bezpečnosti na ztrátu stability činilo (pro základní tloušťku stěny 10 mm při použití 16 podélných žeber tloušťky 20 mm) cca 18% (vzhledem k hladké nádrži o tloušťce 10 mm).

13.5 Nádrž vyztužená kombinací obvodových a podélných žeber

13.5.1 Pro základní tloušťku stěny 8 mm

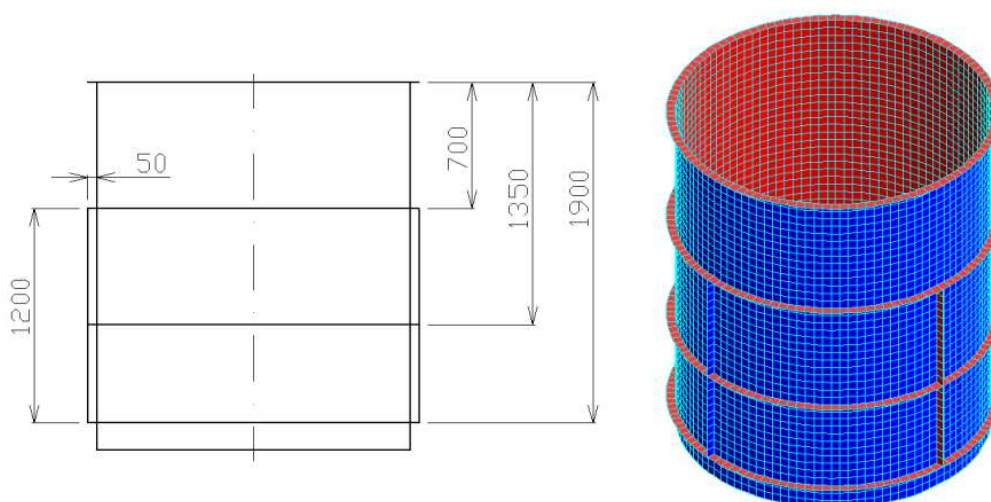


Obr. 60. Rozmístění obvodových a podélných žeber

Tab. 34. Výsledky pro základní tloušťku stěny 8 mm – MS2

Tloušťka žebra (mm)		5	6	8
4 žebra obvodová a 4 žebra podélná	VM	1,22	1,20	1,17
	MD	1,41	1,42	1,39
	SM	0,1198	0,1214	0,1246
	S	2,09	2,25	2,57

13.5.2 Pro základní tloušťku stěny 10 mm



Obr. 61. Rozmístění obvodových a podélných žeber

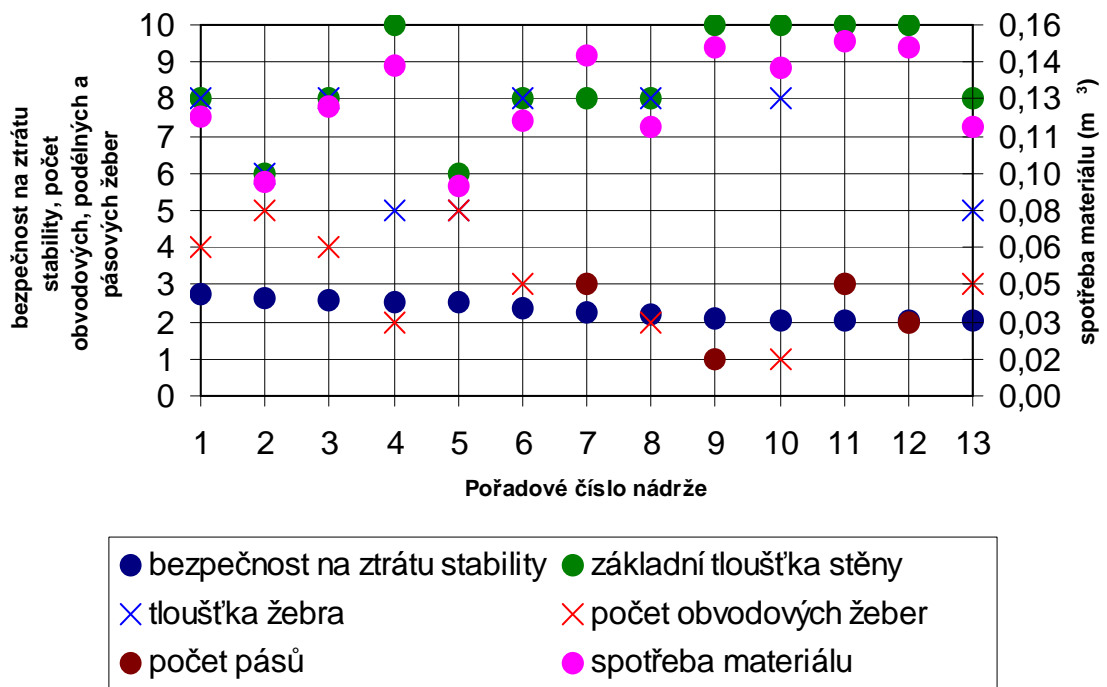
Tab. 35. Výsledky pro základní tloušťku stěny 10 mm – MS2

Tloušťka žebra (mm)		3	5	6	8
3 žebra obvodová a 4 žebra podélná	VM	0,96	0,96	0,96	0,94
	MD	0,97	1,02	1,03	1,05
	SM	0,1436	0,1462	0,1476	0,1501
	S	2,06	2,46	2,63	2,89

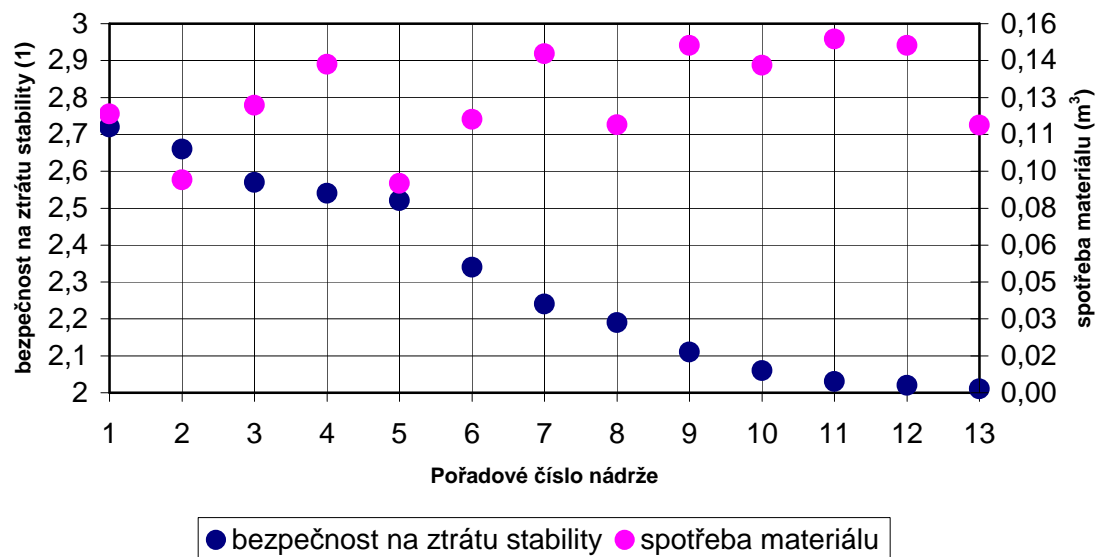
13.6 Doporučené nádrže pro aplikaci

Tab. 36. Seznam doporučených nádrží pro aplikaci seřazených sestupně podle bezpečnosti na ztrátu stability

Poř. číslo	Zákl. tl. stěny (mm)	Tl. žebra (mm)	Počet obvod. žeber (ks)	Počet pod. žeber (ks)	Počet pásů (ks)	Šířka pásu (mm)	Tl. pásu (mm)	Spotř. mat. (m ³)	Bezp. na ztrátu stability (1)
1	8	8	4					0,1208	2,72
2	6	6	5					0,0923	2,66
3	8	8	4	4				0,1246	2,57
4	10	5	2					0,1424	2,54
5	6	5	5					0,0908	2,52
6	8	8	3					0,1185	2,34
7	8				3	2x250, 1x300	8	0,1469	2,24
8	8	8	2					0,1162	2,19
9	10				1	200	10	0,1506	2,11
10	10	8	1					0,1419	2,06
11	10				3	2x150, 1x200	5	0,1534	2,03
12	10				2	100	5	0,1506	2,02
13	8	5	3					0,1160	2,01



Obr. 62. Grafický přehled dat pro nádrže k aplikaci – souhrnný graf



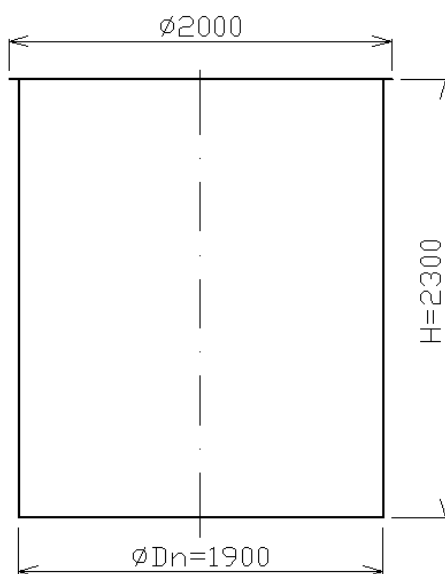
Obr. 63. Grafický přehled dat pro nádrže k aplikaci – bezpečnost na ztrátu stability versus spotřeba materiálu

14 VÝSLEDKY SIMULACÍ NAPĚŤOVĚ DEFORMAČNÍHO STAVU A MODÁLNÍ ANALÝZY PRO NÁDRŽ O HLAVNÍCH ROZMĚRECH $D_N = 1900$ MM, $H = 2300$ MM

Tab. 37. Parametry pro výpočet

$h_{vps} = h_z$ (mm)	2150
p_z (MPa)	0,0128
p_{vms} (MPa)	0,0230
p_{ps} (dno) (MPa)	0,0215
p_{ps} (plášť) (MPa)	0,0087

14.1 Nádrž nevyztužená



Obr. 64. Rozměrové parametry hladké nádrže

Tab. 38. Hodnoty napětí a spotřeby materiálu pro různé tloušťky základní stěny pro stavy MS1, MS2 a PS

Tloušťka základní stěny (mm)	5	6	8	10	15	20
MS1 (MPa)	4,50	3,76	2,81	2,22	1,46	1,08
MS2 (MPa)	2,49	2,08	1,55	1,23	0,81	0,60
PS (MPa)	1,70	1,42	1,06	0,83	0,55	0,41
Spotřeba materiálu (m ³)	0,0844	0,1013	0,1350	0,1688	0,2531	0,3374

Pevnostně vyhovují všechny tloušťky stěn pro stavy MS1, MS2 a PS.

Tab. 39. Hodnoty bezpečnosti na ztrátu stability pro různé tloušťky základní stěny pro stavy MS1, MS2 a PS

Tloušťka základní stěny (mm)	5	6	8	10	15	20
MS1 (1)	Vyhovuje (není třeba kontrolovat)					
MS2 (1)	0,14	0,22	0,45	0,79	2,37	4,73
PS (1)	Vyhovuje (není třeba kontrolovat)					

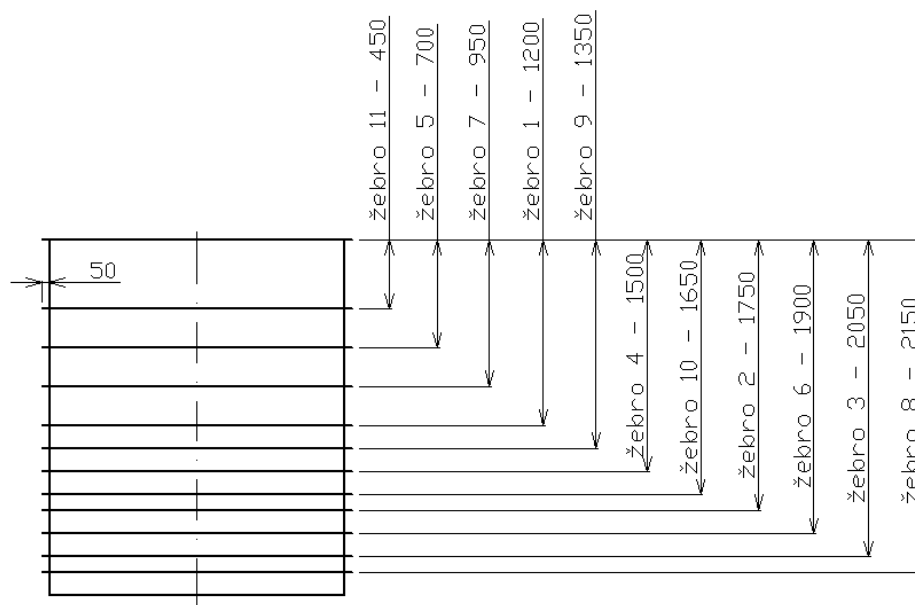
Tloušťky stěn 15 a 20 mm vyhovují z hlediska stability, tloušťky stěn 5 až 10 mm je třeba vyztužit, aby byla minimální hodnota bezpečnosti na ztrátu stability $S = 2$.

Tab. 40. Hodnoty maximálních deformací pro různé tloušťky základní stěny pro stavy MS1, MS2 a PS

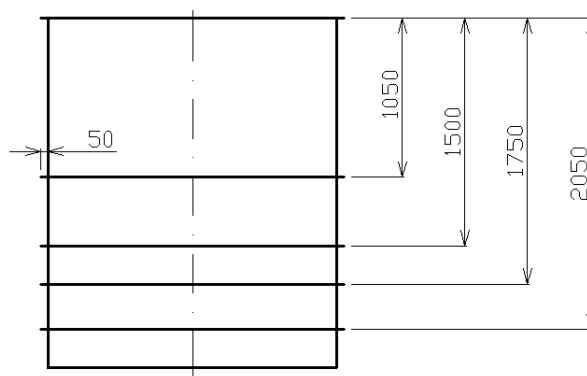
Tloušťka základní stěny (mm)	5	6	8	10	15	20
MS1 (mm)	5,20	4,00	2,85	2,21	1,45	1,09
MS2 (mm)	2,81	2,19	1,55	1,20	0,77	0,56
PS (mm)	6,26	4,92	3,50	2,70	1,75	1,29

Z podmínky maximální deformace, kdy by neměla tato deformace překročit tloušťku stěny, nevyhovuje pouze tloušťka základní stěny 5mm.

14.2 Nádrž vyztužená obvodovými žebry



Obr. 65. Rozmístění žeber pro základní tloušťky stěn 5 až 10 mm



Obr. 66. Rozmístění žeber pro základní tloušťku stěny 8 mm – modifikace

Tab. 41. Výsledky pro základní tloušťku stěny 8 mm – MS2

Tloušťka žebra (mm)		5	6	8
Žebro 1 až 5	VM	1,50	1,49	1,49
	MD	1,34	1,33	1,31
	SM	0,1427	0,1442	0,1472
	S	2,05	2,25	2,60

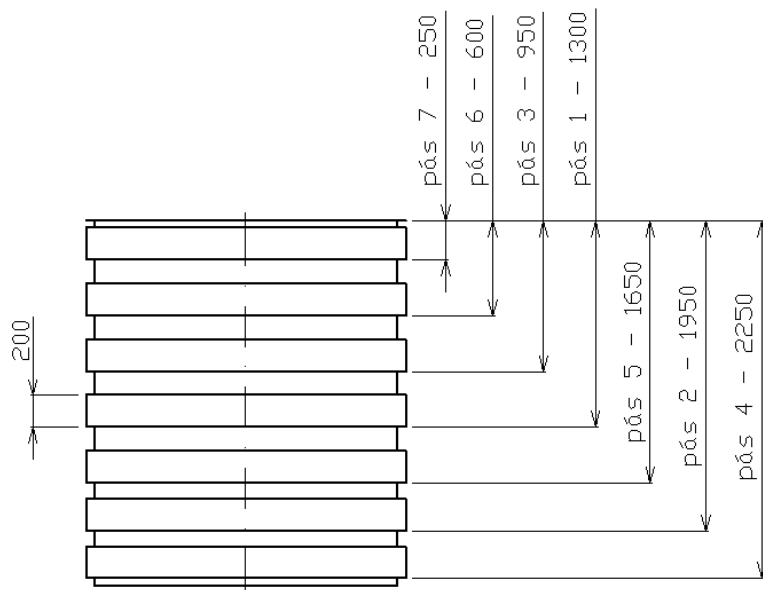
Tab. 42. Výsledky pro základní tloušťku stěny 8 mm – modifikace – MS2

Tloušťka žebra (mm)		8
Žebra podle obrázku (Obr.66)	VM	1,49
	MD	1,31
	SM	0,1448
	S	2,03

Tab. 43. Výsledky pro základní tloušťku stěny 10 mm – MS2

Tloušťka žebra (mm)		5	6	8	10
Žebro 1 až 4	VM	1,18	1,18	1,17	1,16
	MD	1,05	1,04	1,02	1,00
	SM	0,1750	0,1761	0,1786	0,1810
	S	2,07	2,21	2,47	2,70
Žebro 1 až 3	VM	-	-	1,17	1,16
	MD	-	-	1,02	1,00
	SM	-	-	0,1761	0,1779
	S	-	-	2,04	2,20

14.3 Nádrž vyztužená obvodovými pásy



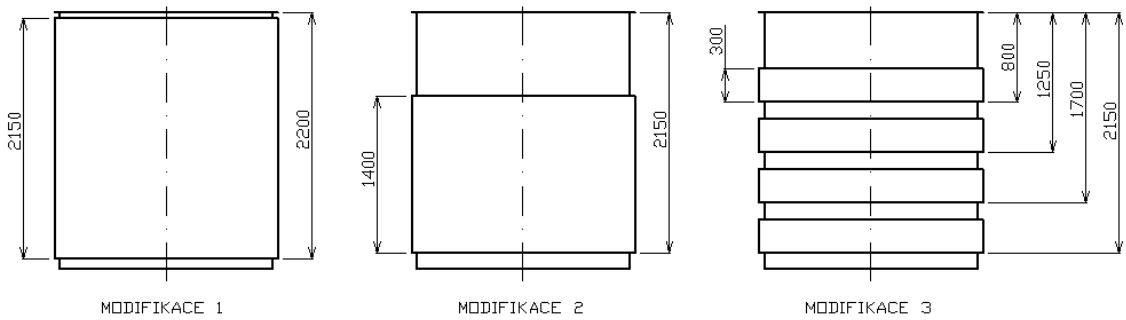
Obr. 67. Rozmístění pásů pro základní tloušťky stěn 5 až 10 mm

Tab. 44. Výsledky pro základní tloušťku stěny 10 mm – MS2

Tloušťka pásu (mm)		10
Žebro 1 až 3	VM	1,25
	MD	1,15
	SM	0,2046
	S	2,02
Žebro 1 až 4	VM	0,86
	MD	0,87
	SM	0,2165
	S	2,11

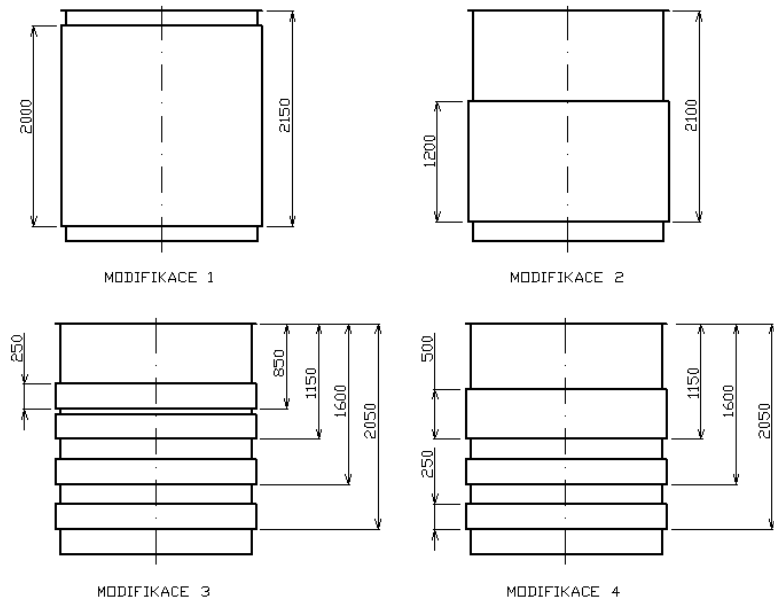
Tloušťka pásu (mm)		10
Žebro 1 až 5	VM	0,84
	MD	0,77
	SM	0,2284
	S	2,38

14.3.1 Modifikace pro základní tloušťku stěny 5 mm



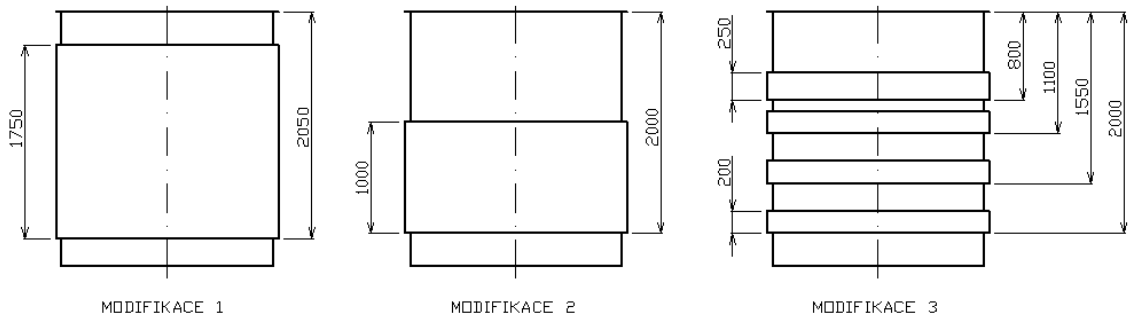
Obr. 68. Rozmístění pásů pro základní tloušťku stěny 5 mm

14.3.2 Modifikace pro základní tloušťku stěny 6 mm



Obr. 69. Rozmístění pásů pro základní tloušťku stěny 6 mm

14.3.3 Modifikace pro základní tloušťku stěny 8 mm

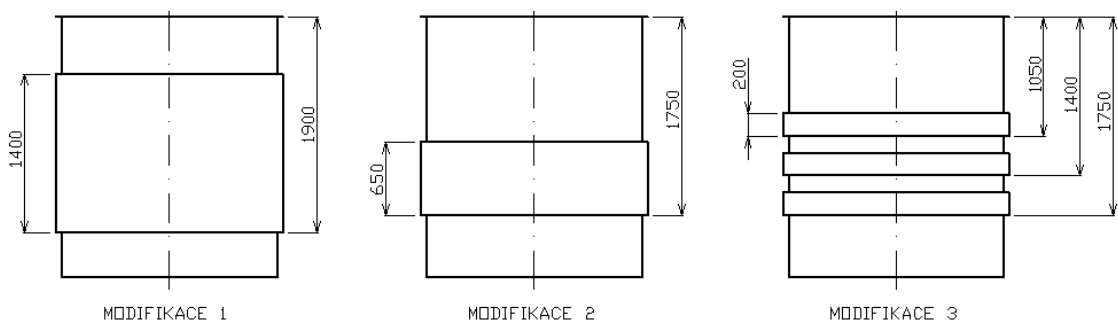


Obr. 70. Rozmístění pásů pro základní tloušťku stěny 8 mm

Tab. 45. Výsledky pro základní tloušťku stěny 8 mm – MS2

Tloušťka pásu (mm)		8
Modifikace 1	VM	1,53
	MD	1,37
	SM	0,2186
	S	2,28

14.3.4 Modifikace pro základní tloušťku stěny 10 mm

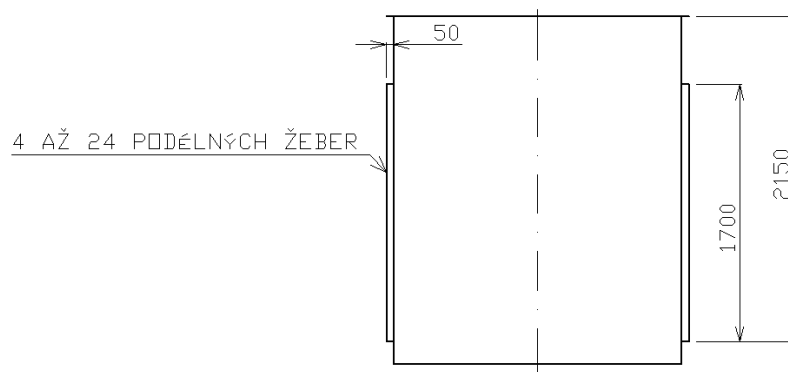


Obr. 71. Rozmístění pásů pro základní tloušťku stěny 10 mm

Tab. 46. Výsledky pro základní tloušťku stěny 10 mm
– MS2

Tloušťka pásu (mm)		5	10
Modifikace 1	VM	1,23	-
	MD	1,18	-
	SM	0,2105	-
	S	2,01	-
Modifikace 2	VM	-	1,22
	MD	-	1,18
	SM	-	0,2076
	S	-	2,10
Modifikace 3	VM	-	1,22
	MD	-	1,18
	SM	-	0,2046
	S	-	2,07

14.4 Nádrž vyztužená podélnými žebry

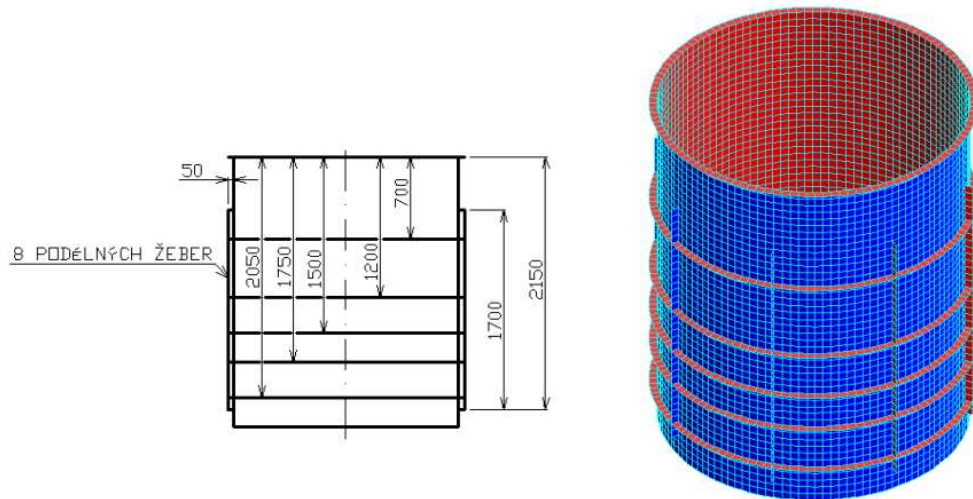


Obr. 72. Rozmístění podélných žeber

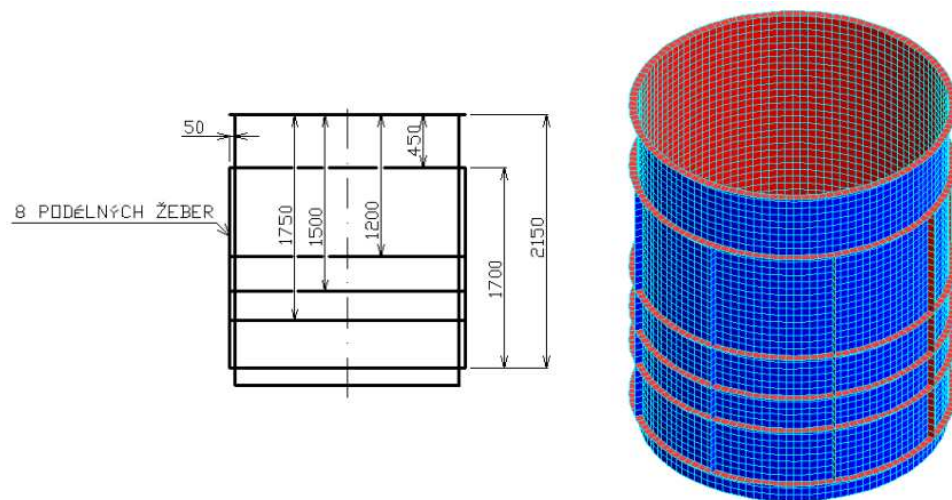
Použitím podélných žeber (4 až 24) tloušťky 5 až 20 mm při konfiguraci žeber dle obrázku (Obr. 72) se nedosáhne požadované stability.

