

International Conference ENGINEERING MECHANICS 2010 Svratka, Czech Republic, May 10 – 13, 2010

# THE RING STIFFNESS SIMULATION OF THE CORRUGATED PIPE

## J. Plášek, J. Kytýr, R. Gratza \*

**Summary:** The ring stiffness is determined by experiments for the thermoplastic sewerage pipe. The numerical simulation is convenient to use in the case of the new corrugated pipe design. The study verifies the comparison of numerical results with experiments. The numerical patterns were created by the ANSYS programme system for the certain polypropylene sewerage corrugated pipes of 160 mm and 400 mm external diameters. The obtained results of the ring stiffness are compared with the presented values of the maker and with the results of the classic solution by the formula.

## 1. Úvod

Korugované potrubí je potrubí s dutým žebrováním (obr. 1). Termoplastové korugované potrubí se často používá pro kanalizační sítě. Při praktickém navrhování kanalizačních potrubí se využívá tzv. kruhová tuhost. Určuje se buď experimentálními zkouškami (obr. 4a), nebo pomocí vzorců. Příspěvek se zabývá modelováním zkoušky kruhové tuhosti pomocí metody konečných prvků (MKP). Snahou je srovnání chování experimentálního a numerického modelu řešeného programovým systémem ANSYS [6].



Obr. 1 Korugované potrubí [3]

Tvar a rozměry modelovaných korugovaných potrubí z polypropylénu (PP) byly určeny z řezů stěnou trouby reálných vzorků. Na obr. 2 je řez osou trouby vnějšího průměru 160 mm a na obr. 3 troubou vnějšího průměru 400 mm. Potřebné rozměry se získaly změřením posuvným měřítkem a byly doplněny vhodnou obrysovou křivkou podle tvaru naskenovaných řezů vedených osou trouby. Takto získané rozměry lze považovat za dostatečně přesné, i když jeden náhodně zvolený řez nemusí správně reprezentovat celý sortiment výrobku.

<sup>\*</sup> Ing. Jan Plášek, Ing. Jiří Kytýr, CSc., Ing. Roman Gratza, Ph.D.: Ústav stavební mechaniky, Vysoké učení technické v Brně, Veveří 331/95, 602 00 Brno. E-mail: plasek.j1@fce.vutbr.cz, tel.:+420 541 147 380

Červeně označené a zároveň zakótované obrysy (obr. 2 a 3) byly zvoleny pro 3D model MKP s objemovými prvky. Zelená čerchovaná čára značí v řezu střednicovou čáru pro 3D modely MKP se skořepinovými prvky. Tloušťky skořepinových prvků jsou v obrázcích vyznačeny modře.



Obr. 2 Změřená geometrie řezu potrubí vnějšího průměru 160 mm



Obr. 3 Změřená geometrie řezu potrubí vnějšího průměru 400 mm

Pro vnější průměr potrubí 160 mm by podle normy [1] měla být minimální tloušťka žebrování 1 mm a tloušťka vnitřní stěny 1,2 mm. U vnějšího průměru potrubí 400 mm by měly být podle normy [1] minimální hodnoty tlouštěk 2 a 2,3 mm. Měřením se však získaly stejné hodnoty tlouštěk žebrování i stěn 1 mm při vnějším průměru potrubí 160 mm a 2 mm pro vnější průměr potrubí 400 mm. Výšku žebra udává výrobce [3] hodnotou 10,5 mm pro vnější průměr 160 mm a 26 mm pro vnější průměr 400 mm. Do výpočtů se uvažovaly změřené hodnoty podle obr. 2 a 3.

Výše popsané termoplastové kanalizační korugované trouby vycházejí ze stejné tuhostní řady [3] a mají tedy mít stejnou kruhovou tuhost. Z obr. 2 a 3 je patrné, že poměr výšky a šířky žebra není pro různé průměry konstantní a rovněž i tloušťka stěny neodpovídá násobku průměru.

### 2. Kruhová tuhost

Jako srovnávací parametr pro návrh kanalizačního potrubí se používá kruhová tuhost. Určuje se buď z normové zkoušky, nebo pomocí vzorce na základě fyzikálně geometrických údajů.