14.5 Nádrž vyztužená kombinací obvodových a podélných žeber

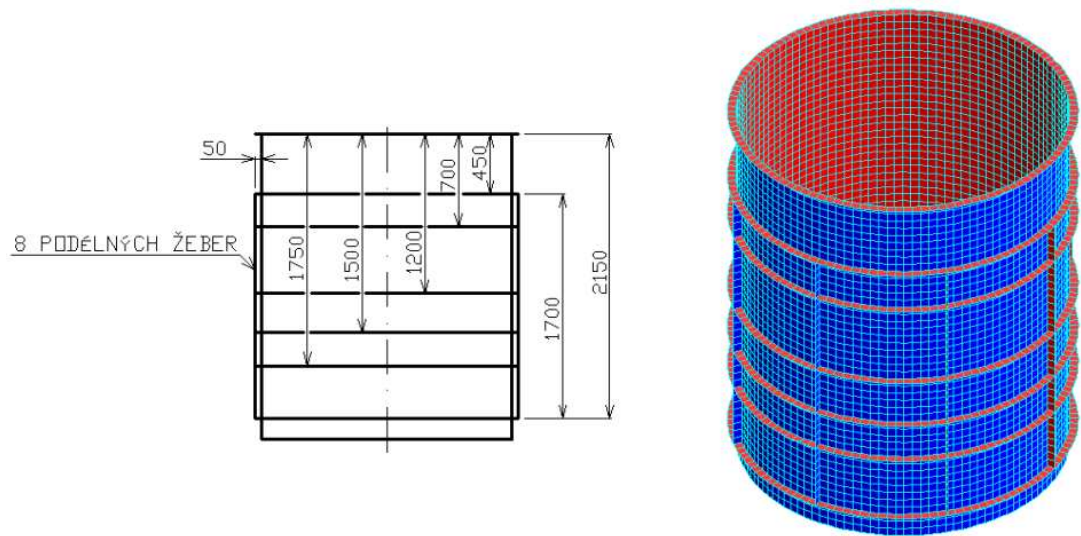
14.5.1 Pro základní tloušťku stěny 8mm



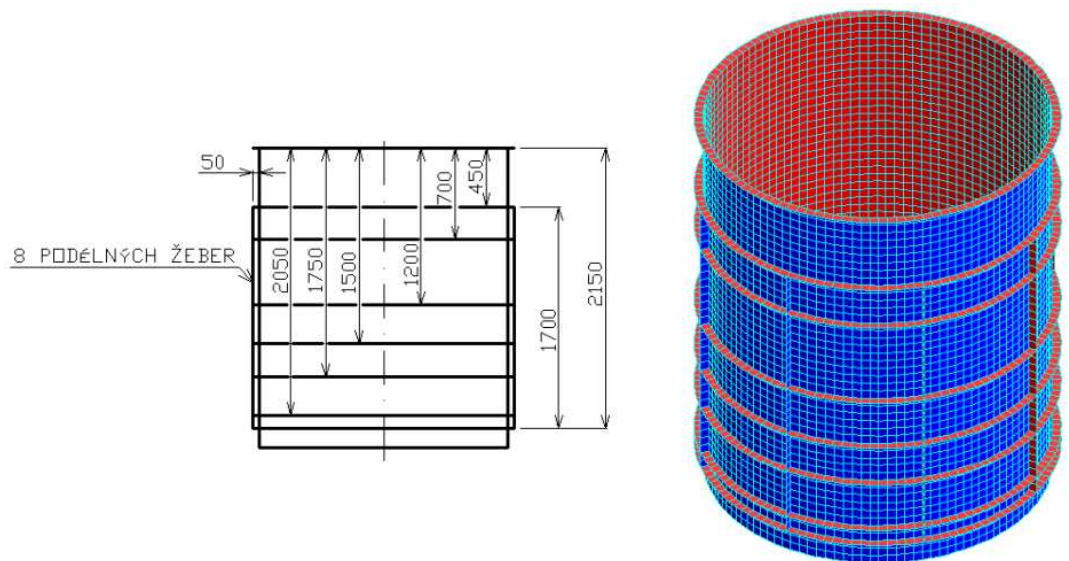
Obr. 73. Rozmístění 5 obvodových a 8 podélných žeber – verze 1



Obr. 74. Rozmístění 5 obvodových a 8 podélných žeber – verze 2

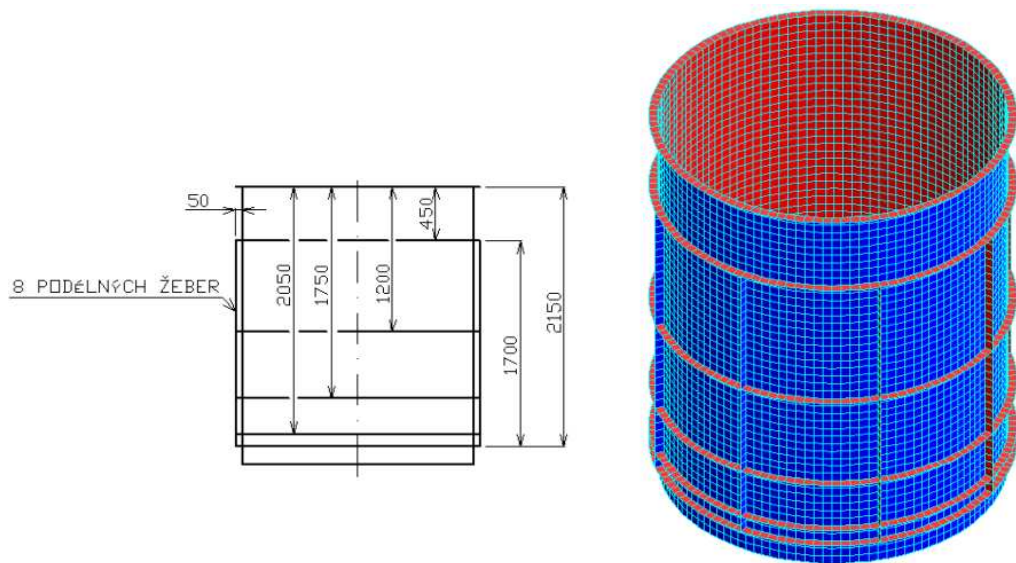


Obr. 75. Rozmístění 6 obvodových a 8 podélných žeber

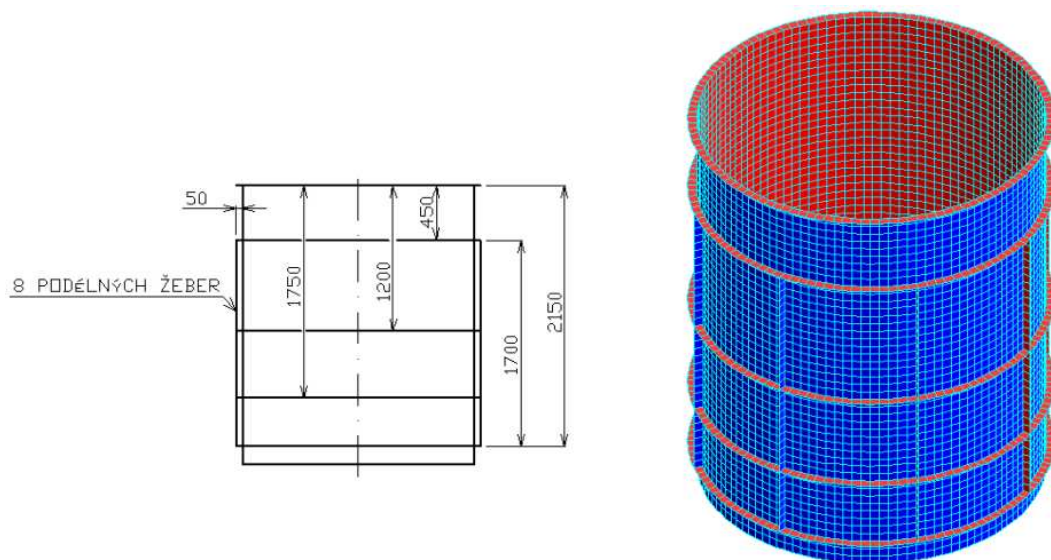


Obr. 76. Rozmístění 7 obvodových a 8 podélných žeber

14.5.2 Pro základní tloušťku stěny 10 mm



Obr. 77. Rozmístění 5 obvodových a 8 podélných žeber

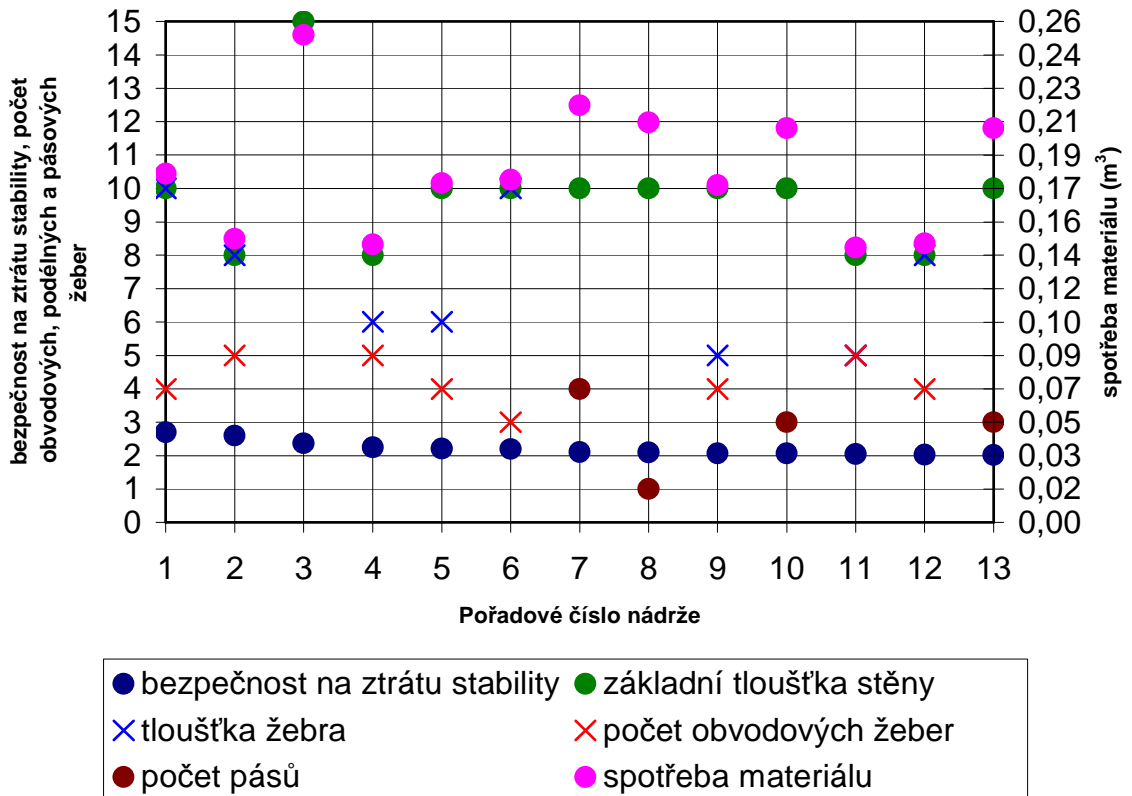


Obr. 78. Rozmístění 4 obvodových a 8 podélných žeber

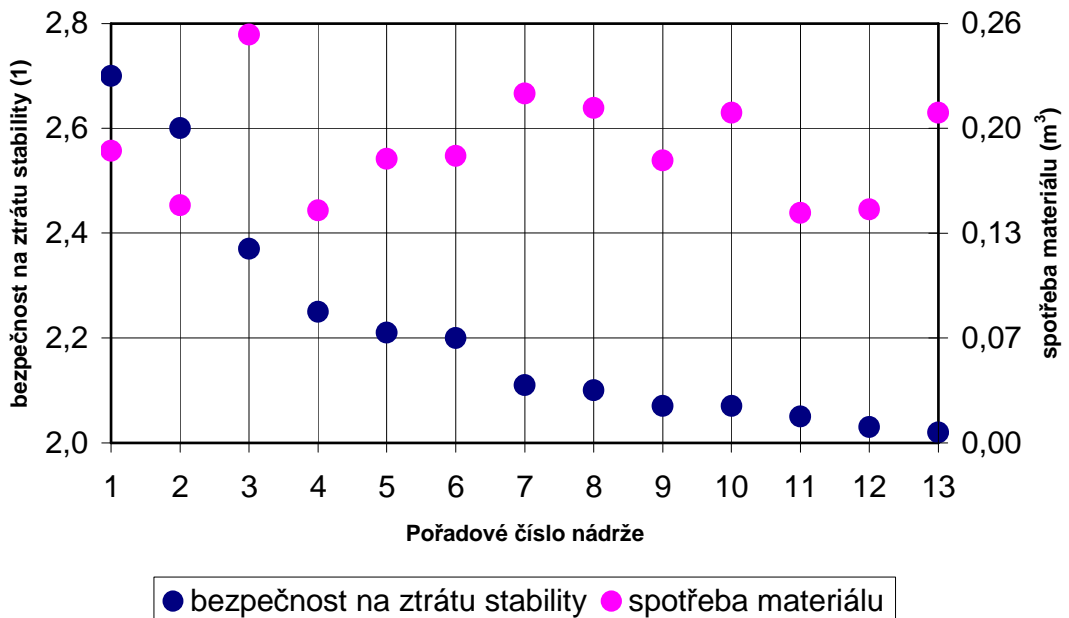
14.6 Doporučené nádrže pro aplikaci

Tab. 47. Seznam doporučených nádrží pro aplikaci seřazených sestupně podle bezpečnosti na ztrátu stability

Poř. číslo	Zákl. tl. stěny (mm)	Tl. žebra (mm)	Počet obvod. žeber (ks)	Počet pásů (ks)	Šířka pásu (mm)	Tl. pásu (mm)	Spotř. mat. (m ³)	Bezp. na ztrátu stability (1)	Poznámka
1	10	10	4				0,1810	2,70	
2	8	8	5				0,1472	2,60	
3	15						0,2531	2,37	
4	8	6	5				0,1442	2,25	
5	10	6	4				0,1761	2,21	
6	10	10	3				0,1779	2,20	
7	10			4	200	10	0,2165	2,11	
8	10			1	650	10	0,2076	2,10	
9	10	5	4				0,1750	2,07	
10	10			3	200	10	0,2046	2,07	modifikace 3
11	8	5	5				0,1427	2,05	
12	8	8	4				0,1448	2,03	
13	10			3	200	10	0,2046	2,02	



Obr. 79. Grafický přehled dat pro nádrže k aplikaci – souhrnný graf



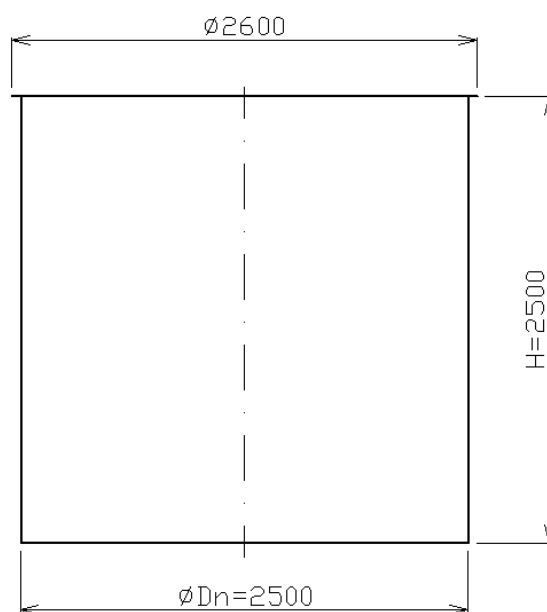
Obr. 80. Grafický přehled dat pro nádrže k aplikaci – bezpečnost na ztrátu stability versus spotřeba materiálu

15 VÝSLEDKY SIMULACÍ NAPĚŤOVĚ DEFORMAČNÍHO STAVU A MODÁLNÍ ANALÝZY PRO NÁDRŽ O HLAVNÍCH ROZMĚRECH $D_N = 2500$ MM, $H = 2500$ MM

Tab. 48. Parametry pro výpočet

$h_{vps} = h_z$ (mm)	2350
p_z (MPa)	0,0140
p_{vms} (MPa)	0,0250
p_{ps} (dno) (MPa)	0,0235
p_{ps} (plášť) (MPa)	0,0096

15.1 Nádrž nevyztužená



Obr. 81. Rozměrové parametry hladké nádrže

Tab. 49. Hodnoty napětí a spotřeby materiálu pro různé tloušťky základní stěny pro stavy MS1, MS2 a PS

Tloušťka základní stěny (mm)	5	6	8	10	15	20
MS1 (MPa)	6,46	5,36	3,96	3,17	2,07	1,54
MS2 (MPa)	3,60	2,98	2,20	1,76	1,15	0,86
PS (MPa)	2,45	2,03	1,50	1,20	0,78	0,58
Spotřeba materiálu (m ³)	0,1248	0,1497	0,1996	0,2495	0,3742	0,4988

Pevnostně nevyhovuje pouze základní tloušťka stěny 5 mm.

Tab. 50. Hodnoty bezpečnosti na ztrátu stability pro různé tloušťky základní stěny pro stavy MS1, MS2 a PS

Tloušťka základní stěny (mm)	5	6	8	10	15	20
MS1 (1)	Vyhovuje (není třeba kontrolovat)					
MS2 (1)	0,07	0,12	0,26	0,45	1,21	2,57
PS (1)	Vyhovuje (není třeba kontrolovat)					

Tloušťka stěny 20 mm vyhovuje z hlediska stability, tloušťky stěn 5 až 15 mm je třeba vyztužit, aby byla minimální hodnota bezpečnosti na ztrátu stability $S = 2$.

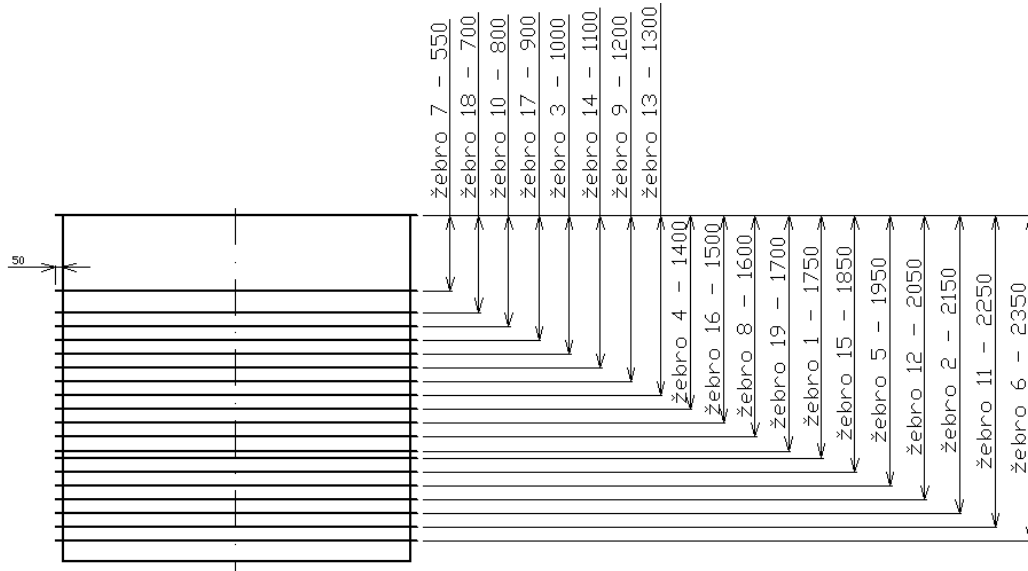
Tab. 51. Hodnoty maximálních deformací pro různé tloušťky základní stěny pro stavy MS1, MS2 a PS

Tloušťka základní stěny (mm)	5	6	8	10	15	20
MS1 (mm)	10,79	8,03	5,47	4,19	2,62	1,91
MS2 (mm)	5,86	4,39	3,03	2,32	1,45	1,06
PS (mm)	12,84	9,72	6,79	5,22	3,28	2,39

Z podmínky maximální deformace, kdy by neměla tato deformace překročit tloušťku stěny, nevyhovují pouze tloušťky základních stěn 5 a 6 mm.

15.2 Nádrž vyztužená obvodovými žebry

15.2.1 Tloušťka základní stěny je shodná s tloušťkou žebra



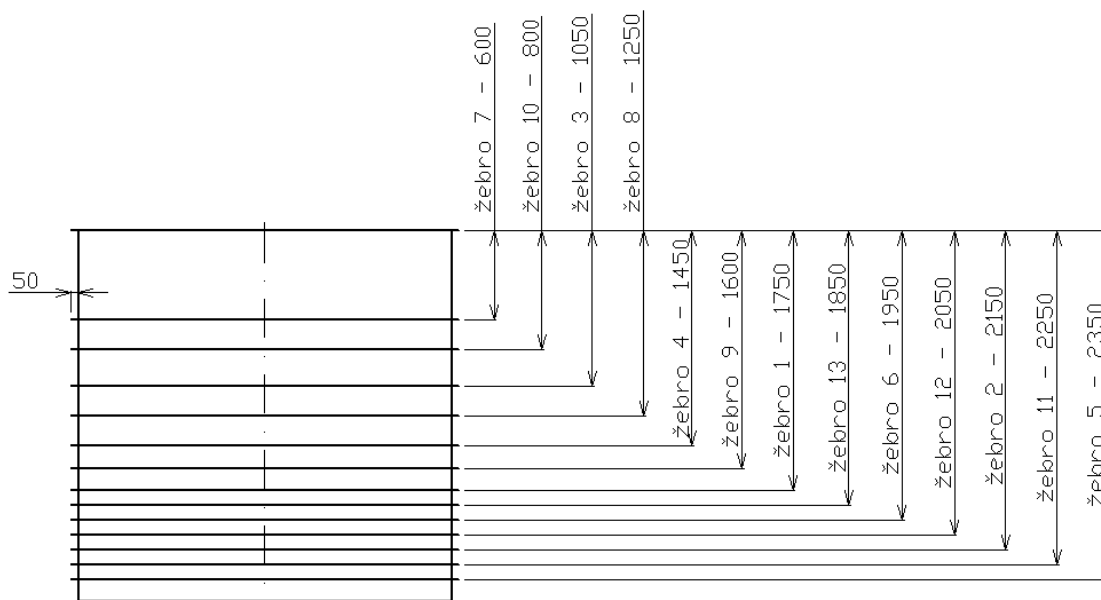
Obr. 82. Rozmístění žeber pro základní tloušťky stěn 5 až 10 mm

Tab. 52. Výsledky pro základní tloušťku stěny 15 mm – MS2

Tloušťka stěny a žebra (mm)		15
Žebro 1 až 3	VM	1,11
	MD	1,27
	SM	0,3922
	S	2,37
Žebro 1 až 4	VM	1,11
	MD	1,27
	SM	0,3983
	S	2,78

Tloušťka stěny a žebra (mm)		15
Žebro 1 až 5	VM	1,12
	MD	1,27
	SM	0,4044
	S	2,92

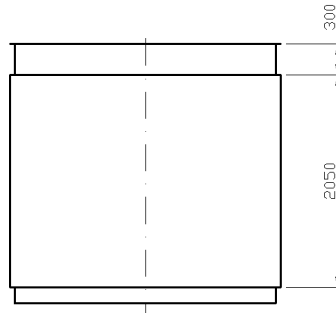
15.2.2 Tloušťka základní stěny není shodná s tloušťkou žebra



Obr. 83. Rozmístění žeber pro základní tloušťky stěn 5 až 10 mm

15.3 NÁDRŽ VYZTUŽENÁ OBVODOVÝMI PÁSY

15.3.1 Modifikace pro základní tloušťku stěny 10 mm

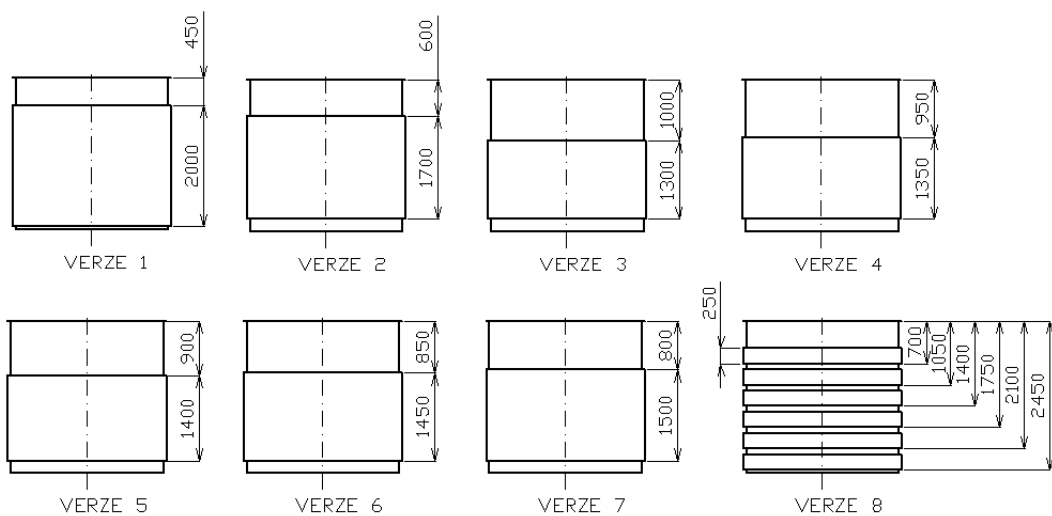


Obr. 84. Umístění pásu

Tab. 53. Výsledky pro základní tloušťku stěny 10 mm – MS2

Tloušťka pásu (mm)		5
Umístění pásu podle obrázku (Obr. 84)	VM	1,37
	MD	1,31
	SM	0,4104
	S	2,05

15.3.2 Modifikace pro základní tloušťku stěny 15 mm

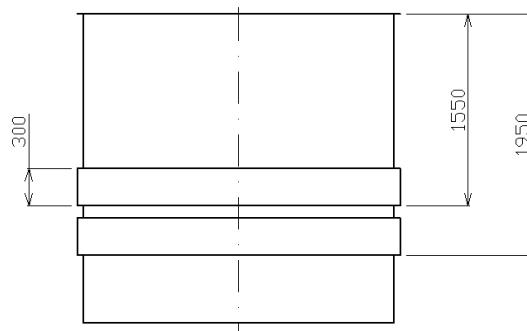


Obr. 85. Rozmístění pásů pro základní tloušťku stěny 15 mm a tloušťku pásu 5 mm

Tab. 54. Výsledky pro základní tloušťku stěny 15 mm a pásu tloušťky 5 mm – MS2

Tloušťka pásu (mm)		5
Verze 1	VM	0,87
	MD	1,07
	SM	0,4420
	S	2,16
Verze 2	VM	1,04
	MD	1,15
	SM	0,4408
	S	2,23
Verze 3	VM	1,04
	MD	1,15
	SM	0,4252
	S	2,00
Verze 4	VM	1,04
	MD	1,15
	SM	0,4272
	S	2,03
Verze 5	VM	1,04
	MD	1,15
	SM	0,4292
	S	2,05