## 2.1 Určení ze zkoušky

Kruhová tuhost dle normy [2] se stanovuje zkouškou stlačením trubky v lisu (obr. 4a). Osa zkoušené trouby je umístěna vodorovně. Přenos zatížení se realizuje dvěma rovnoběžnými vodorovnými deskami ve svislém směru stanovenou rychlostí posunu. Hodnota rychlosti je v [2] dána podle průměru trouby. Měří se síla *F* potřebná k dosažení posunu *y* o velikosti 3 % vnitřního průměru  $d_i$  trubky (obr 4b). Při praktickém návrhu či posuzování termoplastového potrubí se podle [7] uvažuje maximální smluvní deformace pro provozní podmínky hodnotou 1/15 průměru potrubí, tj. přibližně 6,67 %.



Obr. 4 Zkouška stlačením trubky v lisu (a) zkouška hladké trubky [3], (b) měřené veličiny u zkoušky kruhové tuhosti

Zkouška se provádí celkem na třech vzorcích, jejichž výsledky se průměrují [2]. Trouby se členěnou stěnou se musí uříznout tak, aby každé zkušební těleso obsahovalo nejmenší celé číslo žeber, vlnovců nebo jiných členění, potřebných pro dosažení požadované délky zkušebního vzorku. Řez se provádí uprostřed mezi žebry, vlnovci nebo jiným členěním.

Zkušební vzorky jsou stáří minimálně 24 hodin a o teplotě  $23 \pm 2$  °C. Vnitřní průměr  $d_i$  se stanovuje jako střední hodnota ze čtyř měření téhož vzorku.

Kruhová tuhost *SN* [kNm<sup>-2</sup>] se podle [2] určí ze vztahu

$$SN = \left(0,0186 + 0,025\frac{y}{d_{\rm i}}\right)\frac{F}{L y},\tag{1}$$

kde *F* [kN] je síla, která odpovídá dosažené hodnotě průhybu *y* [m] vnitřního líce trubky,  $d_i$  [m] je vnitřní průměr trubky a *L* [m] je skutečná délka vzorku daná normou podle průměru a členění stěny trubky.

#### 2.2 Definování pomocí údajů

Pro určení kruhové tuhosti *SN* [kNm<sup>-2</sup>] lze podle [5] použít vztah

$$SN = \frac{E I}{b d^3},$$
 (2)

kde *E* [kPa] je modul pružnosti materiálu trubky, *I* [m<sup>4</sup>] je moment setrvačnosti řezu stěny trubky ke střednicové ose řezu, b = 1 m je běžná délka trubky a *d* [m] značí průměr střednice trubky. Pro plnou stěnu konstantní tloušťky *e* [m] vychází moment setrvačnosti

$$I = \frac{b e^3}{12}.$$
(3)

#### 4. Výpočty

Pro modelování zkoušky kruhové tuhosti potrubí obou průměrů byly vytvořeny 3D modely [4], a to z objemových a skořepinových prvků, ve více variantách vystižení kontaktu lisu se vzorkem. Výpočty byly realizovány jako geometricky nelineární a s kontakty. Pro srovnání vypočtené kruhové tuhosti bylo podle vztahů (2) a (3) provedeno ruční řešení a porovnáno s údaji výrobce [3].

Pro použití v dalších výpočtech je dle výrobce [3] zvolen počáteční modul tečení hodnotou 1200 MPa a Poissonův součinitel s hodnotou 0,38. Zatěžovací desky pro kontaktní úlohu (obr. 5) jsou uvažovány z oceli s modulem pružnosti 210000 MPa a Poissonovým součinitelem 0,3.

Okrajové podmínky byly u všech modelů v MKP předepsány tak, aby nedošlo k vychýlení ze svislé roviny symetrie vzorku a k osovému posunu trubky jako celku ve spodním i horním kontaktu. Dosažení svislých posunů předepsaných v normě [2] pak závisí na řešené variantě úlohy, ve spodní části jsou uvažovány nulové svislé posuny.



Obr. 5 Model z objemových prvků s kontaktními deskami

Pro simulování zkoušky kruhové tuhosti je na obr. 5 znázorněn model trubky o vnějším průměru 400 mm. Model je vytvořen z objemových prvků SOLID45 a je zatěžovaný přes kontakt z prvků TARGE170 a CONTA174. Barevně jsou na obrázku odlišeny jednotlivé materiály. Délka vzorku je 315 mm, což splňuje požadavek na délku podle normy [2]. Desky, pomocí nichž je vzorek zatěžován předepsanými deformacemi, mají šířku 100 mm a tloušťku 4 mm s délkou desky odpovídající délce vzorku. Vzorek je zatížen zadaným svislým posunem 0,01062 m spodní plochy horní desky tak, aby změna průměru byla normou předepsaná 3 %. Vyvolaná svislá reakce má velikost 1660,5 N. Z reakce a svislého posunu vnitřního líce byla podle (1) stanovena kruhová tuhost (viz tab. 1).