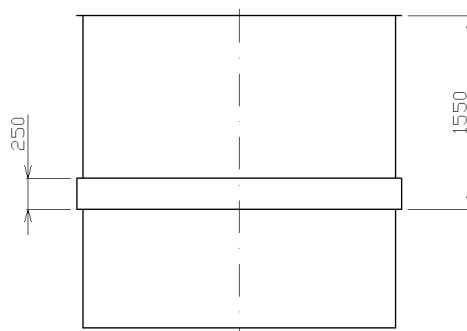
Tloušťka pásu (mm)		5
Verze 6	VM	1,04
	MD	1,15
	SM	0,4312
	S	2,08
Verze 7	VM	1,04
	MD	1,15
	SM	0,4332
	S	2,11
Verze 8	VM	0,95
	MD	1,19
	SM	0,4332
	S	2,11



Obr. 86. Rozmístění pásů pro základní tloušťku stěny 15 mm a tloušťku pásu 10 mm

Tab. 55. Výsledky pro základní tloušťku stěny 15 mm a pásu tloušťky 10 mm – MS2

Tloušťka pásu (mm)		10
Umístění pásů podle obrázku (Obr. 86)	VM	1,16
	MD	1,43
	SM	0,4220
	S	2,05

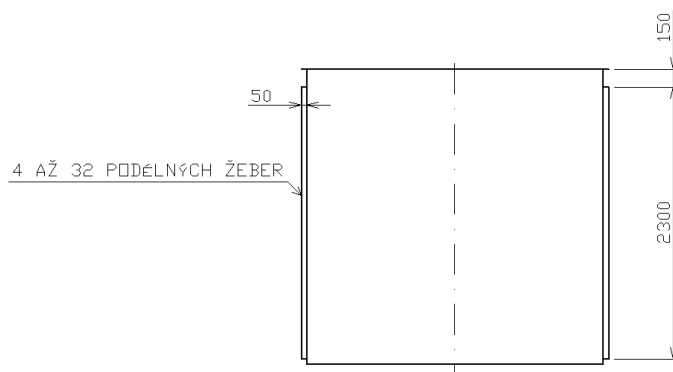


Obr. 87. Rozmístění pásů pro základní tloušťku stěny 15 mm a tloušťku pásu 15 mm

Tab. 56. Výsledky pro základní tloušťku stěny 15 mm a pásu tloušťky 15 mm – MS2

Tloušťka pásu (mm)		15
Umístění pásů podle obrázku (Obr. 87)	VM	1,15
	MD	1,44
	SM	0,4040
	S	2,02

15.4 Nádrž vyztužená podélnými žebry

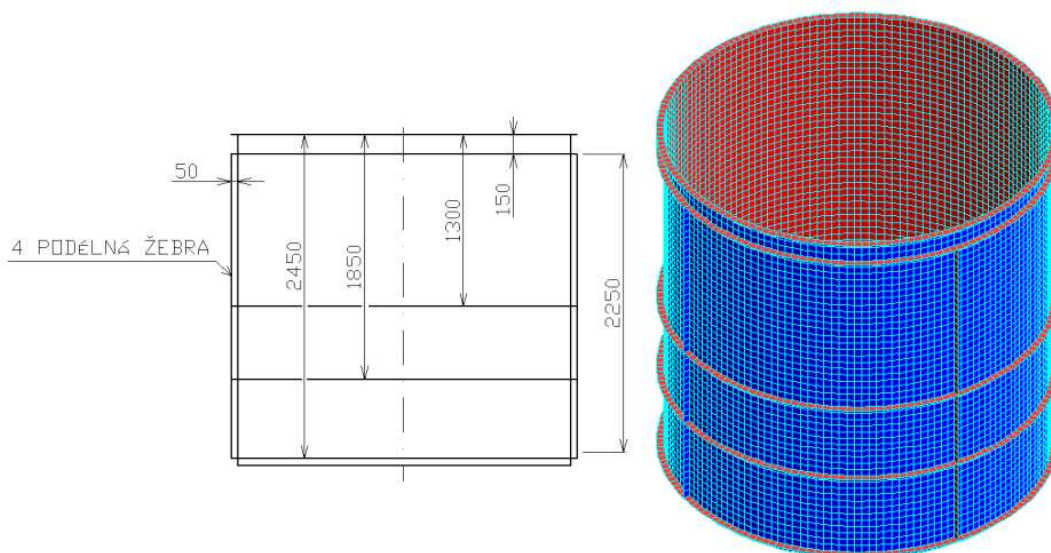


Obr. 88. Rozmístění podélných žeber

Použitím podélných žeber (4 až 32) tloušťky 15 a 20 mm při konfiguraci žeber dle obrázku (Obr. 88) se nedosáhne požadované stability.

15.5 Nádrž vyztužená kombinací obvodových a podélných žeber

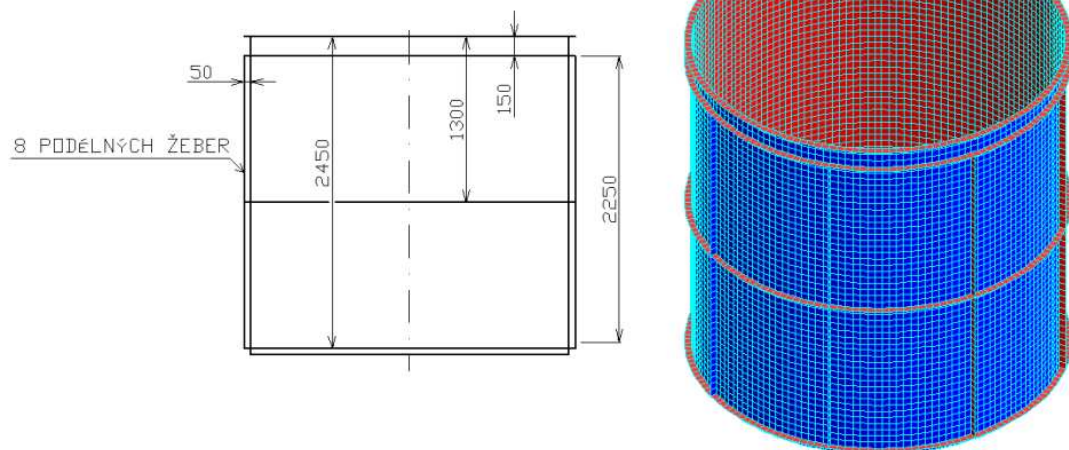
15.5.1 Pro základní tloušťku stěny 15 mm



Obr. 89. Rozmístění 4 obvodových a 4 podélných žeber

Tab. 57. Výsledky pro základní tloušťku stěny 15 mm – MS2

Tloušťka žebra (mm)		8	10	15
4 žebra podélná a 4 žebra obvodová	VM	1,15	1,16	1,17
	MD	1,41	1,41	1,40
	SM	0,3907	0,3948	0,4052
	S	2,09	2,26	2,64

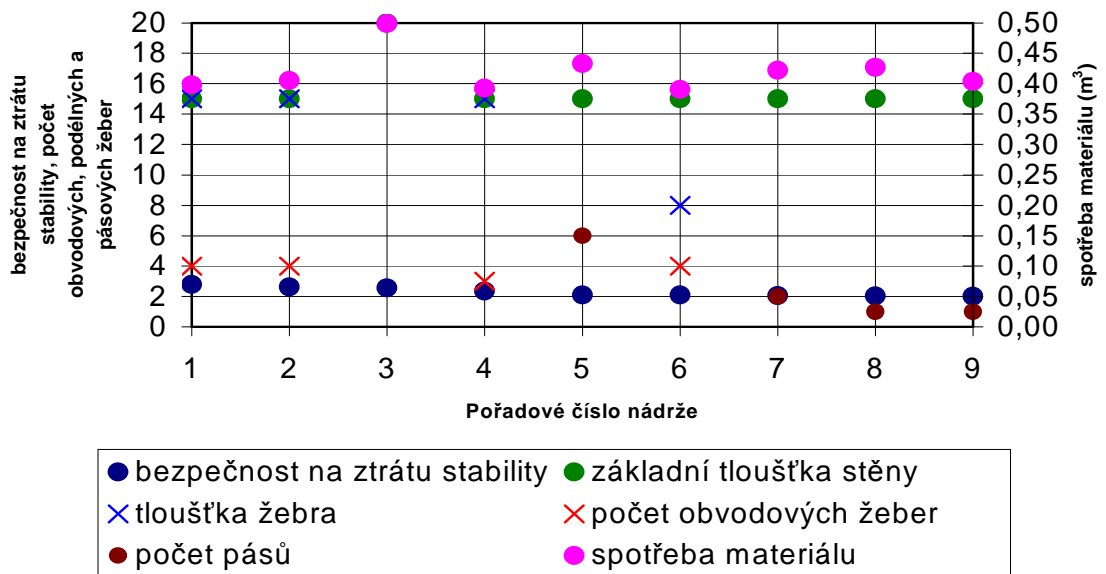


Obr. 90. Rozmístění 3 obvodových a 8 podélných žebor

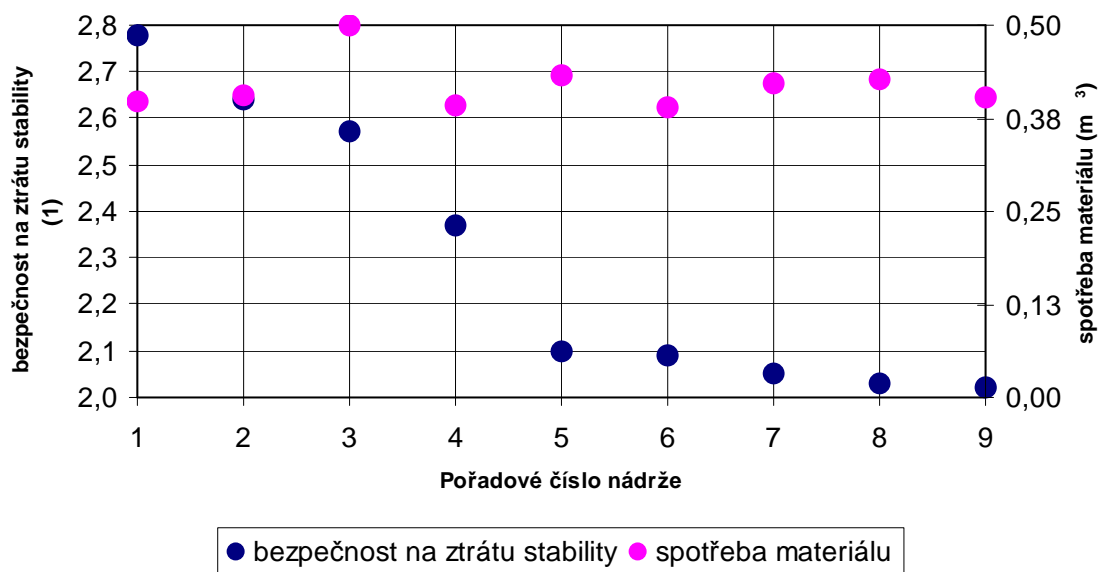
15.6 Doporučené nádrže pro aplikaci

Tab. 58. Seznam doporučených nádrží pro aplikaci seřazených sestupně podle bezpečnosti na ztrátu stability

Poř. číslo	Zákl. tl. stěny (mm)	Tl. žebra (mm)	Počet obvod. žeber (ks)	Počet pod. žeber (ks)	Počet pásů (ks)	Šířka pásu (mm)	Tl. pásu (mm)	Spotř. mat. (m ³)	Bezp. na ztrátu stability (1)
1	15	15	4					0,3983	2,78
2	15	15	4	4				0,4052	2,64
3	20							0,4988	2,57
4	15	15	3					0,3922	2,37
5	15				6	250	5	0,4332	2,10
6	15	8	4	4				0,3907	2,09
7	15				2	300	10	0,4220	2,05
8	15				1	1350	5	0,4272	2,03
9	15				1	250	15	0,4040	2,02



Obr. 91. Grafický přehled dat pro nádrže k aplikaci – souhrnný graf



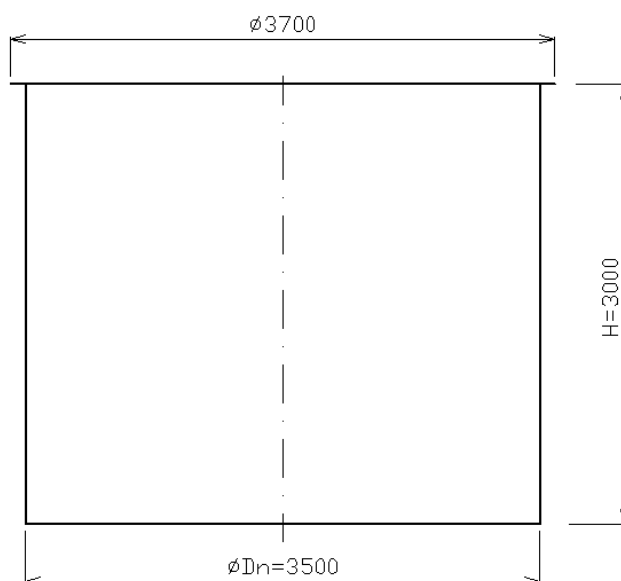
Obr. 92. Grafický přehled dat pro nádrže k aplikaci – bezpečnost na ztrátu stability versus spotřeba materiálu

16 VÝSLEDKY SIMULACÍ NAPĚŤOVĚ DEFORMAČNÍHO STAVU A MODÁLNÍ ANALÝZY PRO NÁDRŽ O HLAVNÍCH ROZMĚRECH $D_N = 3500$ MM, $H = 3000$ MM

Tab. 59. Parametry pro výpočet

$h_{vps} = h_z$ (mm)	2700
p_z (MPa)	0,016
p_{vms} (MPa)	0,027
p_{ps} (dno) (MPa)	0,030
p_{ps} (plášť) (MPa)	0,011

16.1 Nádrž nevyztužená



Obr. 93. Rozměrové parametry hladké nádrže

Tab. 60. Hodnoty napětí a spotřeby materiálu pro různé tloušťky základní stěny pro stavy MS1, MS2 a PS

Tloušťka základní stěny (mm)	5	6	8	10	15	20	25	30
MS1 (MPa)	10,74	8,94	6,66	5,29	3,47	2,58	2,04	1,68
MS2 (MPa)	5,71	4,75	3,54	2,80	1,84	1,37	1,08	0,89
PS (MPa)	3,89	3,24	2,40	1,91	1,25	0,93	0,73	0,61
Spotřeba materiálu (m ³)	0,2188	0,2625	0,3500	0,4376	0,6560	0,8748	1,094	1,313

Pevnostně nevyhovuje základní tloušťky stěn 5 až 8 mm.

Tab. 61. Hodnoty bezpečnosti na ztrátu stability pro různé tloušťky základní stěny pro stavy MS1, MS2 a PS

Tloušťka základní stěny (mm)	5	6	8	10	15	20	25	30
MS1 (1)	Vyhovuje (není třeba kontrolovat)							
MS2 (1)	0,04	0,05	0,11	0,20	0,58	1,16	2,01	3,21
PS (1)	Vyhovuje (není třeba kontrolovat)							

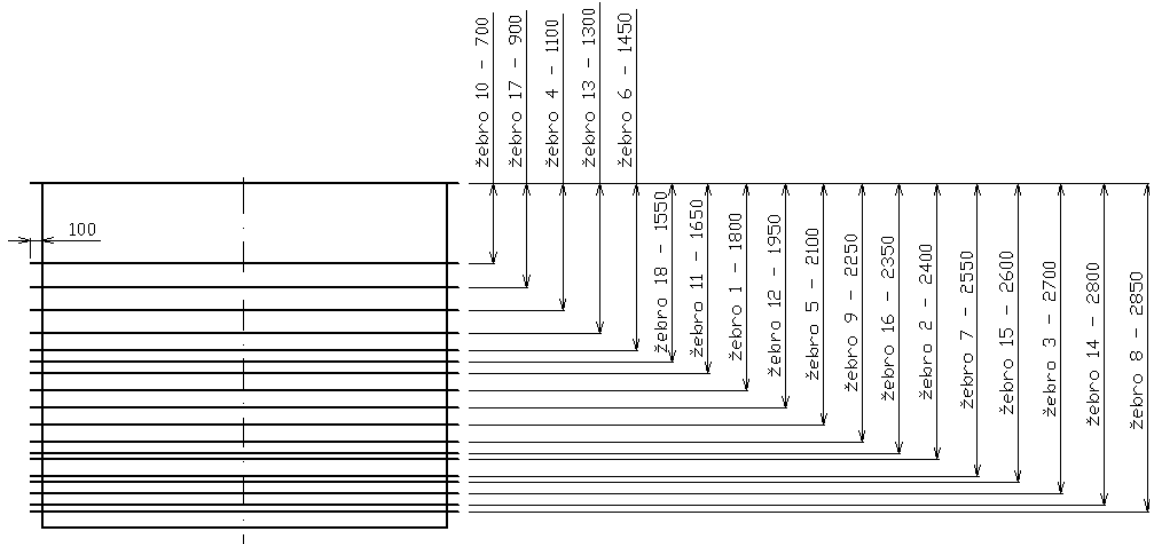
Tloušťky stěn 25 a 30 mm vyhovují z hlediska stability, tloušťky stěn 5 až 20 mm je třeba vyzužít, aby byla minimální hodnota bezpečnosti na ztrátu stability $S = 2$.

Tab. 62. Hodnoty maximálních deformací pro různé tloušťky základní stěny pro stavy MS1, MS2 a PS

Tloušťka základní stěny (mm)	5	6	8	10	15	20	25	30
MS1 (mm)	29,25	21,71	13,86	10,39	6,42	4,62	3,61	2,97
MS2 (mm)	14,57	10,92	7,16	5,45	3,36	2,40	1,87	1,52
PS (mm)	31,10	23,67	15,93	12,18	7,56	5,40	4,19	3,43

Z podmínky maximální deformace, kdy by neměla tato deformace překročit tloušťku stěny, nevyhovují tloušťky základních stěn 5 až 10 mm.

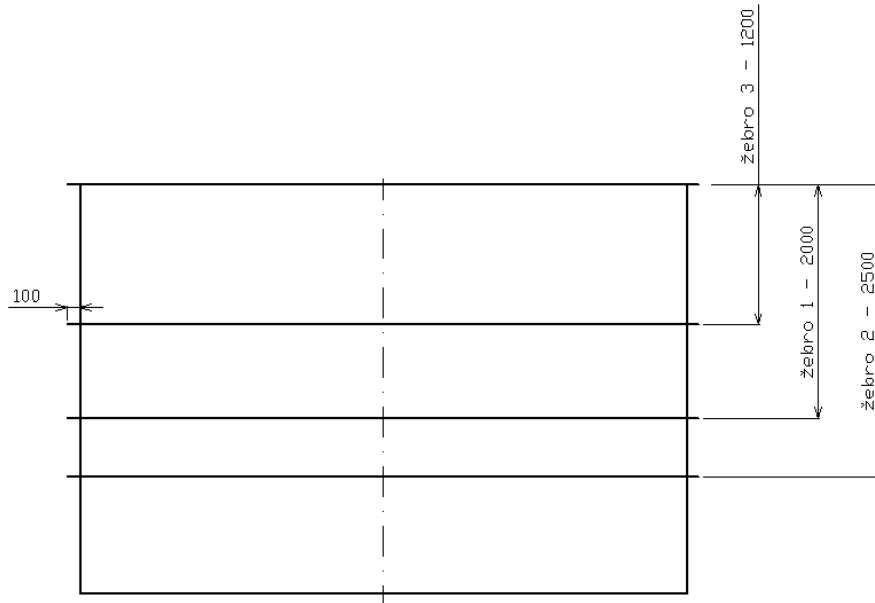
16.2 Nádrž vyztužená obvodovými žebry



Obr. 94. Rozmístění žeber pro základní tloušťky stěn 8 až 20 mm

Tab. 63. Výsledky pro základní tloušťku stěny 15 mm – MS2

Tloušťka žebra (mm)		6	8	10	15
Žebro 1 až 4	VM	1,63	1,60	1,57	1,47
	MD	2,72	2,61	2,52	2,37
	SM	0,6832	0,6924	0,7012	0,7468
	S	2,23	2,58	2,80	3,26
Žebro 1 až 5	VM	1,63	1,60	1,57	1,47
	MD	2,72	2,62	2,53	2,19
	SM	0,6900	0,7012	0,7128	0,7692
	S	2,55	2,87	3,16	3,97



Obr. 95. Rozmístění obvodových žeber pro základní tloušťku stěny 15 mm - modifikace

Tab. 64. Výsledky pro základní tloušťku stěny 15 mm – modifikace – MS2

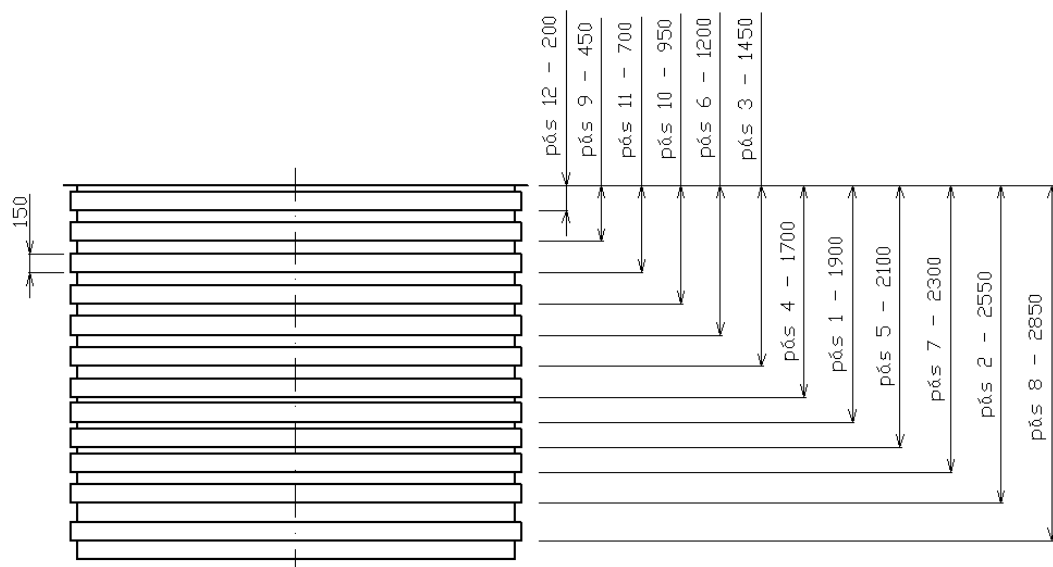
Tloušťka žebra (mm)		6	8	10	15
Žebro 1 až 2	VM	-	-	-	1,84
	MD	-	-	-	2,95
	SM	-	-	-	0,6900
	S	-	-	-	1,44
Žebro 1 až 3	VM	1,83	1,83	1,84	1,84
	MD	3,05	3,03	3,00	2,96
	SM	0,6764	0,6832	0,6900	0,7072
	S	2,02	2,35	2,57	2,74

Poznámka: Minimální počet obvodových žeber pro základní tloušťku stěny 15 mm je 3. (Při použití 2 obvodových žeber při jakémkoliv uspořádání a pro tloušťku žebra 10 až 15 mm nedosáhneme minimální bezpečnosti na ztrátu stability $S=2$).

Tab. 65. Výsledky pro základní tloušťku stěny 20 mm – MS2

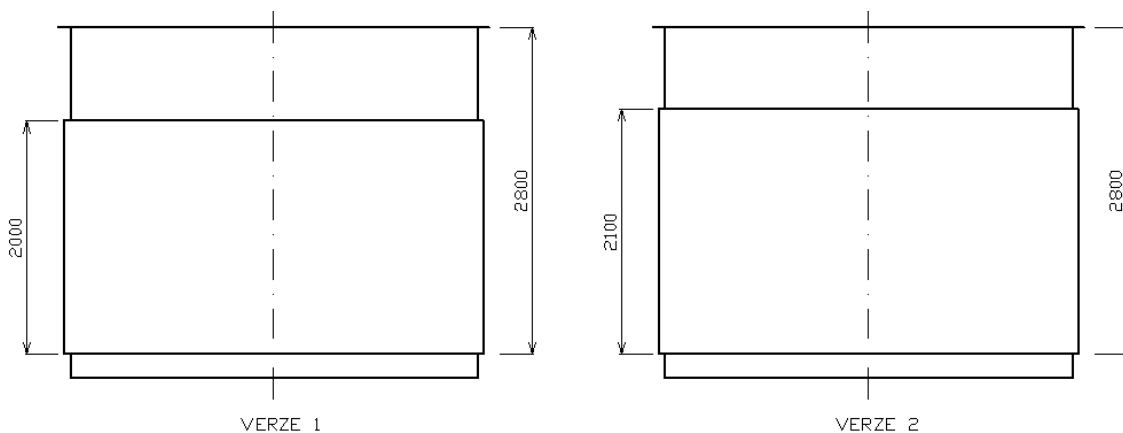
Tloušťka žebra (mm)		5	6	8	10	15	20
Žebro 1	VM	-	-	-	-	1,36	1,36
	MD	-	-	-	-	2,37	2,37
	SM	-	-	-	-	0,8920	0,8976
	S	-	-	-	-	2,09	2,10
Žebro 1 až 2	VM	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,37
	MD	2,30	2,30	2,28	2,27	2,25	2,24
	SM	0,8860	0,8884	0,8928	0,8976	0,9088	0,9200
	S	2,12	2,27	2,53	2,76	3,11	3,33
Žebro 1 až 3	VM	1,23	1,21	1,18	1,14	1,10	1,06
	MD	2,14	2,10	2,04	1,98	1,85	1,75
	SM	0,8920	0,8952	0,9020	0,9088	0,9256	0,9428
	S	2,19	2,34	2,61	2,84	3,18	3,42

16.3 Nádrž vyztužená obvodovými pásy



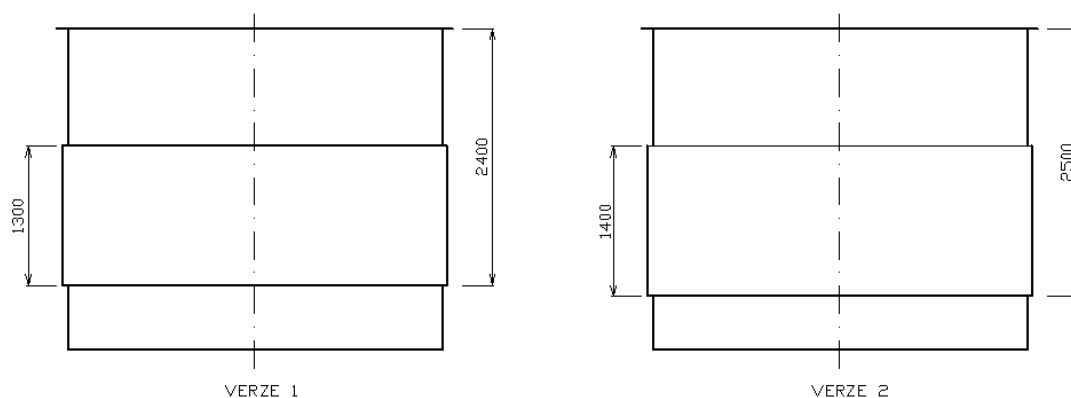
Obr. 96. Rozmístění pásů pro základní tloušťky stěny 20 mm

16.3.1 Modifikace pro základní tloušťku stěny 10 mm



Obr. 97. Umístění pásu pro základní tloušťku stěny 10 mm pro verze 1 a 2

16.3.2 Modifikace pro základní tloušťku stěny 15 mm



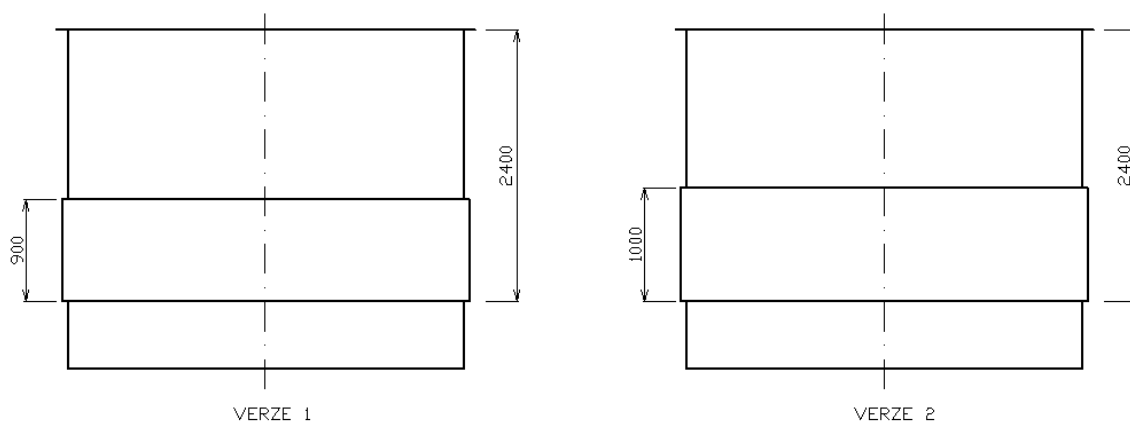
Obr. 98. Umístění pásu pro základní tloušťku stěny 15 mm pro verze 1 a 2

Tab. 66. Výsledky pro základní tloušťku stěny 15 mm – MS2

Tloušťka pásu (mm)		15
Verze 1	VM	1,86
	MD	3,21
	SM	0,8704
	S	2,04

Tloušťka pásu (mm)		15
Verze 2	VM	1,87
	MD	3,07
	SM	0,8872
	S	2,15

16.3.3 Modifikace pro základní tloušťku stěny 20 mm

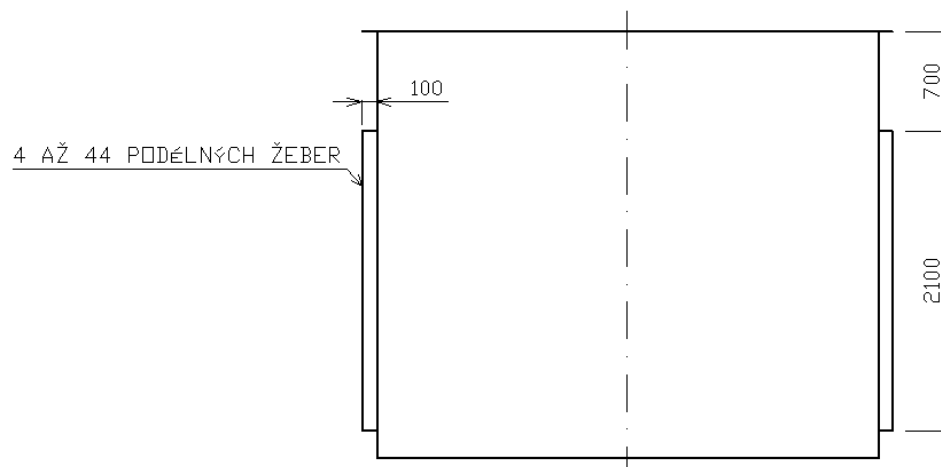


Obr. 99. Umístění pásu pro základní tloušťku stěny 20 mm pro verze 1 a 2

Tab. 67. Výsledky pro základní tloušťku stěny 20 mm – MS2

Tloušťka pásu (mm)		10
Verze 1	VM	1,38
	MD	2,34
	SM	0,9740
	S	2,02
Verze 2	VM	1,38
	MD	2,33
	SM	0,9848
	S	2,13

16.4 Nádrž vyztužená podélnými žebry

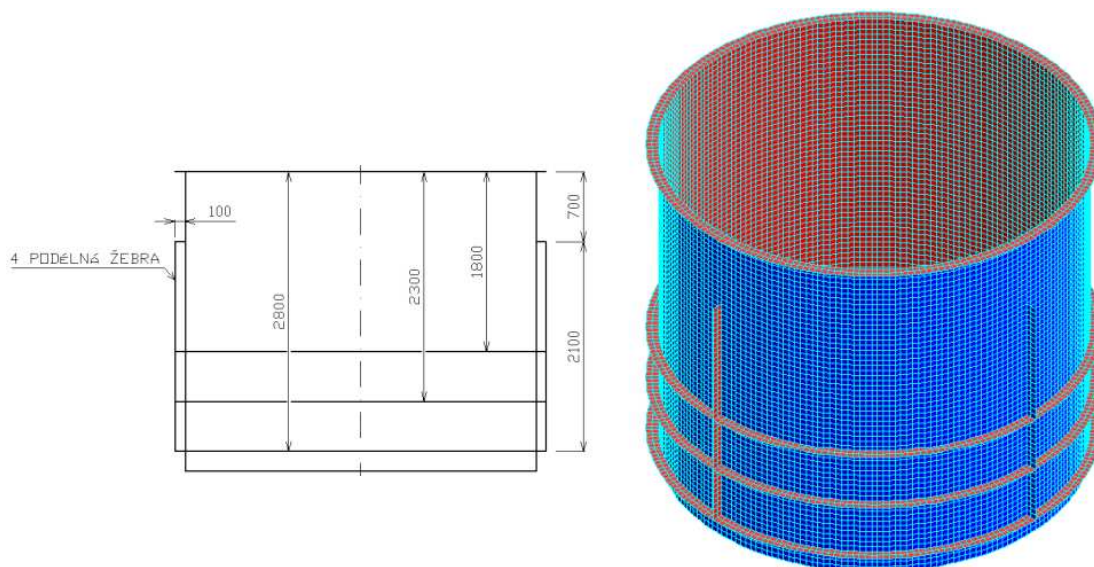


Obr. 100. Rozmístění podélných žeber

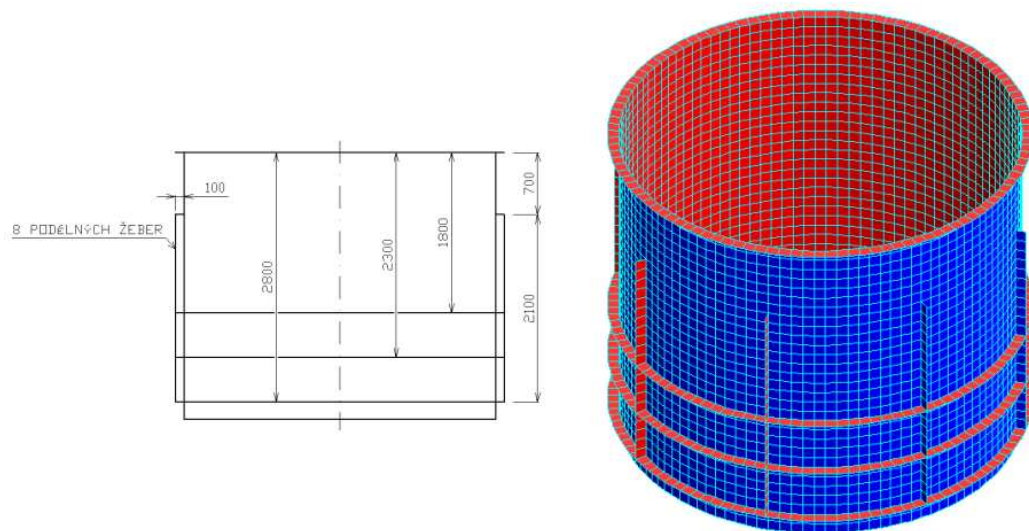
Použitím podélných žeber (4 až 44) tloušťky 10 až 30 mm při konfiguraci žeber dle obrázku (Obr. 100) se nedosáhne požadované stability.

16.5 Nádrž vyztužená kombinací obvodových a podélných žeber

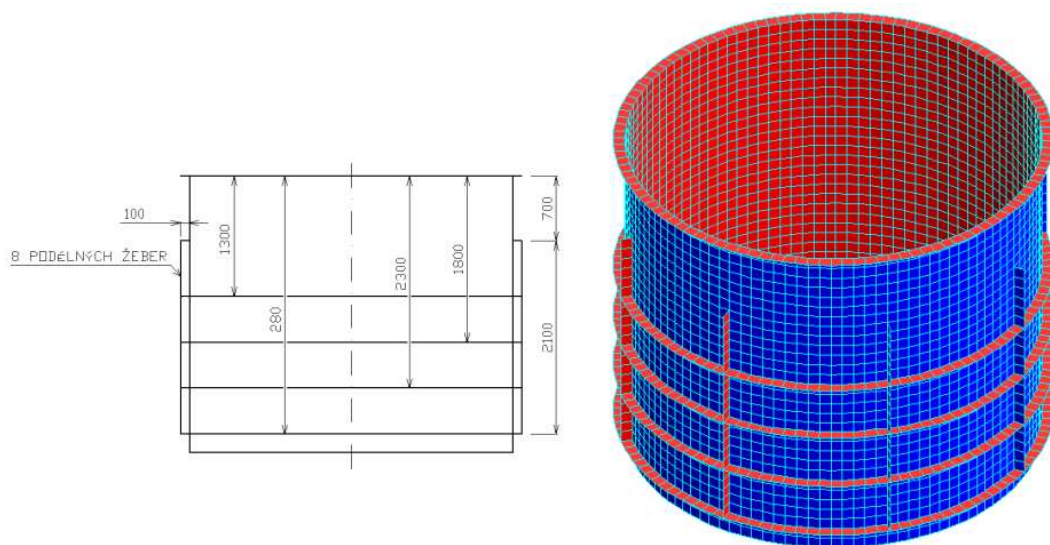
16.5.1 Pro základní tloušťku stěny 15 mm



Obr. 101. Rozmístění 3 obvodových a 4 podélných žeber pro základní tloušťku stěny 15 mm

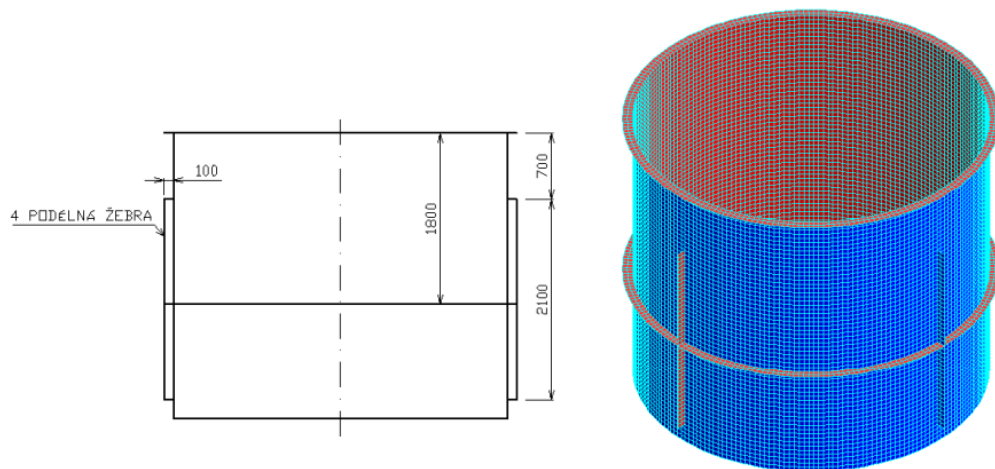


Obr. 102. Rozmístění 3 obvodových a 8 podélných žeber pro základní tloušťku stěny 15 mm

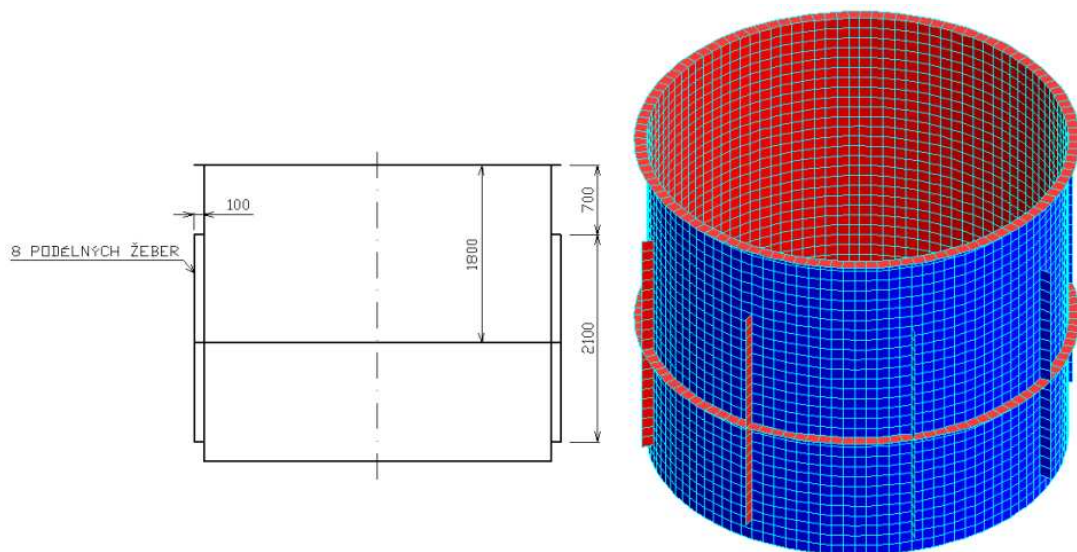


Obr. 103. Rozmístění 4 obvodových a 8 podélných žeber pro základní tloušťku stěny 15 mm

16.5.2 Pro základní tloušťku stěny 20 mm



Obr. 104. Rozmístění 1 obvodového a 4 podélných žeber pro základní tloušťku stěny 20 mm



Obr. 105. Rozmístění 1 obvodového a 8 podélných žeber pro základní tloušťku stěny 20 mm

Tab. 68. Výsledky pro základní tloušťku stěny 20 mm – MS2

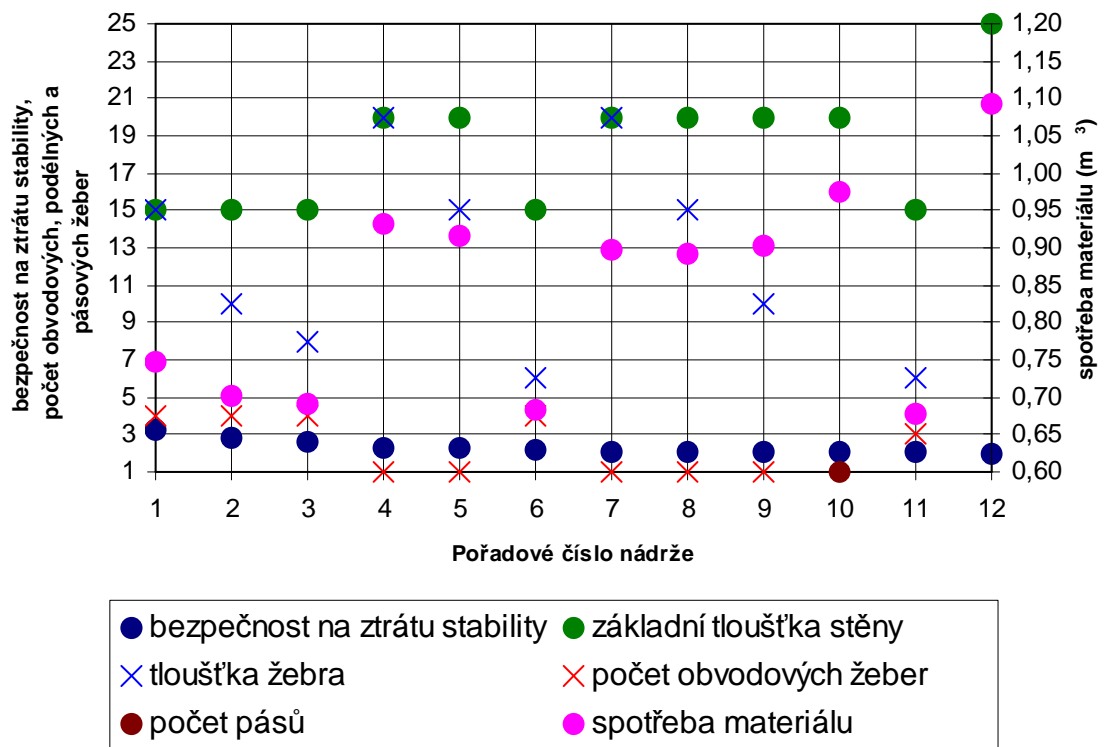
Tloušťka žebra (mm)		10	15	20
1 žebro obvodové a 4 žebra podélná	VM	1,37	1,38	1,39
	MD	2,43	2,46	2,45
	SM	0,9028	0,9172	0,9312
	S	2,04	2,24	2,27
1 žebro obvodové a 8 žeberek podélných	VM	1,36	1,35	1,35
	MD	2,34	2,36	2,34
	SM	0,9112	0,9296	0,9475
	S	2,10	2,30	2,35

16.6 Doporučené nádrže pro aplikaci

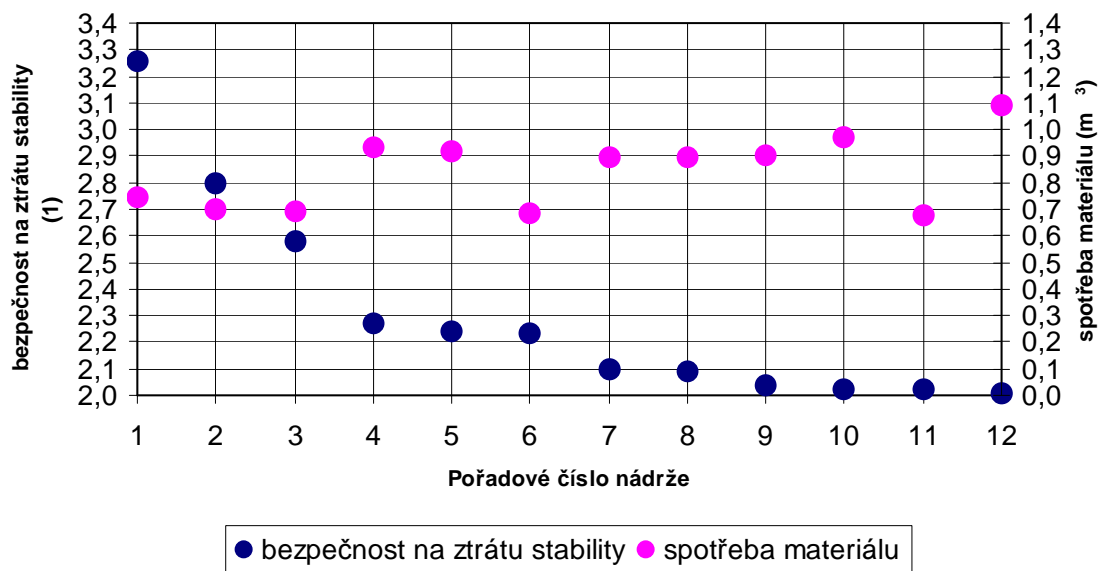
Tab. 69. Seznam doporučených nádrží pro aplikaci seřazených sestupně podle bezpečnosti na ztrátu stability

Poř. číslo	Zákl. tl. stěny (mm)	Tl. žebra (mm)	Počet obvod. žeber (ks)	Počet pod. žeber (ks)	Počet pásů (ks)	Šířka pásu (mm)	Tl. pásu (mm)	Spotř. mat. (m ³)	Bezp. na ztrátu stability (1)
1	15	15	4					0,7468	3,26
2	15	10	4					0,7012	2,80
3	15	8	4					0,6924	2,58
4	20	20	1	4				0,9312	2,27
5	20	15	1	4				0,9172	2,24
6	15	6	4					0,6832	2,23
7	20	20	1					0,8976	2,10
8	20	15	1					0,8920	2,09
9	20	10	1	4				0,9028	2,04
10	20				1	900	10	0,9740	2,02
11	15	6	3					0,6764	2,02
12	25							1,0940	2,01

Poznámka: Pořadové číslo 11 – základní tloušťka stěny 15 mm – modifikace.



Obr. 106. Grafický přehled dat pro nádrže k aplikaci – souhrnný graf



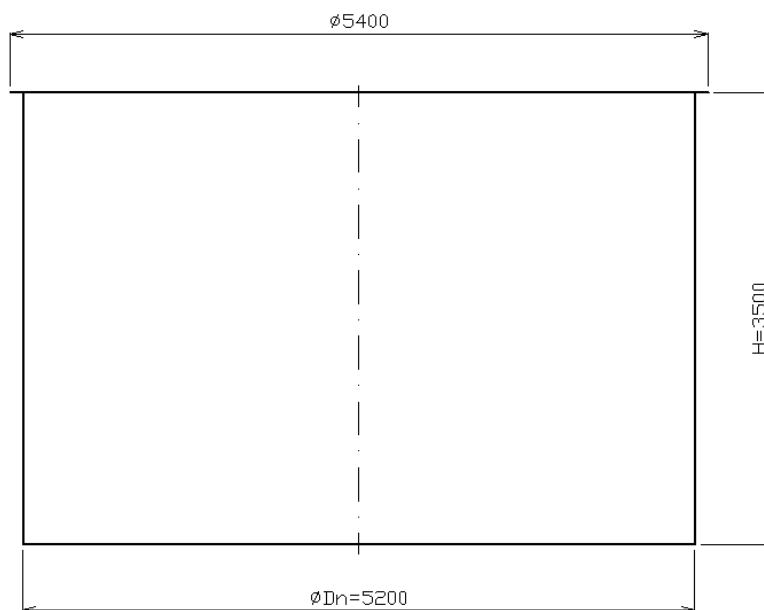
Obr. 107. Grafický přehled dat pro nádrže k aplikaci – bezpečnost na ztrátu stability versus spotřeba materiálu

17 VÝSLEDKY SIMULACÍ NAPĚŤOVĚ DEFORMAČNÍHO STAVU A MODÁLNÍ ANALÝZY PRO NÁDRŽ O HLAVNÍCH ROZMĚRECH $D_N = 5200$ MM, $H = 3500$ MM

Tab. 70. Parametry pro výpočet

$h_{vps} = h_z$ (mm)	3200
p_z (MPa)	0,019
p_{vms} (MPa)	0,035
p_{ps} (dno) (MPa)	0,032
p_{ps} (plášť) (MPa)	0,013

17.1 Nádrž nevyztužená



Obr. 108. Rozměrové parametry hladké nádrže

Tab. 71. Hodnoty napětí a spotřeby materiálu pro různé tloušťky základní stěny pro stavy MS1, MS2 a PS

Tloušťka základní stěny (mm)	5	6	8	10	15	20	35	40
MS1 (MPa)	18,62	15,38	11,47	9,10	5,98	4,43	2,45	2,13
MS2 (MPa)	10,06	8,29	6,19	4,90	3,22	2,38	1,32	1,14
PS (MPa)	6,89	5,67	4,21	3,34	2,19	1,62	0,90	0,78
Spotřeba materiálu (m ³)	0,4004	0,4804	0,6408	0,8008	1,2012	1,6020	2,8032	3,2036

Pevnostně nevyhovují základní tloušťky stěn 5 až 15 mm.

Tab. 72. Hodnoty bezpečnosti na ztrátu stability pro různé tloušťky základní stěny pro stavy MS1, MS2 a PS

Tloušťka základní stěny (mm)	5	6	8	10	15	20	35	40
MS1 (1)	Vyhovuje (není třeba kontrolovat)							
MS2 (1)	0,01	0,02	0,04	0,07	0,22	0,45	1,93	2,65
PS (1)	Vyhovuje (není třeba kontrolovat)							

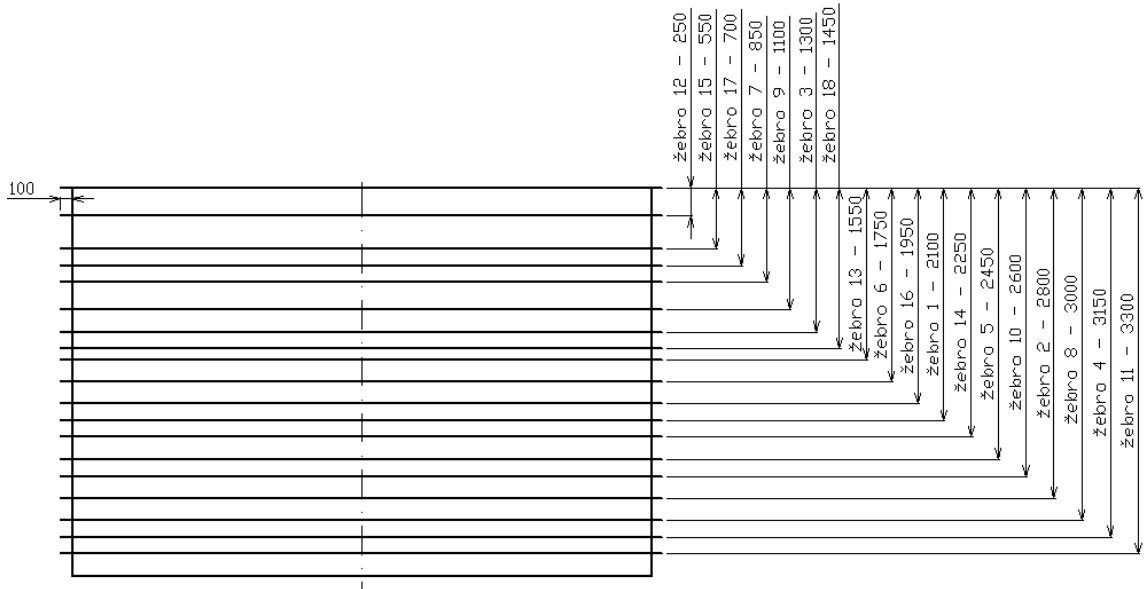
Tloušťka stěny 40 mm vyhovuje z hlediska stability, tloušťky stěn 5 až 35 mm je třeba vyztužit, aby byla minimální hodnota bezpečnosti na ztrátu stability $S = 2$.

Tab. 73. Hodnoty maximálních deformací pro různé tloušťky základní stěny pro stavy MS1, MS2 a PS

Tloušťka základní stěny (mm)	5	6	8	10	15	20	35	40
MS1 (mm)	73,24	56,24	37,32	27,71	17,05	12,11	6,35	5,47
MS2 (mm)	37,38	28,87	19,35	14,75	9,08	6,44	3,36	2,88
PS (mm)	79,19	61,83	42,47	32,78	20,32	14,45	7,52	6,46

Z podmínky maximální deformace, kdy by neměla tato deformace překročit tloušťku stěny, nevyhovují tloušťky základních stěn 5 až 15 mm.

17.2 Nádrž vyztužená obvodovými žebry



Obr. 109. Rozmístění obvodových žeber pro základní tloušťky stěn 10 až 30 mm

Tab. 74. Výsledky pro základní tloušťku stěny 25 mm – MS2

Tloušťka žebra (mm)		15	20	25
Žebro 1 až 3	VM	-	1,86	1,86
	MD	-	4,47	4,43
	SM	-	2,1024	2,1272
	S	-	2,08	2,23
Žebro 1 až 4	VM	-	1,54	-
	MD	-	3,90	-
	SM	-	2,1356	-
	S	-	2,11	-

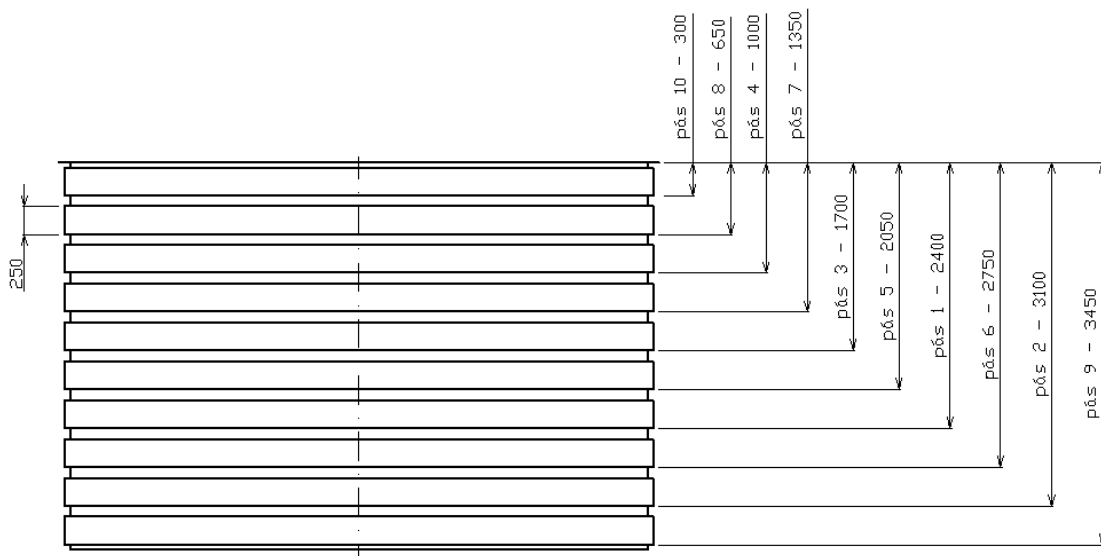
Tloušťka žebra (mm)		15	20	25
Žebro 1 až 5	VM	1,62	1,55	-
	MD	4,08	3,90	-
	SM	2,1272	2,1688	-
	S	2,06	2,24	-

Tab. 75. Výsledky pro základní tloušťku stěny 30 mm – MS2

Tloušťka žebra (mm)		8	10	15	20	25	30
Žebro 1	VM	-	-	-	-	1,55	1,55
	MD	-	-	-	-	3,97	3,96
	SM	-	-	-	-	2,4444	2,4528
	S	-	-	-	-	2,01	2,10
Žebro 1 až 2	VM	-	-	1,52	1,51	-	-
	MD	-	-	3,70	3,64	-	-
	SM	-	-	2,4528	2,4692	-	-
	S	-	-	2,01	2,16	-	-
Žebro 1 až 3	VM	-	1,53	1,52	1,51	-	-
	MD	-	3,77	3,70	3,64	-	-
	SM	-	2,4528	2,4776	2,5028	-	-
	S	-	2,11	2,42	2,59	-	-

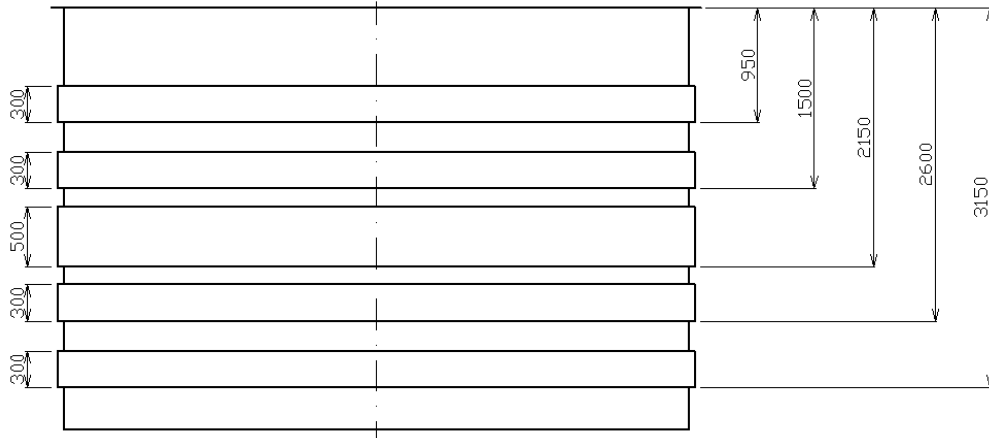
Tloušťka žebra (mm)		8	10	15	20	25	30
Žebro 1 až 4	VM	1,45	1,43	1,37	1,32	-	-
	MD	3,66	3,59	3,44	3,31	-	-
	SM	2,4560	2,4692	2,5028	2,5360	-	-
	S	2,01	2,15	2,44	2,61	-	-
Žebro 1 až 5	VM	1,45	1,43	1,38	1,33	-	-
	MD	3,65	3,58	3,44	3,31	-	-
	SM	2,4692	2,4860	2,5276	2,5692	-	-
	S	2,21	2,34	2,55	2,75	-	-

17.3 Nádrž vyztužená obvodovými pásy



Obr. 110. Rozmístění pásů pro základní tloušťky stěn 20 až 30 mm

17.3.1 Modifikace pro základní tloušťku stěny 30 mm

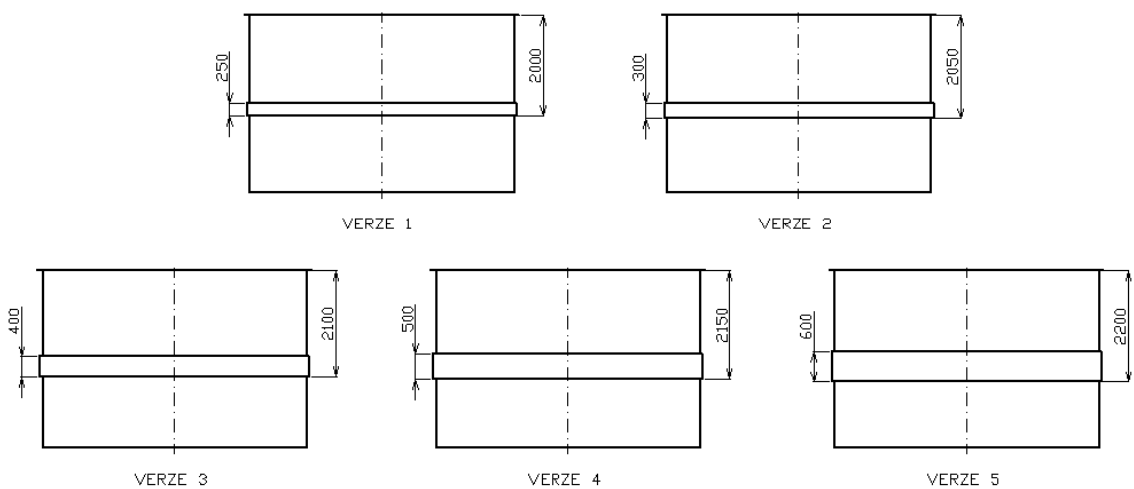


Obr. 111. Rozmístění pásů pro základní tloušťku stěny 30 mm

Tab. 76. Výsledky pro základní tloušťku stěny 30 mm a pásu tloušťky 10 mm – MS2

Tloušťka pásu (mm)		10
Rozmístění pásů podle obrázku (Obr.111)	VM	1,34
	MD	3,26
	SM	2,6504
	S	2,02

17.3.2 Modifikace pro základní tloušťku stěny 35 mm

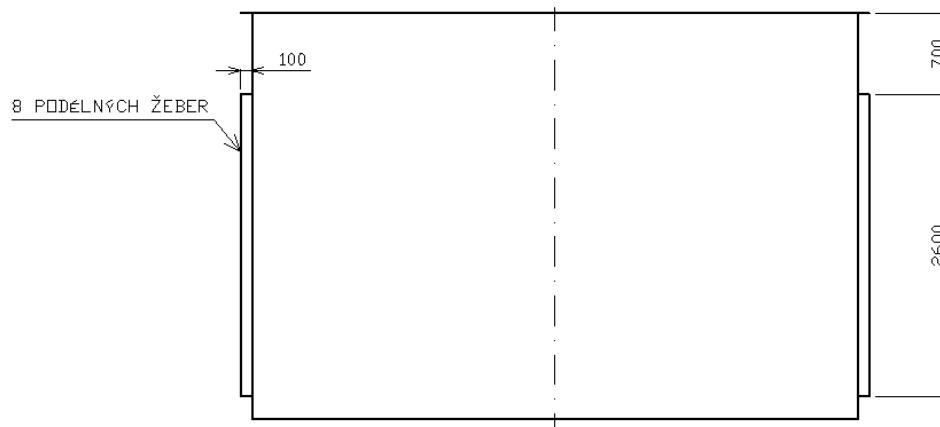


Obr. 112. Modifikace pro základní tloušťku stěny 35 mm

Tab. 77. Výsledky pro základní tloušťku stěny 35 mm
a pásu tloušťky 5 mm – MS2

Tloušťka pásu (mm)		5
Verze 1	VM	1,32
	MD	3,36
	SM	2,8236
	S	2,01
Verze 2	VM	1,32
	MD	3,36
	SM	2,8276
	S	2,02
Verze 3	VM	1,32
	MD	3,35
	SM	2,8360
	S	2,05
Verze 4	VM	1,32
	MD	3,35
	SM	2,8440
	S	2,08
Verze 5	VM	2,32
	MD	3,35
	SM	2,8524
	S	2,11

17.4 Nádrž vyztužená podélnými žebry



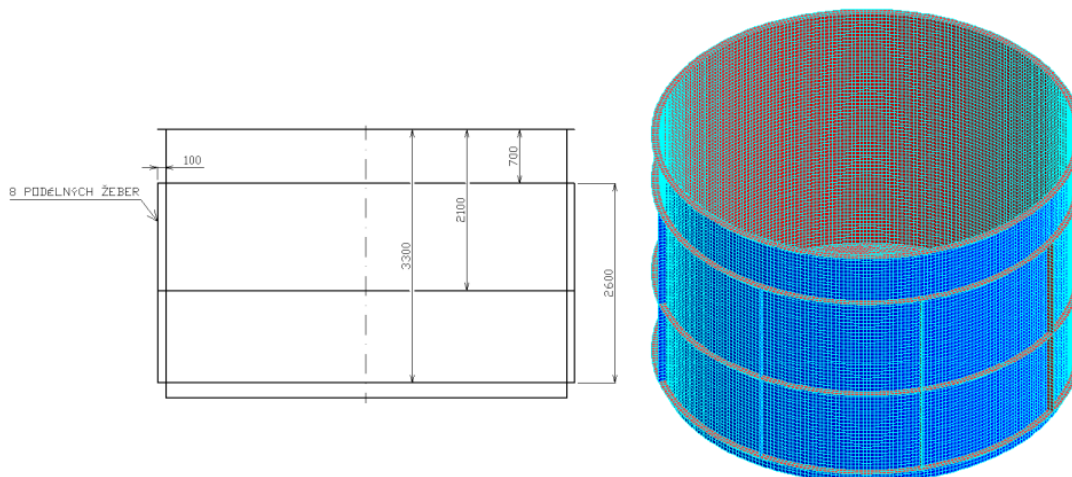
Obr. 113. Rozmístění podélných žeber pro základní tloušťku stěny 35 mm

Tab. 78. Výsledky pro základní tloušťku stěny 35 mm – MS2

Tloušťka žebra (mm)		20	25	30	35
8 podélných žeber	VM	1,33	1,34	1,34	1,34
	MD	3,24	3,23	3,23	3,22
	SM	2,8656	2,8812	2,8968	2,9124
	S	2,00	2,01	2,03	2,04

17.5 Nádrž vyztužená kombinací obvodových a podélných žebér

17.5.1 Pro základní tloušťku stěny 30 mm

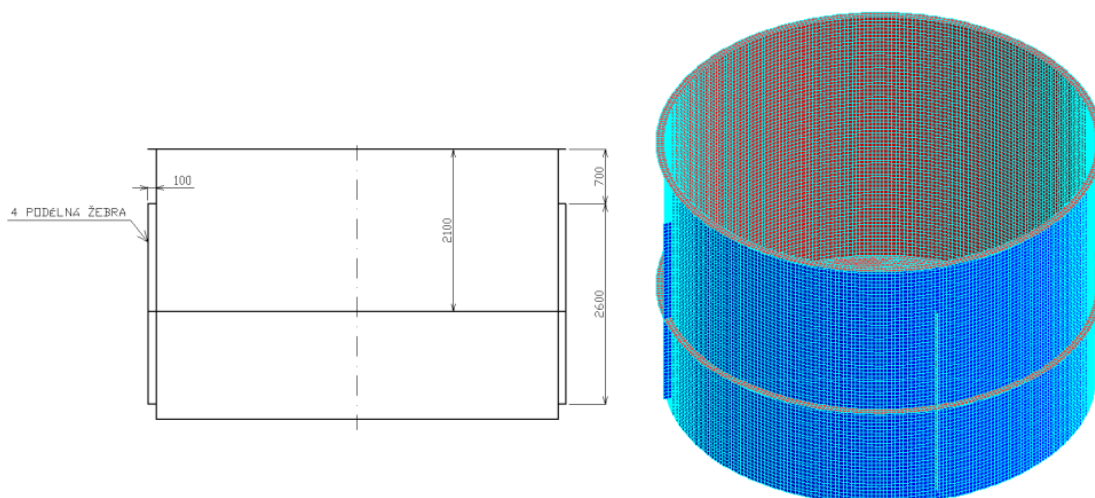


Obr. 114. Nádrž vyztužená 3 obvodovými a 8 podélnými žebry pro základní tloušťku stěny 30 mm

Tab. 79. Výsledky pro základní tloušťku stěny 30 mm – MS2

Tloušťka žebra (mm)		15	20	25	30
3 žebra obvodová a 8 žebér podélných	VM	1,55	1,55	1,55	1,56
	MD	3,92	3,90	3,87	3,82
	SM	2,5244	2,5652	2,6056	2,6464
	S	1,96	2,13	2,28	2,44

17.5.2 Pro základní tloušťku stěny 35 mm



Obr. 115. Nádrž vyztužená 1 obvodovým a 4 podélnými žebry pro základní tloušťku stěny 35 mm

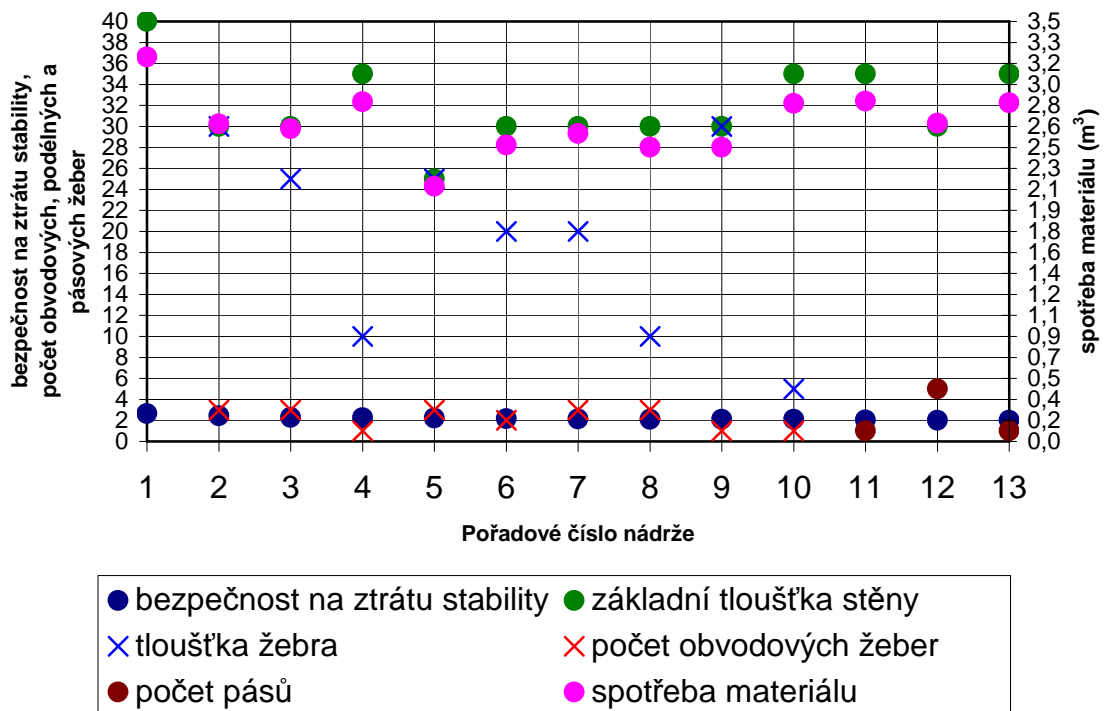
Tab. 80. Výsledky pro základní tloušťku stěny 35 mm – MS2

Tloušťka žebra (mm)		5	10	15	20
1 žebro obvodové a 4 žebra podélná	VM	1,32	1,32	1,33	1,34
	MD	3,35	3,34	3,34	3,33
	SM	2,8168	2,8304	2,8440	2,8572
	S	2,10	2,25	2,39	2,52

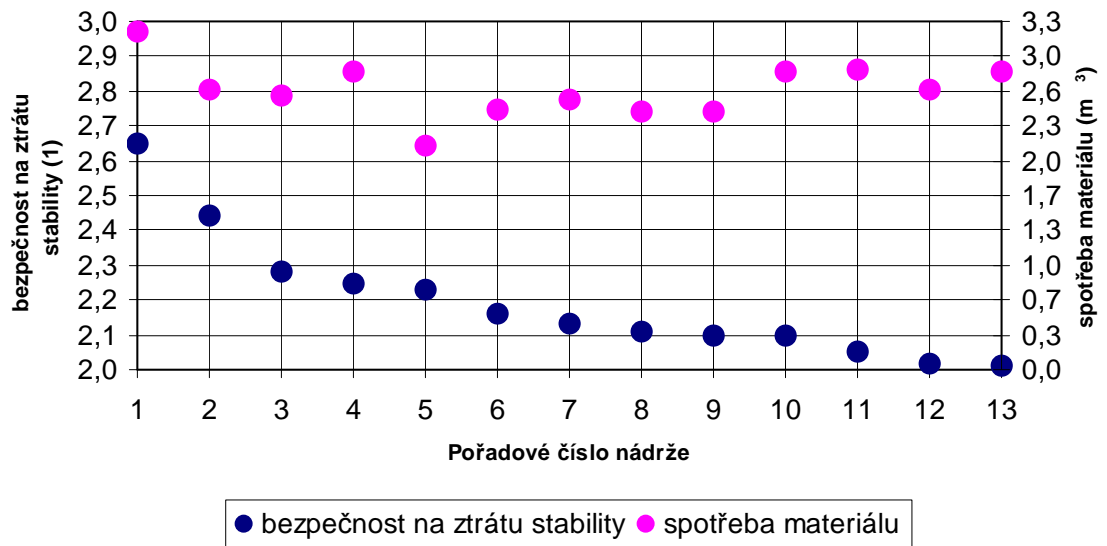
17.6 Doporučené nádrže pro aplikaci

Tab. 81. Seznam doporučených nádrží pro aplikaci seřazených sestupně podle bezpečnosti na ztrátu stability

Poř. číslo	Zákl. tl. stěny (mm)	Tl. žebra (mm)	Počet obvod. žeber (ks)	Počet pod. žeber (ks)	Počet pásů (ks)	Šířka pásu (m)	Tl. pásu (mm)	Spotř. mat. (m ³)	Bezp. na ztrátu stability (1)
1	40							3,2036	2,65
2	30	30	3	8				2,6464	2,44
3	30	25	3	8				2,6056	2,28
4	35	10	1	4				2,8304	2,25
5	25	25	3					2,1272	2,23
6	30	20	2					2,4692	2,16
7	30	20	3	8				2,5652	2,13
8	30	10	3					2,4528	2,11
9	30	30	1					2,4528	2,10
10	35	5	1	4				2,8168	2,10
11	35				1	400	5	2,8360	2,05
12	30				5	4x300, 1x500	10	2,6504	2,02
13	35				1	250	5	2,8236	2,01



Obr. 116. Grafický přehled dat pro nádrže k aplikaci – souhrnný graf



Obr. 117. Grafický přehled dat pro nádrže k aplikaci – bezpečnost na ztrátu stability versus spotřeba materiálu

18 DOPORUČENÍ PRO APLIKACI

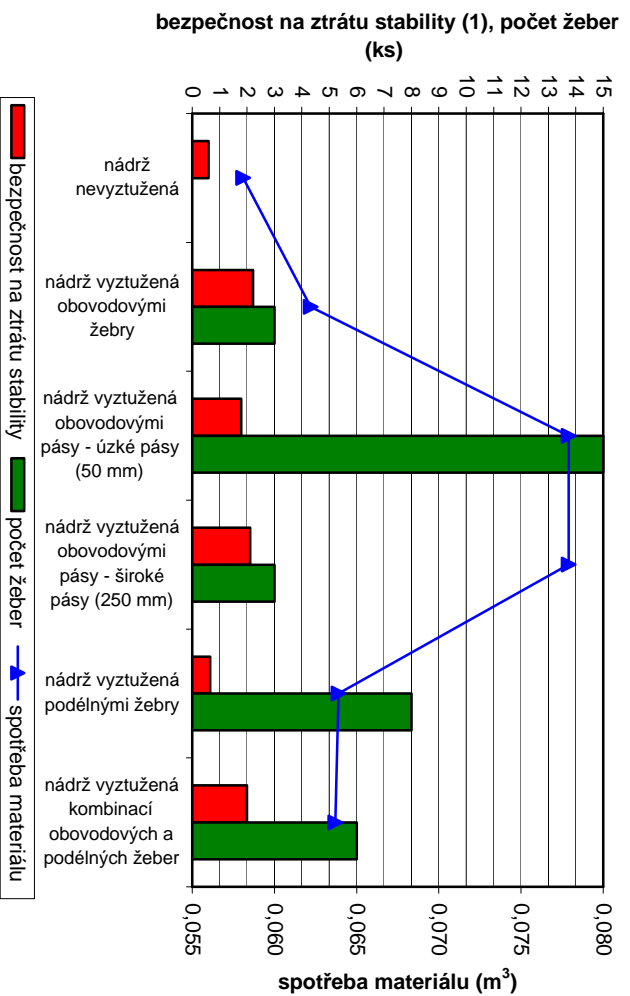
Jednotlivé typy vyztužení jsou seřazeny podle efektivnosti zvýšení bezpečnosti na ztrátu stability v tabulce (Tab. 82). Pro dosažení hodnoty bezpečnosti na ztrátu stability $S=2$ doporučujeme nádrže vyztužovat obvodovými žebry nebo obvodovými pásy (obvodové pásy šířky ≥ 250 mm). Samotná podélná žebra a obvodové pásy šířky ≤ 100 mm pro aplikaci nedoporučujeme.

Tab. 82. Jednotlivé typy vyztužení seřazeny podle účinnosti zvýšení bezpečnosti na ztrátu stability (seřazeno sestupně)

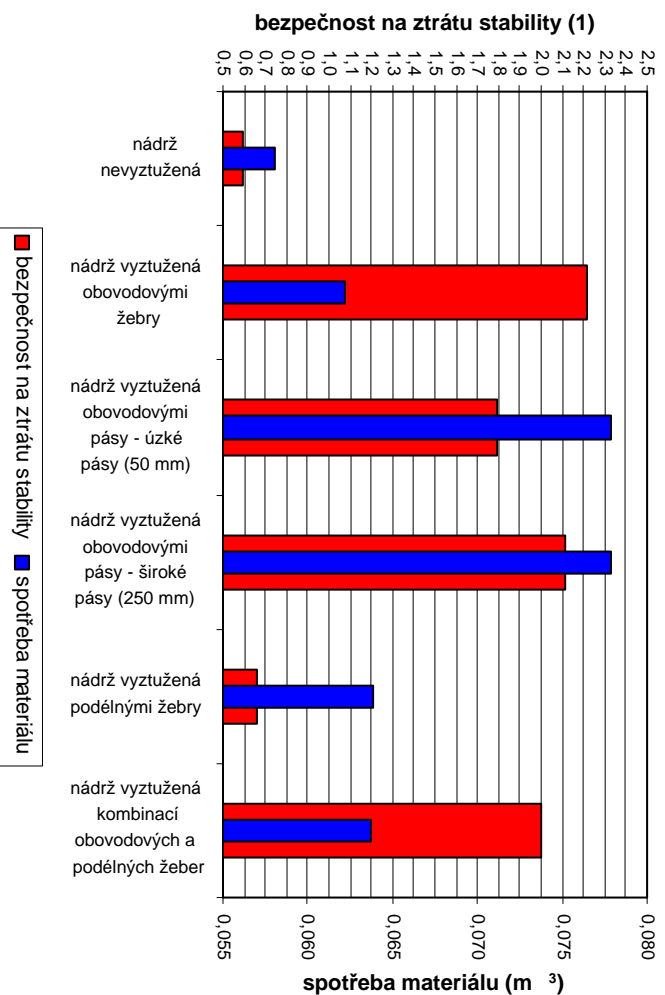
Pořadové číslo	Typ vyztužení
1	Obvodová žebra
2	Obvodové pásy (šířka pásů ≥ 250 mm)
3	Kombinace obvodových a podélných žeber
4	Obvodové pásy (šířka pásů ≤ 100 mm)
5	Podélná žebra

Tab. 83. Typy vyztužení seřazeny podle spotřeby materiálu pro dosažení bezpečnosti na ztrátu stability $S=2$ (seřazeno vzestupně)

Pořadové číslo	Typ vyztužení
1	Obvodová žebra
2	Kombinace obvodových a podélných žeber
3	Obvodové pásy
4	Podélná žebra



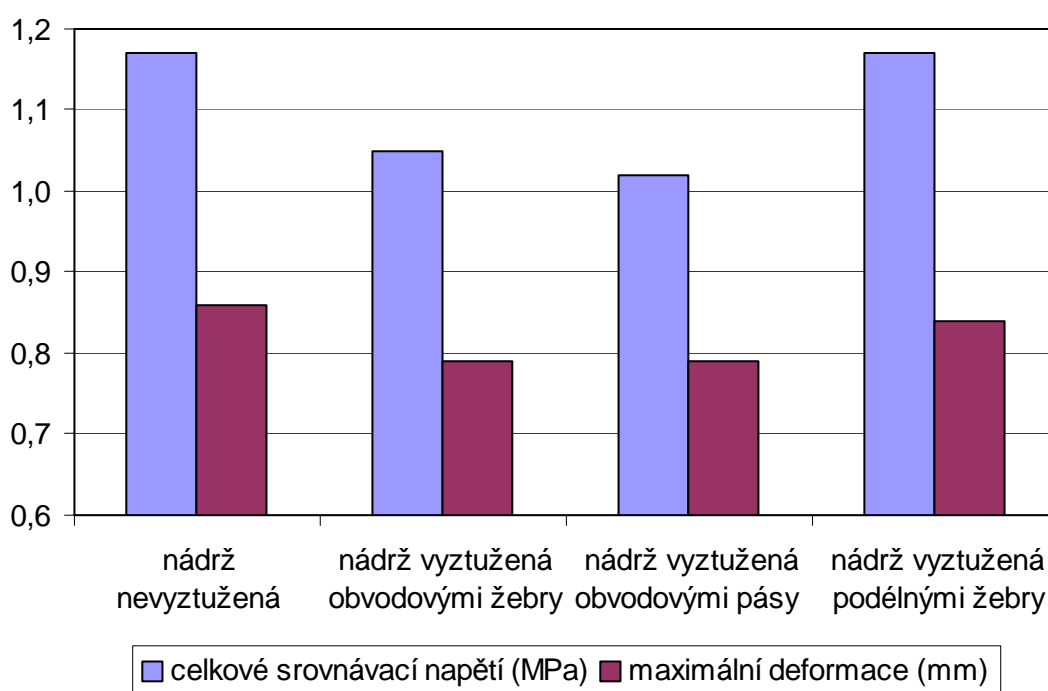
Obr. 118. Srovnání jednotlivých typů vyztužení pro nádrž o hlavních rozměrech $D_N = 1400$ a $H = 1800$, tloušťka základní stěny a výztužných žebër 6 mm - MS2



Obr. 119. Nádrž $D_N = 1400$ a $H = 1800$, tloušťka základní stěny a výztužných žebër 6 mm - MS2

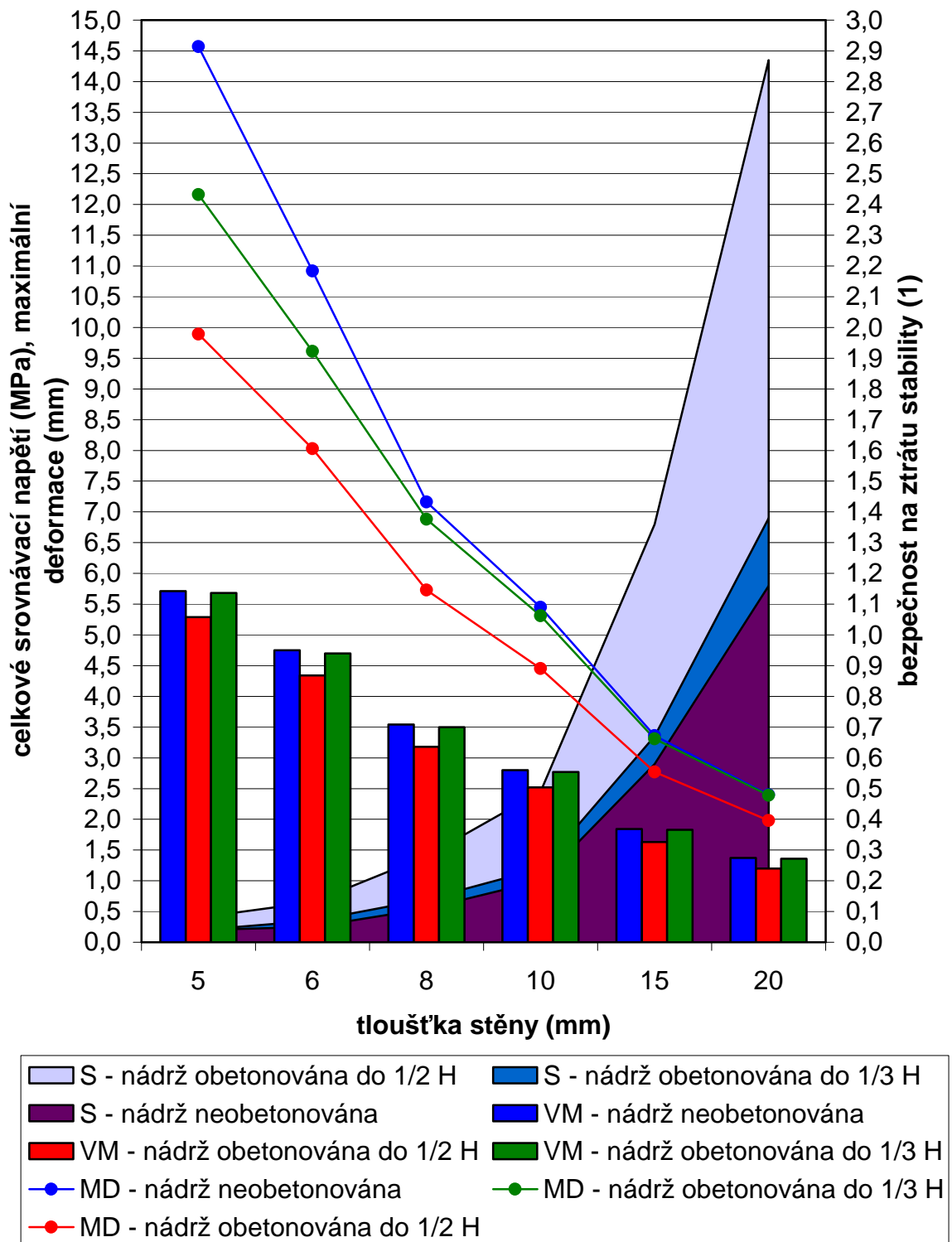
Při vyztužování pláště nádrže obvodovými žebry doporučujeme postupovat po krocích (tedy žebro po žebro). Při vyztužování pláště nádrže obvodovými pásy nepostupovat po krocích, ale navrhnout komplexní vyztužení (např. 4 pásy najednou).

Vliv typu vyztužení na velikost celkového srovnávacího napětí a na velikost deformace je zobrazeno na obrázku (Obr. 120). Podélná žebra mají při vyztužování nádrže zanedbatelný vliv na snížení velikosti celkového srovnávacího napětí a na velikosti maximální deformace. Maximálního snížení napětí a deformací dosáhneme použitím obvodových výztužných pásů.

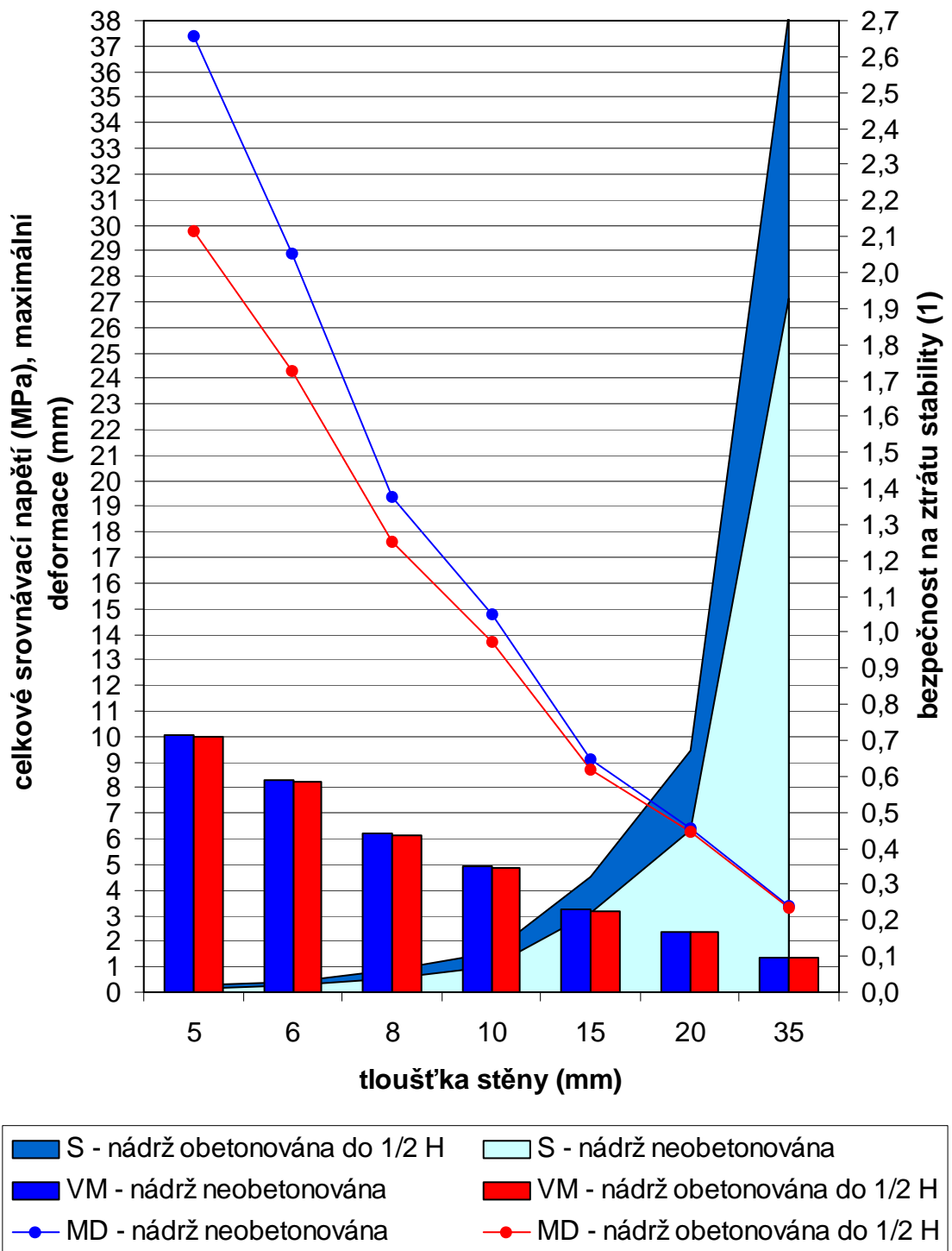


Obr. 120. Porovnání jednotlivých typů vyztužení v závislosti na celkovém srovnávacím napětí a na maximální deformaci při shodné spotřebě materiálu pro nádrž o hlavních rozměrech $D_n = 1400$ a $H = 1800$, tloušťka základní stěny a výztužných žeber 6 mm – MS2

Nádrže o výšce $H \geq 3$ m a / nebo při výskytu spodních vod doporučujeme částečně obetonovat (snížení počtu žeber). Při výskytu spodních vod je nutno provést hydroizolaci podle ČSN 73 0600 (Ochrana staveb proti vodě) a ČSN 73 0090 (Zakládání staveb).



Obr. 121. Nádrž o hlavních rozměrech $D_n = 3500$ a $H = 3000$ – MS2, srovnání napětí, deformací a bezpečnosti na ztrátu stability hladké (nevzdušené) obetonované a neobetonované nádrže



Obr. 122. Nádrž o hlavních rozměrech $D_n = 5200$ a $H = 3500$ – MS2, srovnání napětí, deformací a bezpečnosti na ztrátu stability hladké (nevyztužené) obetonované a neobetonované nádrže

Pokud se bude nádrž obetonovávat za účelem zvýšení bezpečnosti na ztrátu stability, doporučujeme nádrž obetonovat do výšky $>1/3 H$. Obetonováním nevyztužené nádrže o hlavních rozměrech $D_n = 3500$, $H = 3000$ do výšky $1/2 H$ zvýšíme bezpečnost na ztrátu stability cca o 100% pro tloušťky stěn 5 až 20 mm. Obetonováním nevyztužené nádrže o hlavních rozměrech $D_n = 5200$, $H = 3500$ do výšky $1/2 H$ zvýšíme bezpečnost na ztrátu stability cca o 40% pro tloušťky stěn 5 až 35 mm .

Obetonování do výšky $1/2 H$ má zanedbatelný vliv na snížení velikosti celkového srovnávacího napětí pro MS2.

Z hlediska výroby a praktických zkušeností výrobců doporučujeme volit tloušťky vyztužných žebor shodné s tloušťkou základní stěny nádrže.

Poznámka:

Evropská norma ČSN EN 1776 předepisuje pro plastové konstrukce minimální hodnotu koeficientu bezpečnosti na ztrátu stability $S = 2$. Koeficient bezpečnosti na ztrátu stability však může být v praxi nižší (nebo vyšší), kdy záleží na smluvních podmínkách mezi dodavatelem a odběratelem.

Evropská norma ČSN EN 1776 dále předepisuje hodnotu koeficientu bezpečnosti na pevnost ($S_p = 1,3$ a $S_p = 2$). Tato hodnota je závislá na provozních podmínkách a na možnosti ohrožení osob, majetku nebo životního prostředí. Při návrhu doporučujeme volit koeficient bezpečnosti na pevnost $S_p = 2$ (počítáme pak s vyšší hodnotou modulu pružnosti, než kdybychom volili $S_p = 1,3$).

ZÁVĚR

V teoretické části jsme se zabývali studií mechanického a teplotního chování plošných a válcových skořepin. Dále jsme se zaměřili především na problematiku stability válcových skořepin.

V praktické části byla sestavena řada nádrží ČOV. Tyto nádrže byly podrobeny třem zatěžujícím stavům (MS1, MS2, PS). Na základě výsledků simulací napěťově deformačního stavu a modální analýzy byly pláště nádrží optimalizovány (vyztužovány). Nádrže byly optimalizovány 4 typy vyztužení (obvodová žebra, obvodové pásy, podélná žebra, kombinace obvodových a podélných žeber).

Při optimalizaci bylo použito dvou postupů. V prvním postupu byl vždy v místě největšího vybočení pláště nádrže aplikován určitý typ žebra a takto se pokračovalo až po dosažení odpovídající bezpečnosti na ztrátu stability. Tento postup byl aplikován především u vyztužení pláště nádrže obvodovými žebry. Ve druhém postupu bylo navrženo komplexní vyztužení (např. 4 pásy najednou) a následně se určila bezpečnost na ztrátu stability. Tento postup byl aplikován především u vyztužení pomocí obvodových pásů, neboť použitím prvního postupu – tedy žebra po žebro (pás po pásu) se nedosáhlo odpovídajících výsledků z hlediska stability.

Pro nádrže vyhovující pevnostním a stabilitním podmínkám by bylo třeba provést technologickou a ekonomickou rozvahu, která nebyla součástí diplomové práce. Stanovit je-li výhodnější volit větší tloušťky stěn, nebo menší tloušťky stěn s použitím výztužných žeber.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ŠUBA, O. *Dimenzování a navrhování výrobků z plastů*. 1. vyd., 2005. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. 112 s. ISBN 80-7318-287-4
- [2] ŠUBA, O. *Dimenzování a navrhování výrobků z plastů*. 1. vyd., 2001. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. 97 s. ISBN 80-7318-002-2
- [3] ŠUBA, O. *Dimenzování a navrhování výrobků z plastů*. 1. vyd., 1988. Brno: Vysoké učení technické v Čs. Redakci VN MON. 168 s. 55-610/1-88
- [4] ŠUBA, O. *Mechanické chování těles*. 1. vyd., 2002. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. 112 s. ISBN 80-7318-101-0
- [5] ŠTĚPEK, J. – ZELINGER, J. – KUTA, A. *Technologie zpracování a vlastnosti plastů*. 1. vyd., 1989. Praha: SNTL, Bratislava: Alfa. 638 s. ISBN 04-602-89
- [6] ČSN EN 1778 *Charakteristické hodnoty pro svařované konstrukce z termoplastů. Stanovení dovoleného namáhání a modulů pro navrhování svařovaných dílů z termoplastů*, srpen 2002
- [7] TOMIS, F. *Celoštatny kurz spojovanie plastov*. 1. vyd., 1991. Bratislava: Dom techniky ZSVTS. 48 s. ISBN 80-233-0127-6
- [8] ROCHLA, M. *Stavební tabulky*. 6. vyd., 1988. Praha: SNTL. 1008 s. L17-E1-II-01/72489
- [9] ČSN EN 12566-3 *Malé čistírny odpadních vod do 50 ekvivalentních obyvatel – Část 3: Balené a/nebo na místě montované domovní čistírny odpadních vod*, duben 2006
- [10] GRATZA, R. Charakteristiky pro statický výpočet a posouzení konstrukcí z termoplastů. In 5. *Odborná konference doktorského studia s mezinárodní účastí*. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební, Ústav stavební mechaniky, 2003. s. 105-108

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

σ^o	Ohybové napětí (MPa)
σ^M	Membránové napětí (MPa)
σ^T	Teplotní napětí (MPa)
σ_x	Osové membránové napětí válcové skořepiny (MPa)
σ_ϕ	Obvodové membránové napětí válcové skořepiny (MPa)
σ_{DD}	Dovolené napětí pro dlouhodobý stav – 25 let (MPa)
σ_{DK}	Dovolené napětí pro krátkodobý stav – 10 hodin (MPa)
ε^o	Ohybová poměrná deformace (1)
ε^M	Membránová poměrná deformace (1)
ε_x^M	Osová membránová poměrná deformace válcové skořepiny (1)
ε_ϕ^M	Obvodová membránová poměrná deformace válcové skořepiny (1)
ε^T	Teplotní poměrná deformace (1)
ε^o	Ohybová poměrná deformace (1)
ε^M	Membránová poměrná deformace (1)
n_x	Normálová tahová síla připadající na jednotkovou šířku průřezu desky - membránová síla ve směru x (N/mm)
n_z	Normálová tahová síla připadající na jednotkovou šířku průřezu desky - membránová síla ve směru z (N/mm)
n_ϕ	Normálová tahová síla připadající na jednotkovou délku obvodu řezu desky – obvodová membránová síla (N/mm)
n_{kr}	Kritická membránová síla (N/mm)
m	Ohybový moment připadající na jednotkovou šířku stěny desky (N)
m^T	Teplotní ohybový moment připadající na jednotkovou šířku stěny desky (N)
p	Tlak (MPa)
p_z	Tlak zeminy (MPa)

p_{vps}	Tlak vody při provozním stavu (MPa)
p_{vms}	Tlak vody při mimořádném stavu, kdy nádrž není zapuštěná v zemi a zaplněná vodou po horní okraj (MPa)
p_{kr}	Kritický tlak (MPa)
E	Modul pružnosti (MPa)
E_D	Modul pružnosti dlouhodobý – 25 let (MPa)
E_K	Modul pružnosti krátkodobý – 10 hodin (MPa)
β	Vzdálenost oblasti ohybové poruchy (mm)
κ	Redukční koeficient zohledňující vliv proměnnosti elastických konstant po tloušťce stěny (1)
D	Válcová ohybová tuhost (N.mm)
ν	Poissonovo číslo (1)
j	Kvadratický moment plochy průřezu desky připadající na jednotkovou šířku průřezu (mm ³)
T	Teplota (K)
α	Teplotní součinitel délkové roztažnosti (K ⁻¹)
L	Délkový rozměr (mm)
r	Poloměr zakřivení (mm)
R	Poloměr válcové skořepiny (mm)
h_{vps}	Výška hladiny znečištěné vody při provozním stavu (mm)
h_{vms}	Výška hladiny znečištěné vody při mimořádném stavu (mm)
h_z	Výška po kterou je proveden obsyp (mm)
K	Koeficient horizontálního tlaku půdy (1)
ρ_v	Hustota vody (kg/m ³)
ρ_z	Hustota zeminy (kg/m ³)
H	Výška nádrže (mm)

D_n	Průměr nádrže (mm)
k	Srovnávací napětí – časový stav pevnosti (N/mm^2)
f_s	Krátkodobý svařovací faktor (1)
f_l	Dlouhodobý svařovací faktor (1)
A_1	Korekční faktor pevnosti materiálu v závislosti na teplotě odvozený z rázové pevnosti (1)
A_{2K}	Korekční faktor zohledňující vliv pracovního media (1)
g	Tíhové zrychlení (m/s^2)
VM	Celkové srovnávací napětí – Von Mises (MPa)
MD	Maximální deformace (mm)
SM	Spotřeba materiálu (m^3)
S	Koeficient bezpečnosti na ztrátu stability (1)
S_p	Koeficient bezpečnosti na pevnost (1)
MS1	Mimořádný stav – nádrž není zapuštěná v zemi a je zaplněná vodou po horní okraj (1)
MS2	Mimořádný stav – nádrž je zapuštěná v zemi a zcela prázdná (1)
PS	Provozní stav – nádrž je zapuštěná v zemi a zaplněná vodou (hodnoty hloubky zapuštění nádrže a výška hladiny vody jsou pro každou nádrž uvedeny v provozních podmínkách) (1)
MX	(X- číslo) – modifikace (1)

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Element desky tloušťky s s rozměry 1×1 mm.....	12
Obr. 2. Element desky namáhaný ohybovými momenty m_x a m_z	13
Obr. 3. Porovnání lineárního a nelineárního řešení ohybu	15
Obr. 4. Řez válcové nádoby v obvodovém a osovém směru	15
Obr. 5. Válcová nádoba v místě připojení dna.....	17
Obr. 6. Válcová skořepina zatížená na volném okraji ohybovým momentem a příčnou sílu	17
Obr. 7. Průběh funkcí f_m a f_t	18
Obr. 8. Relativní odchylky membránových a ohybových napětí v závislosti na poměru κ	19
Obr. 9. Deformace desky vlivem teplotní dilatace.....	20
Obr. 10. Deformace válcové skořepiny vlivem teplotní dilatace.....	22
Obr. 11. Membránová a ohybová oblast válcové skořepiny	23
Obr. 12. Uvolnění válcové nádoby	25
Obr. 13. Relativní odchylky teplotního napětí na obou površích vzhledem k redukčnímu poměru κ	26
Obr. 14. Odezva jednoose tlačené rovné desky	27
Obr. 15. Odezva válcové skořepiny na tlaková namáhání	28
Obr. 16. Dlouhá válcová skořepina zatížená vnějším přetlakem p	29
Obr. 17. Kontinuální výztuž válcové skořepiny	30
Obr. 18. Diskontinuální výztuž válcové skořepiny.....	30
Obr. 19. Ukázka nádrží, pokud se problém stability v praxi podcení.....	31
Obr. 20. Úpravy lůžka svaru	32
Obr. 21. Zařízení pro extruzní svařování	33
Obr. 22. Mimořádný stav 1	43
Obr. 23. Mimořádný stav 2	44
Obr. 24. Provozní stav	44
Obr. 25. Průběh napětí pro základní tloušťku stěny 5 mm a stavy MS1, MS2, PS	47
Obr. 26. Charakter deformace pláště pro stavy MS1, MS2, PS – měřítko 100:1	48

Obr. 27. Vybočení pláště nádrže o hlavních rozměrech $D_n = 1400$ mm a $H=1800$ mm pro základní tloušťku stěny 5 mm a tloušťku žebra 5 mm – vyztužení obvodovými žebry – MS2, měřítko 4000:1	49
Obr. 28. Vybočení pláště nádrže o hlavních rozměrech $D_n = 1400$ mm a $H=1800$ mm pro základní tloušťku stěny 6 mm a tloušťku žebra 6 mm – vyztužení obvodovými žebry – MS2, měřítko 4000:1	50
Obr. 29. Vybočení pláště nádrže o hlavních rozměrech $D_n = 1400$ mm a $H=1800$ mm pro základní tloušťku stěny 8 mm a tloušťku žebra 8 mm – vyztužení obvodovými žebry – MS2, měřítko 4000:1	51
Obr. 30. Vybočení pláště nádrže o hlavních rozměrech $D_n = 1400$ mm a $H=1800$ mm pro základní tloušťku stěny 8 mm a tloušťku pásu 8 mm – vyztužení obvodovými pásy verze 3 – MS2, měřítko 4000:1	51
Obr. 31. Vybočení pláště nádrže o hlavních rozměrech $D_n = 1400$ mm a $H=1800$ mm pro základní tloušťku stěny 8 mm a tloušťku pásu 8 mm – vyztužení obvodovými pásy verze 6 – MS2, měřítko 4000:1	52
Obr. 32. Vybočení pláště nádrže o hlavních rozměrech $D_n = 1400$ mm a $H=1800$ mm pro základní tloušťku stěny 6 mm a tloušťku pásu 6 mm – vyztužení obvodovými pásy verze 4 – MS2, měřítko 4000:1	52
Obr. 33. Vybočení pláště nádrže o hlavních rozměrech $D_n = 1400$ mm a $H=1800$ mm – verze 3 – MS2, měřítko 4000:1	53
Obr. 34. Vybočení pláště nádrže o hlavních rozměrech $D_n = 1400$ mm a $H=1800$ mm – verze 4 – MS2, měřítko 4000:1	53
Obr. 35. Rozměrové parametry hladké nádrže	55
Obr. 36. Rozmístění žeber pro základní tloušťku stěny 5 mm	57
Obr. 37. Rozmístění žeber pro základní tloušťku stěny 6 mm	57
Obr. 38. Rozmístění žeber pro základní tloušťku stěny 8 mm	58
Obr. 39. Rozmístění pásů pro základní tloušťku stěny 5 až 8 mm	60
Obr. 40. Umístění pásu šířky 1m	61
Obr. 41. Umístění pásu šířky 0,5 m	62
Obr. 42. Rozmístění pásů šířky 0,4 m	63
Obr. 43. Umístění pásu šířky 1,4 m	64
Obr. 44. Umístění pásu šířky 0,2 m	64
Obr. 45. Rozmístění podélných žeber	65

Obr. 46. Rozmístění obvodových a podélných žeber – verze 1	67
Obr. 47. Rozmístění obvodových a podélných žeber – verze 2.....	67
Obr. 48. Rozmístění obvodových a podélných žeber – verze 3.....	68
Obr. 49. Rozmístění obvodových a podélných žeber – verze 4.....	69
Obr. 50. Grafický přehled dat pro nádrže k aplikaci – souhrnný graf.....	71
Obr. 51. Grafický přehled dat pro nádrže k aplikaci – bezpečnost na ztrátu stability versus spotřeba materiálu	71
Obr. 52. Rozměrové parametry hladké nádrže	72
Obr. 53. Rozmístění žeber pro základní tloušťky stěn 5 až 10 mm.....	74
Obr. 54. Rozmístění pásů pro základní tloušťky stěn 5 až 10 mm	76
Obr. 55. Rozmístění pásů pro základní tloušťku stěny 5 mm.....	77
Obr. 56. Rozmístění pásů pro základní tloušťku stěny 6 mm.....	77
Obr. 57. Rozmístění pásů pro základní tloušťku stěny 8 mm.....	78
Obr. 58. Rozmístění pásů pro základní tloušťku stěny 10 mm.....	79
Obr. 59. Rozmístění podélných žeber.....	80
Obr. 60. Rozmístění obvodových a podélných žeber	80
Obr. 61. Rozmístění obvodových a podélných žeber	81
Obr. 62. Grafický přehled dat pro nádrže k aplikaci – souhrnný graf.....	83
Obr. 63. Grafický přehled dat pro nádrže k aplikaci – bezpečnost na ztrátu stability versus spotřeba materiálu	83
Obr. 64. Rozměrové parametry hladké nádrže	84
Obr. 65. Rozmístění žeber pro základní tloušťky stěn 5 až 10 mm.....	86
Obr. 66. Rozmístění žeber pro základní tloušťku stěny 8 mm – modifikace	86
Obr. 67. Rozmístění pásů pro základní tloušťky stěn 5 až 10 mm	88
Obr. 68. Rozmístění pásů pro základní tloušťku stěny 5 mm.....	89
Obr. 69. Rozmístění pásů pro základní tloušťku stěny 6 mm.....	89
Obr. 70. Rozmístění pásů pro základní tloušťku stěny 8 mm.....	90
Obr. 71. Rozmístění pásů pro základní tloušťku stěny 10 mm.....	90
Obr. 72. Rozmístění podélných žeber.....	91
Obr. 73. Rozmístění 5 obvodových a 8 podélných žeber – verze 1	92
Obr. 74. Rozmístění 5 obvodových a 8 podélných žeber – verze 2.....	92
Obr. 75. Rozmístění 6 obvodových a 8 podélných žeber	93
Obr. 76. Rozmístění 7 obvodových a 8 podélných žeber	93

Obr. 77. Rozmístění 5 obvodových a 8 podélných žeber	94
Obr. 78. Rozmístění 4 obvodových a 8 podélných žeber	94
Obr. 79. Grafický přehled dat pro nádrže k aplikaci – souhrnný graf.....	96
Obr. 80. Grafický přehled dat pro nádrže k aplikaci – bezpečnost na ztrátu stability versus spotřeba materiálu	96
Obr. 81. Rozměrové parametry hladké nádrže	97
Obr. 82. Rozmístění žeber pro základní tloušťky stěn 5 až 10 mm.....	99
Obr. 83. Rozmístění žeber pro základní tloušťky stěn 5 až 10 mm.....	100
Obr. 84. Umístění pásu	101
Obr. 85. Rozmístění pásů pro základní tloušťku stěny 15 mm a tloušťku pásu 5 mm.....	101
Obr. 86. Rozmístění pásů pro základní tloušťku stěny 15 mm a tloušťku pásu 10 mm....	103
Obr. 87. Rozmístění pásů pro základní tloušťku stěny 15 mm a tloušťku pásu 15 mm....	104
Obr. 88. Rozmístění podélných žeber.....	105
Obr. 89. Rozmístění 4 obvodových a 4 podélných žeber	105
Obr. 90. Rozmístění 3 obvodových a 8 podélných žeber	106
Obr. 91. Grafický přehled dat pro nádrže k aplikaci – souhrnný graf.....	108
Obr. 92. Grafický přehled dat pro nádrže k aplikaci – bezpečnost na ztrátu stability versus spotřeba materiálu	108
Obr. 93. Rozměrové parametry hladké nádrže	109
Obr. 94. Rozmístění žeber pro základní tloušťky stěn 8 až 20 mm.....	111
Obr. 95. Rozmístění obvodových žeber pro základní tloušťku stěny 15 mm - modifikace	112
Obr. 96. Rozmístění pásů pro základní tloušťky stěny 20 mm.....	113
Obr. 97. Umístění pásu pro základní tloušťku stěny 10 mm pro verze 1 a 2.....	114
Obr. 98. Umístění pásu pro základní tloušťku stěny 15 mm pro verze 1 a 2.....	114
Obr. 99. Umístění pásu pro základní tloušťku stěny 20 mm pro verze 1 a 2.....	115
Obr. 100. Rozmístění podélných žeber.....	116
Obr. 101. Rozmístění 3 obvodových a 4 podélných žeber pro základní tloušťku stěny 15 mm	116
Obr. 102. Rozmístění 3 obvodových a 8 podélných žeber pro základní tloušťku stěny 15 mm	117
Obr. 103. Rozmístění 4 obvodových a 8 podélných žeber pro základní tloušťku stěny 15 mm	117

Obr. 104. Rozmístění 1 obvodového a 4 podélných žeber pro základní tloušťku stěny 20 mm.....	118
Obr. 105. Rozmístění 1 obvodového a 8 podélných žeber pro základní tloušťku stěny 20 mm	118
Obr. 106. Grafický přehled dat pro nádrže k aplikaci – souhrnný graf.....	121
Obr. 107. Grafický přehled dat pro nádrže k aplikaci – bezpečnost na ztrátu stability versus spotřeba materiálu	121
Obr. 108. Rozměrové parametry hladké nádrže	122
Obr. 109. Rozmístění obvodových žeber pro základní tloušťky stěn 10 až 30 mm	124
Obr. 110. Rozmístění pásů pro základní tloušťky stěn 20 až 30 mm	126
Obr. 111. Rozmístění pásů pro základní tloušťku stěny 30 mm.....	127
Obr. 112. Modifikace pro základní tloušťku stěny 35 mm.....	127
Obr. 113. Rozmístění podélných žeber pro základní tloušťku stěny 35 mm.....	129
Obr. 114. Nádrž vyztužená 3 obvodovými a 8 podélnými žebry pro základní tloušťku stěny 30 mm	130
Obr. 115. Nádrž vyztužená 1 obvodovým a 4 podélnými žebry pro základní tloušťku stěny 35 mm	131
Obr. 116. Grafický přehled dat pro nádrže k aplikaci – souhrnný graf.....	133
Obr. 117. Grafický přehled dat pro nádrže k aplikaci – bezpečnost na ztrátu stability versus spotřeba materiálu	133
Obr. 118. Srovnání jednotlivých typů vyztužení pro nádrž o hlavních rozměrech $D_N = 1400$ a $H = 1800$, tloušťka základní stěny a výztužných žeber 6 mm - MS2.....	135
Obr. 119. Nádrž $D_N = 1400$ a $H = 1800$, tloušťka základní stěny a výztužných žeber 6 mm - MS2.....	135
Obr. 120. Porovnání jednotlivých typů vyztužení v závislosti na celkovém srovnávacím napětí a na maximální deformaci při shodné spotřebě materiálu pro nádrž o hlavních rozměrech $D_n = 1400$ a $H = 1800$, tloušťka základní stěny a výztužných žeber 6 mm – MS2	136
Obr. 121. Nádrž o hlavních rozměrech $D_n = 3500$ a $H = 3000$ – MS2, srovnání napětí, deformací a bezpečnosti na ztrátu stability hladké (nevyztužené) obetonované a neobetonované nádrže	137

Obr. 122. Nádrž o hlavních rozměrech $D_n = 5200$ a $H = 3500$ – MS2, srovnání napětí, deformací a bezpečnosti na ztrátu stability hladké (nevyztužené) obetonované a neobetonované nádrže 138

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Navržená řada čistíren odpadních vod.....	42
Tab. 2. Vliv tuhosti základové desky na celkovém srovnávacím napětí – Von Mises pro nádrž $D_n = 5200$ mm, $H = 3500$, $s = 20$ mm, hydrostatický tlak $p = 0,034$ MPa	45
Tab. 3. Mechanické vlastnosti pro termoplast PP-H.....	46
Tab. 4. Parametry pro výpočet	55
Tab. 5. Hodnoty napětí a spotřeby materiálu pro různé tloušťky základní stěny pro stavy MS1, MS2 a PS	56
Tab. 6. Hodnoty bezpečnosti na ztrátu stability pro různé tloušťky základní stěny pro stavy MS1, MS2 a PS	56
Tab. 7. Hodnoty maximálních deformací pro různé tloušťky základní stěny pro stavy MS1, MS2 a PS	56
Tab. 8. Hodnoty napětí, deformací, spotřeby materiálu a bezpečnosti na ztrátu stability - MS2	58
Tab. 9. Hodnoty napětí, deformací, bezpečnosti na ztrátu stability a spotřeby materiálu pro základní tloušťku stěny 8 mm a tloušťky pásů 8 mm – MS2	60
Tab. 10. Hodnoty napětí, deformací, bezpečnosti na ztrátu stability a spotřeby materiálu pro základní tloušťku stěny 8 mm a tloušťky pásů 7 mm – MS2	61
Tab. 11. Výsledky pro základní tloušťku stěny 6 mm a tloušťky pásů 4 až 6 mm – MS2	61
Tab. 12. Výsledky pro základní tloušťku stěny 8 mm a tloušťky pásů 3 a 4 mm – MS2	62
Tab. 13. Výsledky pro základní tloušťku stěny 8 mm a tloušťky pásů 5 a 8 mm – MS2	62
Tab. 14. Výsledky pro základní tloušťku stěny 6 mm a tloušťky pásů 5 a 6 mm – MS2	63
Tab. 15. Výsledky pro základní tloušťku stěny 8 mm a tloušťky pásů 3 a 4 mm – MS2	63
Tab. 16. Výsledky pro základní tloušťku stěny 5 mm a tloušťky pásů 5 mm – MS2.....	64
Tab. 17. Výsledky pro základní tloušťku stěny 8 mm a tloušťky pásů 8 mm – MS2.....	65
Tab. 18. Výsledky pro základní tloušťku stěny 5 mm – MS2	65

Tab. 19. Výsledky pro základní tloušťku stěny 6 mm – MS2	66
Tab. 20. Výsledky pro základní tloušťku stěny 8 mm – MS2	66
Tab. 21. Výsledky pro základní tloušťku stěny 5 mm – MS2	68
Tab. 22. Výsledky pro základní tloušťku stěny 6 mm – MS2	69
Tab. 23. Seznam doporučených nádrží pro aplikaci seřazených sestupně podle bezpečnosti na ztrátu stability	70
Tab. 24. Parametry pro výpočet	72
Tab. 25. Hodnoty napětí a spotřeby materiálu pro různé tloušťky základní stěny pro stavy MS1, MS2 a PS	73
Tab. 26. Hodnoty bezpečnosti na ztrátu stability pro různé tloušťky základní stěny pro stavy MS1, MS2 a PS.....	73
Tab. 27. Hodnoty maximálních deformací pro různé tloušťky základní stěny pro stavy MS1, MS2 a PS	73
Tab. 28. Výsledky pro základní tloušťku stěny 6 mm – MS2	74
Tab. 29. Výsledky pro základní tloušťku stěny 8 mm – MS2	74
Tab. 30. Výsledky pro základní tloušťku stěny 10 mm – MS2	75
Tab. 31. Výsledky pro základní tloušťku stěny 10 mm – MS2	76
Tab. 32. Výsledky pro základní tloušťku stěny 8 mm – MS2	78
Tab. 33. Výsledky pro základní tloušťku stěny 10 mm – MS2	79
Tab. 34. Výsledky pro základní tloušťku stěny 8 mm – MS2	81
Tab. 35. Výsledky pro základní tloušťku stěny 10 mm – MS2	81
Tab. 36. Seznam doporučených nádrží pro aplikaci seřazených sestupně podle bezpečnosti na ztrátu stability	82
Tab. 37. Parametry pro výpočet	84
Tab. 38. Hodnoty napětí a spotřeby materiálu pro různé tloušťky základní stěny pro stavy MS1, MS2 a PS	85
Tab. 39. Hodnoty bezpečnosti na ztrátu stability pro různé tloušťky základní stěny pro stavy MS1, MS2 a PS.....	85
Tab. 40. Hodnoty maximálních deformací pro různé tloušťky základní stěny pro stavy MS1, MS2 a PS	85
Tab. 41. Výsledky pro základní tloušťku stěny 8 mm – MS2	87
Tab. 42. Výsledky pro základní tloušťku stěny 8 mm – modifikace – MS2	87
Tab. 43. Výsledky pro základní tloušťku stěny 10 mm – MS2	87

Tab. 44. Výsledky pro základní tloušťku stěny 10 mm – MS2	88
Tab. 45. Výsledky pro základní tloušťku stěny 8 mm – MS2	90
Tab. 46. Výsledky pro základní tloušťku stěny 10 mm – MS2	91
Tab. 47. Seznam doporučených nádrží pro aplikaci seřazených sestupně podle bezpečnosti na ztrátu stability	95
Tab. 48. Parametry pro výpočet	97
Tab. 49. Hodnoty napětí a spotřeby materiálu pro různé tloušťky základní stěny pro stavy MS1, MS2 a PS	98
Tab. 50. Hodnoty bezpečnosti na ztrátu stability pro různé tloušťky základní stěny pro stavy MS1, MS2 a PS.....	98
Tab. 51. Hodnoty maximálních deformací pro různé tloušťky základní stěny pro stavy MS1, MS2 a PS	98
Tab. 52. Výsledky pro základní tloušťku stěny 15 mm – MS2	99
Tab. 53. Výsledky pro základní tloušťku stěny 10 mm – MS2	101
Tab. 54. Výsledky pro základní tloušťku stěny 15 mm a pásu tloušťky 5 mm – MS2.....	102
Tab. 55. Výsledky pro základní tloušťku stěny 15 mm a pásu tloušťky 10 mm – MS2....	104
Tab. 56. Výsledky pro základní tloušťku stěny 15 mm a pásu tloušťky 15 mm – MS2....	104
Tab. 57. Výsledky pro základní tloušťku stěny 15 mm – MS2	106
Tab. 58. Seznam doporučených nádrží pro aplikaci seřazených sestupně podle bezpečnosti na ztrátu stability	107
Tab. 59. Parametry pro výpočet	109
Tab. 60. Hodnoty napětí a spotřeby materiálu pro různé tloušťky základní stěny pro stavy MS1, MS2 a PS	110
Tab. 61. Hodnoty bezpečnosti na ztrátu stability pro různé tloušťky základní stěny pro stavy MS1, MS2 a PS.....	110
Tab. 62. Hodnoty maximálních deformací pro různé tloušťky základní stěny pro stavy MS1, MS2 a PS	110
Tab. 63. Výsledky pro základní tloušťku stěny 15 mm – MS2	111
Tab. 64. Výsledky pro základní tloušťku stěny 15 mm – modifikace – MS2	112
Tab. 65. Výsledky pro základní tloušťku stěny 20 mm – MS2	113
Tab. 66. Výsledky pro základní tloušťku stěny 15 mm – MS2	114
Tab. 67. Výsledky pro základní tloušťku stěny 20 mm – MS2	115
Tab. 68. Výsledky pro základní tloušťku stěny 20 mm – MS2	119

Tab. 69. Seznam doporučených nádrží pro aplikaci seřazených sestupně podle bezpečnosti na ztrátu stability	120
Tab. 70. Parametry pro výpočet	122
Tab. 71. Hodnoty napětí a spotřeby materiálu pro různé tloušťky základní stěny pro stavy MS1, MS2 a PS	123
Tab. 72. Hodnoty bezpečnosti na ztrátu stability pro různé tloušťky základní stěny pro stavy MS1, MS2 a PS.....	123
Tab. 73. Hodnoty maximálních deformací pro různé tloušťky základní stěny pro stavy MS1, MS2 a PS	123
Tab. 74. Výsledky pro základní tloušťku stěny 25 mm – MS2	124
Tab. 75. Výsledky pro základní tloušťku stěny 30 mm – MS2	125
Tab. 76. Výsledky pro základní tloušťku stěny 30 mm a pásu tloušťky 10 mm – MS2....	127
Tab. 77. Výsledky pro základní tloušťku stěny 35 mm a pásu tloušťky 5 mm – MS2.....	128
Tab. 78. Výsledky pro základní tloušťku stěny 35 mm – MS2	129
Tab. 79. Výsledky pro základní tloušťku stěny 30 mm – MS2	130
Tab. 80. Výsledky pro základní tloušťku stěny 35 mm – MS2	131
Tab. 81. Seznam doporučených nádrží pro aplikaci seřazených sestupně podle bezpečnosti na ztrátu stability	132
Tab. 82. Jednotlivé typy vyztužení seřazeny podle účinnosti zvýšení bezpečnosti na ztrátu stability (seřazeno sestupně).....	134
Tab. 83. Typy vyztužení seřazeny podle spotřeby materiálu pro dosažení bezpečnosti na ztrátu stability $S=2$ (seřazeno vzestupně)	134

SEZNAM PŘÍLOH

- P I Souhrnný přehled nádrží o hlavních rozměrech $D_n=1400$ a $H=1800$ vyhovujících z pevnostního a stabilitního hlediska
- P II Souhrnný přehled nádrží o hlavních rozměrech $D_n=1750$ a $H=2050$ vyhovujících z pevnostního a stabilitního hlediska
- P III Souhrnný přehled nádrží o hlavních rozměrech $D_n=1900$ a $H=2300$ vyhovujících z pevnostního a stabilitního hlediska
- P IV Souhrnný přehled nádrží o hlavních rozměrech $D_n=2500$ a $H=2500$ vyhovujících z pevnostního a stabilitního hlediska
- PV Souhrnný přehled nádrží o hlavních rozměrech $D_n=3500$ a $H=3000$ vyhovujících z pevnostního a stabilitního hlediska
- PVI Souhrnný přehled nádrží o hlavních rozměrech $D_n=5200$ a $H=3500$ vyhovujících z pevnostního a stabilitního hlediska
- PVII Grafický přehled dat pro nádrž o hlavních rozměrech $D_n=1400$ a $H=1800$ vyhovujících z pevnostního a stabilitního hlediska
- PVIII Grafický přehled dat pro nádrž o hlavních rozměrech $D_n=1750$ a $H=2050$ vyhovujících z pevnostního a stabilitního hlediska
- PIX Grafický přehled dat pro nádrž o hlavních rozměrech $D_n=1900$ a $H=2300$ vyhovujících z pevnostního a stabilitního hlediska
- PX Grafický přehled dat pro nádrž o hlavních rozměrech $D_n=2500$ a $H=2500$ vyhovujících z pevnostního a stabilitního hlediska
- PXI Grafický přehled dat pro nádrž o hlavních rozměrech $D_n=3500$ a $H=3000$ vyhovujících z pevnostního a stabilitního hlediska
- PXII Grafický přehled dat pro nádrž o hlavních rozměrech $D_n=5200$ a $H=3500$ vyhovujících z pevnostního a stabilitního hlediska

**PŘÍLOHA P I: SOUHRNNÝ PŘEHLED NÁDRŽÍ O HLAVNÍCH ROZMĚRECH $D_N=1400$ A $H=1800$
VYHOVUJÍCÍCH Z PEVNOSTNÍHO A STABILITNÍHO HLEDISKA**

Návrhy nádrží seřazeny sestupně podle bezpečnosti na ztrátu stability

Pořadové číslo návrhu	Základní tloušťka stěny (mm)	Tloušťka žebra (mm)	Počet obvodových žebek (ks)	Počet podélných žebek (ks)	Počet obvodových pásů (ks)	Šířka pásů (mm)	Tloušťka pásů (mm)	Spotřeba materiálu (m^3)	Bezpečnost na ztrátu stability (1)	Poznámky
1	20							0,1936	12,25	
2	5				1	1400	15	0,1408	8,49	Verze 5
3	8				3	400	12	0,1408	7,69	Verze 4
4	8				1	1000	12	0,1302	7,47	Verze 2
5	6				3	400	14	0,1320	7,10	Verze 4
6	6				1	1000	9	0,1197	6,28	Verze 2
7	15							0,1452	6,19	
8	8	20	5	8				0,1194	5,70	Verze 2
9	8	15	5	8				0,1089	5,34	Verze 2

Pořadové číslo návrhu	Základní tloušťka stěny (mm)	Tloušťka žebra (mm)	Počet obvodových žebek (ks)	Počet podélných žebek (ks)	Počet obvodových pásů (ks)	Šířka pásů (mm)	Tloušťka pásů (mm)	Spotřeba materiálu (m ³)	Bezpečnost na ztrátu stability (1)	Poznámky
10	5				1	1400	10	0,1100	4,90	Verze 5
11	8	10	5	8				0,0984	4,81	Verze 2
12	8				1	1000	8	0,1126	4,72	Verze 2
13	8	8	5	8				0,0942	4,59	Verze 2
14	8	6	5	8				0,0900	4,38	Verze 2
15	8				3	400	7	0,1144	4,32	Verze 4
16	8				1	1000	7	0,1082	4,19	Verze 2
17	8	5	5	8				0,0880	4,14	Verze 2
18	5				1	1000	15	0,1144	4,01	Verze 2
19	6				3	400	9	0,1056	3,89	Verze 4
20	8				1	1000	6	0,1038	3,71	Verze 2
21	5				3	400	10	0,1012	3,67	Verze 4

Pořadové číslo návrhu	Základní tloušťka stěny (mm)	Tloušťka žebra (mm)	Počet obvodových žebor (ks)	Počet podélných žebor (ks)	Počet obvodových pásů (ks)	Šířka pásů (mm)	Tloušťka pásů (mm)	Spotřeba materiálu (m ³)	Bezpečnost na ztrátu stability (1)	Poznámky
22	6				1	1000	9	0,0977	3,62	Verze 2
23	5				1	1000	10	0,0924	3,34	Verze 2
24	8				1	500	12	0,1038	2,94	Verze 3
25	8				1	1000	4	0,0950	2,90	Verze 2
26	8				3	400	4	0,0986	2,83	Verze 4
27	5				3	400	8	0,0906	2,78	Verze 4
28	8				1	500	10	0,0994	2,75	Verze 3
29	6	20	5	8				0,1000	2,69	Verze 2
30	8				5	50	10	0,0884	2,61	Verze 1
31	6	15	5	8				0,0896	2,60	Verze 2
32	8				1	1000	3	0,0906	2,56	Verze 2
33	8				4	50	10	0,0862	2,55	Verze 1

Pořadové číslo návrhu	Základní tloušťka stěny (mm)	Tloušťka žebra (mm)	Počet obvodových žebek (ks)	Počet podélných žebek (ks)	Počet obvodových pásů (ks)	Šířka pásů (mm)	Tloušťka pásů (mm)	Spotřeba materiálu (m ³)	Bezpečnost na ztrátu stability (1)	Poznámky
34	5				1	1000	8	0,0836	2,55	Verze 2
35	8				1	500	8	0,0950	2,52	Verze 3
36	6				3	400	6	0,0898	2,51	Verze 4
37	6				9	50	10	0,0779	2,48	Verze 1
38	6				1	1000	6	0,0845	2,45	Verze 2
39	6	10	5	8				0,0791	2,41	Verze 2
40	5				6	50	15	0,0649	2,39	Verze 1
41	8				1	500	7	0,0928	2,39	Verze 3
42	8				1	200	8	0,0845	2,38	Verze 6
43	8				5	50	8	0,0862	2,36	Verze 1
44	8				3	400	3	0,0933	2,34	Verze 4
45	5	5	5					0,0541	2,32	

Pořadové číslo návrhu	Základní tloušťka stěny (mm)	Tloušťka žebra (mm)	Počet obvodových žeber (ks)	Počet podélných žeber (ks)	Počet obvodových pásů (ks)	Šířka pásů (mm)	Tloušťka pásů (mm)	Spotřeba materiálu (m ³)	Bezpečnost na ztrátu stability (1)	Poznámky
46	6				8	50	10	0,0757	2,31	Verze 1
47	8				4	50	8	0,0845	2,31	Verze 1
48	10							0,0968	2,30	
49	8				3	50	10	0,0840	2,30	Verze 1
50	6	8	5	8				0,0749	2,30	Verze 2
51	6	20	5	4				0,0872	2,27	Verze 1
52	6				9	50	9	0,0759	2,25	Verze 1
53	8				2	50	12	0,0827	2,25	Verze 1
54	5				3	400	15	0,1268	2,25	Verze 4
55	6	15	5	4				0,0800	2,23	Verze 1
56	6	6	3					0,0622	2,22	
57	6				4	50	14	0,0704	2,20	Verze 1

Pořadové číslo návrhu	Základní tloušťka stěny (mm)	Tloušťka žebra (mm)	Počet obvodových žebek (ks)	Počet podélných žebek (ks)	Počet obvodových pásů (ks)	Šířka pásů (mm)	Tloušťka pásů (mm)	Spotřeba materiálu (m ³)	Bezpečnost na ztrátu stability (1)	Poznámky
58	8				5	50	7	0,0852	2,20	Verze 1
59	8	8	1					0,0793	2,19	
60	6	6	5	8				0,0707	2,19	Verze 2
61	5				11	50	10	0,0726	2,15	Verze 1
62	8				1	1000	2	0,0862	2,14	Verze 2
63	8				3	50	8	0,0827	2,14	Verze 1
64	6	10	5	4				0,0727	2,14	Verze 1
65	6	5	5	8				0,0686	2,14	Verze 2
66	6				1	1000	5	0,0801	2,14	
67	8				4	50	7	0,0836	2,12	Verze 1
68	5				1	1400	5	0,0792	2,12	Verze 5
69	6				7	50	10	0,0735	2,12	Verze 1

Pořadové číslo návrhu	Základní tloušťka stěny (mm)	Tloušťka žebra (mm)	Počet obvodových žebek (ks)	Počet podélných žebek (ks)	Počet obvodových pásů (ks)	Šířka pásů (mm)	Tloušťka pásů (mm)	Spotřeba materiálu (m ³)	Bezpečnost na ztrátu stability (1)	Poznámky
70	6				8	50	9	0,0739	2,11	Verze 1
71	5				10	50	10	0,0704	2,10	Verze 1
72	8				1	500	5	0,0884	2,09	Verze 3
73	8				2	50	10	0,0818	2,07	Verze 1
74	6				3	400	5	0,0845	2,05	Verze 4
75	5	5	4	4				0,05387	2,04	Verze 3
76	5				5	50	15	0,0649	2,01	Verze 1
77	5				9	50	10	0,0682	2,00	Verze 1
78	6	6	2	4				0,0637	2,00	Verze 4

**PŘÍLOHA P II: SOUHRNNÝ PŘEHLED NÁDRŽÍ O HLAVNÍCH ROZMĚRECH $D_N=1750$ A $H=2050$
VYHOVUJÍCÍCH Z PEVNOSTNÍHO A STABILITNÍHO HLEDISKA**

Návrhy nádrží seřazeny sestupně podle bezpečnosti na ztrátu stability

Pořadové číslo návrhu	Základní tloušťka stěny (mm)	Tloušťka žebra (mm)	Počet obvodových žebek (ks)	Počet podélných žebek (ks)	Počet obvodových pásů (ks)	Šířka pásů (mm)	Tloušťka pásů (mm)	Spotřeba materiálu (m ³)	Bezpečnost na ztrátu stability (1)	Poznámky
1	20							0,2792	6,86	
2	10				12	100	10	0,2056	4,21	
3	8				12	100	12	0,1908	3,78	
4	6	10	7					0,1035	3,55	
5	15							0,2094	3,46	
6	6	8	7					0,0996	3,37	
7	6				12	100	14	0,1761	3,36	
8	6	6	7					0,0956	3,18	
9	10	10	3	4				0,1528	3,15	

Pořadové číslo návrhu	Základní tloušťka stěny (mm)	Tloušťka žebra (mm)	Počet obvodových žebek (ks)	Počet podélných žebek (ks)	Počet obvodových pásů (ks)	Šířka pásů (mm)	Tloušťka pásů (mm)	Spotřeba materiálu (m ³)	Bezpečnost na ztrátu stability (1)	Poznámky
10	5				12	100	15	0,1688	3,14	
11	10	10	2					0,1452	3,13	
12	10				7	100	10	0,1781	3,13	
13	6	5	7					0,0936	3,09	
14	5				11	100	15	0,1605	3,04	
15	10	8	2					0,1441	2,92	
16	5				10	100	15	0,1522	2,90	
17	10	8	3	4				0,1502	2,89	
18	8	10	4	4				0,1278	2,87	
19	6	10	6					0,1007	2,86	
20	6	10	5					0,0979	2,86	
21	10				6	100	10	0,1726	2,83	

Pořadové číslo návrhu	Základní tloušťka stěny (mm)	Tloušťka žebra (mm)	Počet obvodových žebek (ks)	Počet podélných žebek (ks)	Počet obvodových pásů (ks)	Šířka pásů (mm)	Tloušťka pásů (mm)	Spotřeba materiálu (m ³)	Bezpečnost na ztrátu stability (1)	Poznámky
22	6	8	6					0,0973	2,81	
23	6	8	5					0,0950	2,81	
24	8	8	4					0,1207	2,79	
25	8	10	4					0,1230	2,76	
26	6	6	6					0,0939	2,74	
27	5	10	9					0,0952	2,67	
28	10	6	2					0,1430	2,67	
29	6	6	5					0,0922	2,66	
30	5				9	100	15	0,1440	2,66	
31	10	6	3	4				0,1476	2,63	
32	6	5	6					0,0922	2,62	
33	8	6	4					0,1184	2,62	

Pořadové číslo návrhu	Základní tloušťka stěny (mm)	Tloušťka žebra (mm)	Počet obvodových žebek (ks)	Počet podélných žebek (ks)	Počet obvodových pásů (ks)	Šířka pásů (mm)	Tloušťka pásů (mm)	Spotřeba materiálu (m ³)	Bezpečnost na ztrátu stability (1)	Poznámky
34	5	8	9					0,0902	2,58	
35	8	8	4	4				0,1246	2,57	
36	10	5	2					0,1424	2,54	
37	6				8	100	14	0,1453	2,54	
38	8	10	3					0,1202	2,53	
39	6	5	5					0,0908	2,51	
40	8	5	4					0,1173	2,47	
41	5	6	9					0,0850	2,46	
42	10	5	3	4				0,1462	2,46	
43	5	10	8					0,0924	2,43	
44	5				1	1100	15	0,1605	2,43	M3
45	6				1	1200	10	0,1403	2,42	M1

Pořadové číslo návrhu	Základní tloušťka stěny (mm)	Tloušťka žebra (mm)	Počet obvodových žebor (ks)	Počet podélných žebor (ks)	Počet obvodových pásů (ks)	Šířka pásů (mm)	Tloušťka pásů (mm)	Spotřeba materiálu (m ³)	Bezpečnost na ztrátu stability (1)	Poznámky
46	10	10	1					0,1424	2,41	
47	5	5	9					0,0825	2,40	
48	10				12	100	5	0,1726	2,40	
49	5	8	8					0,0879	2,37	
50	5				8	100	15	0,1358	2,35	
51	8	8	3					0,1184	2,34	
52	10				3	100	10	0,1561	2,33	
53	8				6	100	12	0,1512	2,32	
54	6				9	100	12	0,1431	2,32	
55	5	6	8					0,0834	2,29	
56	8				7	100	10	0,1502	2,25	
57	8	6	4	4				0,1213	2,25	

Pořadové číslo návrhu	Základní tloušťka stěny (mm)	Tloušťka žebra (mm)	Počet obvodových žeber (ks)	Počet podélných žeber (ks)	Počet obvodových pásů (ks)	Šířka pásů (mm)	Tloušťka pásů (mm)	Spotřeba materiálu (m ³)	Bezpečnost na ztrátu stability (1)	Poznámky
58	5	5	8					0,0811	2,24	
59	5				4	200	15	0,1316	2,24	M4
60	10				7	100	5	0,1588	2,24	
61	6				3	2x300, 2x250	10	0,1442	2,24	M2
62	8				3	2x250, 1x300	8	0,1468	2,24	M2
63	6				4	3x200, 1x100	14	0,1376	2,22	M4
64	8	10	2					0,1173	2,21	
65	8				1	800	8	0,1468	2,21	M1
66	8	8	2					0,1162	2,19	
67	6				7	100	14	0,1376	2,19	
68	5	10	7					0,0896	2,16	
69	8				5	100	12	0,1446	2,16	

Pořadové číslo návrhu	Základní tloušťka stěny (mm)	Tloušťka žebra (mm)	Počet obvodových žebek (ks)	Počet podélných žebek (ks)	Počet obvodových pásů (ks)	Šířka pásů (mm)	Tloušťka pásů (mm)	Spotřeba materiálu (m ³)	Bezpečnost na ztrátu stability (1)	Poznámky
70	6				1	1200	9	0,1431	2,15	M1
71	6				11	100	10	0,1442	2,14	
72	8	6	3					0,1168	2,13	
73	10				1	200	10	0,1506	2,11	M3
74	5				1	1300	10	0,1413	2,10	M1
75	8				12	100	7	0,1578	2,10	
76	8				8	100	8	0,1468	2,10	
77	5	8	7					0,0856	2,09	
78	8				1	450	12	0,1414	2,09	M3
79	10				1	500	5	0,1533	2,09	M1
80	6				8	100	12	0,1365	2,09	
81	8	5	4	4				0,1197	2,09	

Pořadové číslo návrhu	Základní tloušťka stěny (mm)	Tloušťka žebra (mm)	Počet obvodových žeber (ks)	Počet podélných žeber (ks)	Počet obvodových pásů (ks)	Šířka pásů (mm)	Tloušťka pásů (mm)	Spotřeba materiálu (m ³)	Bezpečnost na ztrátu stability (1)	Poznámky
82	10	8	1					0,1418	2,06	
83	10				6	100	5	0,1561	2,06	
84	10	3	3	4				0,1436	2,06	
85	6				1	850	14	0,1492	2,04	M3
86	8				3	2x250, 1x300	7	0,1424	2,04	M2
87	8				3	2x150, 1x100	12	0,1380	2,04	M4
88	8				1	800	7	0,1424	2,03	M1
89	10				3	2x150, 1x200	5	0,1533	2,03	M2
90	6				10	100	10	0,1387	2,03	
91	8				6	100	10	0,1446	2,03	
92	8	5	3					0,1159	2,01	
93	5				5	250	10	0,1385	2,01	M2

Pořadové číslo návrhu	Základní tloušťka stěny (mm)	Tloušťka žebra (mm)	Počet obvodových žeber (ks)	Počet podélných žeber (ks)	Počet obvodových pásů (ks)	Šířka pásů (mm)	Tloušťka pásů (mm)	Spotřeba materiálu (m ³)	Bezpečnost na ztrátu stability (1)	Poznámky
94	10				2	100	10	0,1506	2,01	
95	6				4	2x300, 2x250	9	0,1382	2,00	M2
96	6				1	850	12	0,1398	2,00	M3

**PŘÍLOHA P III: SOUHRNNÝ PŘEHLED NÁDRŽÍ O HLAVNÍCH ROZMĚRECH $D_N=1900$ A $H=2300$
VYHOVUJÍCÍCH Z PEVNOSTNÍHO A STABILITNÍHO HLEDISKA**

Návrhy nádrží seřazeny sestupně podle bezpečnosti na ztrátu stability

Pořadové číslo návrhu	Základní tloušťka stěny (mm)	Tloušťka žebra (mm)	Počet obvodových žebor (ks)	Počet podélných žebor (ks)	Počet obvodových pásů (ks)	Šířka pásů (mm)	Tloušťka pásů (mm)	Spotřeba materiálu (m^3)	Bezpečnost na ztrátu stability (1)	Poznámky
1	20							0,3374	4,73	
2	6	10	11					0,1349	4,65	
3	6	8	11					0,1282	4,12	
4	6	10	10					0,1318	3,93	
5	8	10	7					0,1564	3,88	
6	6	8	10					0,1257	3,70	
7	6	6	11					0,1214	3,43	
8	8	8	7					0,1521	3,40	
9	8	10	6					0,1533	3,10	

Pořadové číslo návrhu	Základní tloušťka stěny (mm)	Tloušťka žebra (mm)	Počet obvodových žebek (ks)	Počet podélných žebek (ks)	Počet obvodových pásů (ks)	Šířka pásů (mm)	Tloušťka pásů (mm)	Spotřeba materiálu (m ³)	Bezpečnost na ztrátu stability (1)	Poznámky
10	6	6	10					0,1196	3,08	
11	6	5	11					0,1181	3,05	
12	10				7	200	10	0,2523	2,94	
13	8	10	5					0,1503	2,92	
14	6	10	9					0,1288	2,91	
15	8	6	7					0,1478	2,88	
16	5	10	11					0,1180	2,85	
17	6	8	9					0,1233	2,78	
18	6	5	10					0,1165	2,75	
19	8	8	6					0,1497	2,75	
20	5	8	11					0,1113	2,73	
21	10				6	200	10	0,2403	2,71	

Pořadové číslo návrhu	Základní tloušťka stěny (mm)	Tloušťka žebra (mm)	Počet obvodových žebek (ks)	Počet podélných žebek (ks)	Počet obvodových pásů (ks)	Šířka pásů (mm)	Tloušťka pásů (mm)	Spotřeba materiálu (m ³)	Bezpečnost na ztrátu stability (1)	Poznámky
22	10	10	4					0,1810	2,70	
23	8				7	200	12	0,2352	2,67	
24	6	6	9					0,1178	2,63	
25	8	8	5					0,1472	2,60	
26	8	5	7					0,1457	2,59	
27	5	6	11					0,1046	2,58	
28	6	10	8					0,1257	2,54	
29	6	5	9					0,1150	2,53	
30	10	10	5	8				0,1942	2,52	
31	5	5	11					0,1012	2,50	
32	5	10	10					0,1150	2,48	
33	10	8	4					0,1785	2,47	

Pořadové číslo návrhu	Základní tloušťka stěny (mm)	Tloušťka žebra (mm)	Počet obvodových žebek (ks)	Počet podélných žebek (ks)	Počet obvodových pásů (ks)	Šířka pásů (mm)	Tloušťka pásů (mm)	Spotřeba materiálu (m ³)	Bezpečnost na ztrátu stability (1)	Poznámky
34	5	8	10					0,1088	2,45	
35	10	10	4	8				0,1912	2,44	
36	6	8	8					0,1208	2,43	
37	8				6	200	12	0,2209	2,42	
38	8	8	7	8				0,1603	2,42	
39	5	6	10					0,1027	2,41	
40	6				7	200	14	0,2182	2,41	
41	5	5	10					0,0997	2,40	
42	10				5	200	10	0,2284	2,38	
43	15							0,2530	2,37	
44	8	6	6					0,1460	2,37	
45	6	6	8					0,1159	2,32	

Pořadové číslo návrhu	Základní tloušťka stěny (mm)	Tloušťka žebra (mm)	Počet obvodových žebor (ks)	Počet podélných žebor (ks)	Počet obvodových pásů (ks)	Šířka pásů (mm)	Tloušťka pásů (mm)	Spotřeba materiálu (m ³)	Bezpečnost na ztrátu stability (1)	Poznámky
46	6				1	2000	10	0,2206	2,29	M1
47	8	8	6	8				0,1578	2,29	
48	8				1	1750	8	0,2185	2,28	M1
49	5				7	200	15	0,2097	2,26	
50	10	8	5	8				0,1891	2,26	
51	8	6	5					0,1442	2,25	
52	8	10	4					0,1472	2,23	modifikace
53	10	6	4					0,1760	2,21	
54	8				7	200	10	0,2185	2,21	
55	10	8	4	8				0,1867	2,21	
56	10	10	3					0,1779	2,20	
57	6	5	8					0,1135	2,17	

Pořadové číslo návrhu	Základní tloušťka stěny (mm)	Tloušťka žebra (mm)	Počet obvodových žebek (ks)	Počet podélných žebek (ks)	Počet obvodových pásů (ks)	Šířka pásů (mm)	Tloušťka pásů (mm)	Spotřeba materiálu (m ³)	Bezpečnost na ztrátu stability (1)	Poznámky
58	6				6	200	14	0,2015	2,16	
59	8	5	6					0,1442	2,15	
60	5				1	1400	15	0,2097	2,13	M2
61	8	8	5	8				0,1554	2,13	Verze 1
62	5				4	300	15	0,1918	2,12	M3
63	6	10	7					0,1226	2,11	
64	8				1	1000	12	0,2066	2,11	M2
65	10				4	200	10	0,2164	2,11	
66	10				1	650	10	0,2075	2,10	M2
67	10	5	4					0,1748	2,07	
68	10				3	200	10	0,2045	2,07	M3
69	6	8	7					0,1184	2,06	

Pořadové číslo návrhu	Základní tloušťka stěny (mm)	Tloušťka žebra (mm)	Počet obvodových žebor (ks)	Počet podélných žebor (ks)	Počet obvodových pásů (ks)	Šířka pásů (mm)	Tloušťka pásů (mm)	Spotřeba materiálu (m ³)	Bezpečnost na ztrátu stability (1)	Poznámky
70	5				1	2150	10	0,2127	2,06	M1
71	8				4	3x200, 1x250	12	0,1958	2,06	M3
72	8	5	5					0,1426	2,05	
73	10	8	3					0,1760	2,04	
74	5				6	200	15	0,1918	2,04	
75	6				1	1200	14	0,2015	2,04	M2
76	8				5	200	12	0,2066	2,04	
77	8	8	4					0,1448	2,03	modifikace
78	6				3	2x250, 1x500	14	0,1848	2,03	M4
79	8	6	7	8				0,1540	2,03	
80	10				3	200	10	0,2045	2,02	
81	10	6	5	8				0,1840	2,02	

Pořadové číslo návrhu	Základní tloušťka stěny (mm)	Tloušťka žebra (mm)	Počet obvodových žeber (ks)	Počet podélných žeber (ks)	Počet obvodových pásů (ks)	Šířka pásů (mm)	Tloušťka pásů (mm)	Spotřeba materiálu (m ³)	Bezpečnost na ztrátu stability (1)	Poznámky
82	6	6	7					0,1141	2,01	
83	8				1	1750	7	0,2081	2,01	M1
84	10				1	1400	5	0,2105	2,01	M1
85	8	8	5	8				0,1554	2,01	M2
86	6				1	2000	9	0,2087	2,00	M1
87	6				4	250	14	0,1848	2,00	M3
88	8				6	200	10	0,2066	2,00	

**PŘÍLOHA P IV: SOUHRNNÝ PŘEHLED NÁDRŽÍ O HLAVNÍCH ROZMĚRECH $D_N=2500$ A $H=2500$
VYHOVUJÍCÍCH Z PEVNOSTNÍHO A STABILITNÍHO HLEDISKA**

Návrhy nádrží seřazeny sestupně podle bezpečnosti na ztrátu stability

Pořadové číslo návrhu	Základní tloušťka stěny (mm)	Tloušťka žebra (mm)	Počet obvodových žebek (ks)	Počet podélných žebek (ks)	Počet obvodových pásů (ks)	Šířka pásů (mm)	Tloušťka pásů (mm)	Spotřeba materiálu (m^3)	Bezpečnost na ztrátu stability (1)	Poznámky
1	15	20	7					0,4304	4,01	
2	6	20	11					0,2378	3,39	
3	8	20	9					0,2717	3,30	
4	15	20	6					0,4224	3,24	
5	6	20	10					0,2298	3,13	
6	15	20	5					0,4144	3,08	
7	15	20	4					0,4064	3,06	
8	8	20	8					0,2637	2,97	
9	15	20	4	4				0,4156	2,94	

Pořadové číslo návrhu	Základní tloušťka stěny (mm)	Tloušťka žebra (mm)	Počet obvodových žebek (ks)	Počet podélných žebek (ks)	Počet obvodových pásů (ks)	Šířka pásů (mm)	Tloušťka pásů (mm)	Spotřeba materiálu (m ³)	Bezpečnost na ztrátu stability (1)	Poznámky
10	15	15	5					0,4044	2,92	
11	15	20	4	8				0,4340	2,90	
12	10	20	7					0,3055	2,88	
13	6	15	11					0,2158	2,85	
14	6	15	10					0,2098	2,81	
15	15	15	4					0,3982	2,78	
16	8	15	9					0,2536	2,78	
17	5	20	13					0,2309	2,73	
18	5	15	13					0,2028	2,70	
19	6	6	19					0,1953	2,65	
20	15	15	4	4				0,4052	2,64	
21	20							0,4988	2,57	

Pořadové číslo návrhu	Základní tloušťka stěny (mm)	Tloušťka žebra (mm)	Počet obvodových žebek (ks)	Počet podélných žebek (ks)	Počet obvodových pásů (ks)	Šířka pásů (mm)	Tloušťka pásů (mm)	Spotřeba materiálu (m ³)	Bezpečnost na ztrátu stability (1)	Poznámky
22	15	20	3					0,3982	2,57	
23	10	10	9					0,2855	2,56	
24	15	15	4	8				0,4188	2,56	
25	6	6	18					0,1929	2,55	
26	8	15	8					0,2476	2,52	
27	10	15	7					0,2915	2,48	
28	8	20	7					0,2556	2,45	
29	6	6	17					0,1905	2,37	
30	15	15	3					0,3922	2,37	
31	8	8	12					0,2380	2,34	
32	8	8	11					0,2348	2,29	
33	8	8	10					0,2316	2,26	

Pořadové číslo návrhu	Základní tloušťka stěny (mm)	Tloušťka žebra (mm)	Počet obvodových žebek (ks)	Počet podélných žebek (ks)	Počet obvodových pásů (ks)	Šířka pásů (mm)	Tloušťka pásů (mm)	Spotřeba materiálu (m ³)	Bezpečnost na ztrátu stability (1)	Poznámky
34	15	10	4	4				0,3948	2,26	
35	10	10	8					0,2815	2,23	
36	15				1	1700	5	0,4408	2,23	Verze 2
37	5	5	19					0,1628	2,20	
38	6	6	16					0,1881	2,20	
39	5	20	12					0,2209	2,18	
40	10	20	6					0,2975	2,16	
41	15				1	2000	5	0,4420	2,16	Verze 1
42	5	5	18					0,1608	2,11	
43	8	15	7					0,2416	2,11	
44	15				1	1500	5	0,4332	2,11	Verze 7
45	15				6	250	5	0,4332	2,11	Verze 8

Pořadové číslo návrhu	Základní tloušťka stěny (mm)	Tloušťka žebra (mm)	Počet obvodových žebek (ks)	Počet podélných žebek (ks)	Počet obvodových pásů (ks)	Šířka pásů (mm)	Tloušťka pásů (mm)	Spotřeba materiálu (m ³)	Bezpečnost na ztrátu stability (1)	Poznámky
46	15	8	4	4				0,3907	2,09	
47	15				1	1450	5	0,4312	2,08	Verze 6
48	6	6	15					0,1857	2,07	
49	5	15	12					0,1968	2,07	
50	15				1	1400	5	0,4292	2,05	Verze 5
51	15				2	300	10	0,4220	2,05	
52	10				1	2050	10	0,4104	2,05	
53	15	20	3	8				0,4260	2,05	
54	10	10	7					0,2775	2,03	
55	15				1	1350	5	0,4272	2,03	
56	15				1	250	15	0,4040	2,02	Verze 4
57	15				1	1300	5	0,4252	2,00	Verze 3

**PŘÍLOHA P V: SOUHRNNÝ PŘEHLED NÁDRŽÍ O HLAVNÍCH ROZMĚRECH $D_N=3500$ A $H=3000$
VYHOVUJÍCÍCH Z PEVNOSTNÍHO A STABILITNÍHO HLEDISKA**

Návrhy nádrží seřazeny sestupně podle bezpečnosti na ztrátu stability

Pořadové číslo návrhu	Základní tloušťka stěny (mm)	Tloušťka žebra (mm)	Počet obvodových žebek (ks)	Počet podélných žebek (ks)	Počet obvodových pásů (ks)	Šířka pásů (mm)	Tloušťka pásů (mm)	Spotřeba materiálu (m ³)	Bezpečnost na ztrátu stability (1)	Poznámky
1	15	20	5					0,7692	3,97	
2	15	15	5					0,7408	3,80	
3	10	8	11					0,5368	3,61	
4	20	20	3					0,9428	3,42	
5	20	20	2					0,9200	3,33	
6	10	8	10					0,5280	3,29	
7	8	20	12					0,6216	3,28	
8	15	20	4	8				0,7968	3,27	
9	15	20	4					0,7468	3,26	

Pořadové číslo návrhu	Základní tloušťka stěny (mm)	Tloušťka žebra (mm)	Počet obvodových žebek (ks)	Počet podélných žebek (ks)	Počet obvodových pásů (ks)	Šířka pásů (mm)	Tloušťka pásů (mm)	Spotřeba materiálu (m ³)	Bezpečnost na ztrátu stability (1)	Poznámky
10	30							1,3124	3,21	
11	20	15	3					0,9256	3,18	
12	15	10	5					0,7128	3,16	
13	20	15	2					0,9088	3,11	
14	8	15	12					0,5536	3,10	
15	15	15	4					0,7240	3,10	
16	15	8	5					0,7012	2,87	
17	20	10	3					0,9088	2,84	
18	15	10	4					0,7012	2,79	
19	10	20	6					0,5732	2,78	
20	15	15	4	8				0,7616	2,78	
21	8	10	12					0,4856	2,76	

Pořadové číslo návrhu	Základní tloušťka stěny (mm)	Tloušťka žebra (mm)	Počet obvodových žebek (ks)	Počet podélných žebek (ks)	Počet obvodových pásů (ks)	Šířka pásů (mm)	Tloušťka pásů (mm)	Spotřeba materiálu (m ³)	Bezpečnost na ztrátu stability (1)	Poznámky
22	8	20	11					0,5988	2,76	
23	20	10	2					0,8976	2,76	
24	15	15	3					0,7072	2,74	modifikace
25	10	15	6					0,5392	2,72	
26	10	10	6					0,5052	2,65	
27	10	8	7					0,5008	2,62	
28	20	8	3					0,9020	2,61	
29	8	15	11					0,5364	2,58	
30	15	8	4					0,6924	2,57	
31	15	10	3					0,6900	2,57	modifikace
32	15	6	5					0,6900	2,55	
33	20	8	2					0,8928	2,53	

Pořadové číslo návrhu	Základní tloušťka stěny (mm)	Tloušťka žebra (mm)	Počet obvodových žebek (ks)	Počet podélných žebek (ks)	Počet obvodových pásů (ks)	Šířka pásů (mm)	Tloušťka pásů (mm)	Spotřeba materiálu (m ³)	Bezpečnost na ztrátu stability (1)	Poznámky
34	8	20	10					0,5760	2,46	
35	10	8	6					0,4916	2,46	
36	15	20	1	8				0,9476	2,35	
37	15	8	3					0,6832	2,35	modifikace
38	20	6	3					0,8952	2,34	
39	15	10	4	8				0,7264	2,33	
40	20				12	150	10	1,0728	2,32	
41	8	15	10					0,5196	2,31	
42	20				11	150	10	1,0564	2,31	
43	15	15	1	8				0,9296	2,30	
44	8	10	11					0,4744	2,28	
45	20	6	2					0,8884	2,27	

Pořadové číslo návrhu	Základní tloušťka stěny (mm)	Tloušťka žebra (mm)	Počet obvodových žebek (ks)	Počet podélných žebek (ks)	Počet obvodových pásů (ks)	Šířka pásů (mm)	Tloušťka pásů (mm)	Spotřeba materiálu (m ³)	Bezpečnost na ztrátu stability (1)	Poznámky
46	20				10	150	10	1,0400	2,27	
47	15	20	1	4				0,9312	2,27	
48	15	15	1	4				0,9172	2,24	
49	15	6	4					0,6832	2,23	
50	15	20	3	8				0,7744	2,22	
51	20	5	3					0,8920	2,19	
52	20				9	150	10	1,0232	2,19	
53	20				8	150	10	1,0068	2,16	
54	15	8	4	8				0,7124	2,16	
55	15				1	1400	15	0,8872	2,15	Verze 2
56	20				1	1000	10	0,9848	2,13	Verze 2
57	20	5	2					0,8860	2,12	
58	10				1	2100	20	0,8992	2,12	Verze 2

Pořadové číslo návrhu	Základní tloušťka stěny (mm)	Tloušťka žebra (mm)	Počet obvodových žebek (ks)	Počet podélných žebek (ks)	Počet obvodových pásů (ks)	Šířka pásů (mm)	Tloušťka pásů (mm)	Spotřeba materiálu (m ³)	Bezpečnost na ztrátu stability (1)	Poznámky
59	20	20	1					0,8976	2,10	
60	15	10	1	8				0,9112	2,10	
61	20	15	1					0,8920	2,09	
62	20				7	150	10	0,9904	2,09	
63	15	15	3	8				0,7448	2,06	
64	15				1	1300	15	0,8704	2,04	Verze 1
65	15	10	1	4				0,9028	2,04	
66	20				1	900	10	0,9740	2,02	Verze 1
67	15	6	3					0,6764	2,02	modifikace
68	25							1,0936	2,01	
69	8	10	10					0,4632	2,01	
70	10				1	2000	20	0,8772	2,01	Verze 1
71	15	20	3	4				0,7576	2,01	

**PŘÍLOHA P VI: SOUHRNNÝ PŘEHLED NÁDRŽÍ O HLAVNÍCH ROZMĚRECH $D_N=5200$ A $H=3500$
VYHOVUJÍCÍCH Z PEVNOSTNÍHO A STABILITNÍHO HLEDISKA**

Návrhy nádrží seřazeny sestupně podle bezpečnosti na ztrátu stability

Pořadové číslo návrhu	Základní tloušťka stěny (mm)	Tloušťka žebra (mm)	Počet obvodových žebek (ks)	Počet podélných žebek (ks)	Počet obvodových pásů (ks)	Šířka pásů (mm)	Tloušťka pásů (mm)	Spotřeba materiálu (m ³)	Bezpečnost na ztrátu stability (1)	Poznámky
1	10	20	18					1,4004	3,48	
2	15	20	14					1,6676	3,44	
3	10	20	17					1,3672	3,34	
4	15	20	13					1,6344	3,27	
5	10	20	16					1,3340	3,23	
6	15	20	12					1,6012	3,01	
7	10	15	18					1,2504	3,00	
8	20	20	9					1,9016	2,97	
9	15	15	14					1,5512	2,92	

Pořadové číslo návrhu	Základní tloušťka stěny (mm)	Tloušťka žebra (mm)	Počet obvodových žebor (ks)	Počet podélných žebor (ks)	Počet obvodových pásů (ks)	Šířka pásů (mm)	Tloušťka pásů (mm)	Spotřeba materiálu (m ³)	Bezpečnost na ztrátu stability (1)	Poznámky
10	10	15	17					1,2256	2,88	
11	15	15	13					1,5260	2,79	
12	10	15	16					1,2008	2,77	
13	30	20	5					2,5692	2,75	
14	20	20	8					1,8684	2,66	
15	40							3,2036	2,65	
16	10	20	14					1,2672	2,65	
17	20	20	7					1,8352	2,62	
18	15	20	11					1,5676	2,61	
19	30	20	4					2,5360	2,61	
20	15	20	10					1,5344	2,60	
21	30	20	3					2,5028	2,59	

Pořadové číslo návrhu	Základní tloušťka stěny (mm)	Tloušťka žebra (mm)	Počet obvodových žebek (ks)	Počet podélných žebek (ks)	Počet obvodových pásů (ks)	Šířka pásů (mm)	Tloušťka pásů (mm)	Spotřeba materiálu (m ³)	Bezpečnost na ztrátu stability (1)	Poznámky
22	15	15	12					1,5012	2,57	
23	20	15	9					1,8268	2,57	
24	25	20	6					2,2020	2,56	
25	30	15	5					2,5276	2,55	
26	35	20	1	4				2,8572	2,52	
27	15	20	9					1,5012	2,51	
28	25	20	5					2,1688	2,49	
29	30	15	4					2,5028	2,44	
30	30	30	3	8				2,6464	2,44	
31	30	15	3					2,4776	2,42	
32	10	15	14					1,1508	2,39	
33	35	15	1	4				2,8440	2,39	

Pořadové číslo návrhu	Základní tloušťka stěny (mm)	Tloušťka žebra (mm)	Počet obvodových žebek (ks)	Počet podélných žebek (ks)	Počet obvodových pásů (ks)	Šířka pásů (mm)	Tloušťka pásů (mm)	Spotřeba materiálu (m ³)	Bezpečnost na ztrátu stability (1)	Poznámky
34	30	10	5					2,4860	2,34	
35	15	10	14					1,4344	2,33	
36	20	15	8					1,8016	2,31	
37	25	15	6					2,1520	2,30	
38	30	25	3	8				2,6056	2,28	
39	20	15	7					1,7768	2,27	
40	20				10	250	25	2,6228	2,27	
41	35	10	1	4				2,8304	2,25	
42	15	10	13					1,4180	2,23	
43	15	15	10					1,4512	2,23	
44	25	25	3					2,1272	2,23	
45	15	20	8					1,4680	2,22	

Pořadové číslo návrhu	Základní tloušťka stěny (mm)	Tloušťka žebra (mm)	Počet obvodových žebek (ks)	Počet podélných žebek (ks)	Počet obvodových pásů (ks)	Šířka pásů (mm)	Tloušťka pásů (mm)	Spotřeba materiálu (m ³)	Bezpečnost na ztrátu stability (1)	Poznámky
46	10	20	13					1,2340	2,21	
47	30	8	5					2,4692	2,21	
48	15	20	7					1,4344	2,19	
49	30				10	250	10	2,8112	2,19	
50	15	15	9					1,4264	2,16	
51	20	40	4					1,8684	2,16	
52	30	20	2					2,4692	2,16	
53	35	35		12				2,9476	2,16	
54	30	10	4					2,4692	2,15	
55	30				9	250	10	2,7704	2,15	
56	35	30		12				2,9268	2,15	
57	35	25		12				2,9060	2,14	

Pořadové číslo návrhu	Základní tloušťka stěny (mm)	Tloušťka žebra (mm)	Počet obvodových žebor (ks)	Počet podélných žebor (ks)	Počet obvodových pásů (ks)	Šířka pásů (mm)	Tloušťka pásů (mm)	Spotřeba materiálu (m ³)	Bezpečnost na ztrátu stability (1)	Poznámky
58	30	20	3	8				2,5652	2,13	
59	20	10	9					1,7516	2,12	
60	20	20	6					1,8016	2,12	
61	35	20		12				2,8852	2,12	
62	20	30	5					1,7076	2,11	
63	20	40	3					1,8016	2,11	
64	25	20	4					2,1356	2,11	
65	30	10	3					2,4528	2,11	
66	35				1	600	5	2,8524	2,11	
67	30	30	1					2,4528	2,10	
68	30				8	250	10	2,7296	2,10	
69	35	5	1	4				2,8168	2,10	
70	25	20	3					2,1024	2,08	

Pořadové číslo návrhu	Základní tloušťka stěny (mm)	Tloušťka žebra (mm)	Počet obvodových žeber (ks)	Počet podélných žeber (ks)	Počet obvodových pásů (ks)	Šířka pásů (mm)	Tloušťka pásů (mm)	Spotřeba materiálu (m ³)	Bezpečnost na ztrátu stability (1)	Poznámky
71	35				1	500	5	2,8440	2,08	
72	15	10	12					1,4012	2,07	
73	25	15	5					2,1272	2,06	
74	20				9	250	25	2,5208	2,05	
75	30				7	250	10	2,6888	2,05	
76	35				1	400	5	2,8360	2,05	
77	35	35		8				2,9124	2,04	
78	35	30		8				2,8968	2,03	
79	25	10	6					2,1024	2,02	
80	30				5	4x300, 1x500	10	2,6804	2,02	
81	35				1	300	5	2,8276	2,02	
82	30	8	4					2,4560	2,01	
83	30	15	2					2,4528	2,01	

Pořadové číslo návrhu	Základní tloušťka stěny (mm)	Tloušťka žebra (mm)	Počet obvodových žeber (ks)	Počet podélných žeber (ks)	Počet obvodových pásů (ks)	Šířka pásů (mm)	Tloušťka pásů (mm)	Spotřeba materiálu (m ³)	Bezpečnost na ztrátu stability (1)	Poznámky
84	30	30	1					2,4444	2,01	
85	35				1	250	5	2,8236	2,01	
86	35	20		8				2,8656	2,01	
87	35	25		8				2,8812	2,01	