Obr. 6 Model z objemových prvků vnějšího průměru 400 mm, celkové posuny



Obr. 7 Model z objemových prvků vnějšího průměru 400 mm, Misesovo napětí

Na obr. 6 jsou znázorněny vyvolané celkové posuny uzlů. V místě dotyku kontaktních desek s potrubím došlo k lokální deformaci žeber korugovaného potrubí. Misesovo napětí znázorněné bez horní kontaktní desky na obr. 7 ukazuje velké místní namáhání v místě kontaktu.

Model s kontaktními deskami je výpočtově náročnější, proto se řešily i jednodušší modely. Horní kontakt ocelové desky s korugovaným potrubím je např. nahrazen diskrétními silami a spodní kontakt je nahrazen nulovými posuny ve svislém směru. Zjednodušení je provedeno ve dvou variantách. V první variantě se uvažuje zatížení silou pouze v jednom horním uzlu a nulový posun v jednom spodním uzlu každého žebra v místě, kde by vznikl kontakt se zatěžovacími deskami. V druhé variantě je zatížení nahrazeno silami a posun předepsán v devíti uzlech.

Kromě prostorového modelu z objemových prvků byl sestaven i jednodušší skořepinový model. Geometrie střednice skořepinových modelů včetně zadaných tloušťek vychází z obr. 2 a 3. Byly využity skořepinové prvky SHELL43.

V tab. 1 jsou uvedeny hodnoty kruhových tuhostí získané pro jednotlivé modely. Je vidět, že výrobky splňují minimální hodnotu kruhové tuhosti, kterou výrobce udává jako *SN*8.

Varianta	Objemový model		Skořepinový model	
	DN160	DN400	DN160	DN400
Kontakt	10,38	9,59	10,91	10,01
9 bodů	10,44	9,63	10,95	10,48
1 bod	9,82	9,24	10,24	9,61
Ruční řešení	10,83	9,38	10,83	9,38
Výrobce	8			

Tab. 1 Vypočtené hodnoty kruhové tuhosti SN [kN m<sup>-2</sup>]

#### 5. Závěr

V článku bylo řešeno polypropylenové korugované potrubí, pro které výrobce udává minimální kruhovou tuhost *SN*8. Výsledky ukázaly, že obě vyšetřované trubky kruhové tuhosti vyhovují. Hodnoty kruhové tuhosti vypočtené pomocí modelů MKP s objemovými i skořepinovými prvky se téměř shodují s hodnotami získanými ručním řešením podle vzorce (2) a jsou o něco vyšší než udává výrobce. Modely se skořepinovými prvky vykazují větší hodnoty kruhové tuhosti než modely z objemových prvků, což lze vysvětlit zvolenou geometrií modelu. Pro praktické použití jsou skořepinové modely vzhledem k jednoduššímu vytvoření modelu vhodnější.

Numerické modelování je výhodné v případech, kdy je nutné vytvořit nové korugované potrubí s jinými geometrickými rozměry, nebo posoudit chování potrubí během jeho životnosti. Navíc při numerickém modelování lze získat podrobný obraz o chování potrubí při reálném zatížení.

Je nutné zvážit, že kruhová tuhost termoplastového korugovaného potrubí je podle normy [2] určována z krátkodobých hodnot materiálových charakteristik, což však není vhodné pro praktické navrhování kanalizačního potrubí, kde je vzhledem k reologickému procesu v materiálu nezbytné využít dlouhodobé hodnoty.

## 6. Poděkování

Tento výsledek byl získán za finančního přispění MŠMT, projekt 1M0579, v rámci činnosti výzkumného centra CIDEAS.

## 7. Literatura

- [1] ČSN EN 13476-3 Plastové potrubní systémy pro beztlakové kanalizační přípojky a stokové sítě uložené v zemi Potrubní systémy se strukturovanou stěnou z neměkčeného polyvinylchloridu (PVC-U), polypropylenu (PP) a polyethylenu (PE) Část 3: Specifikace pro trubky a tvarovky s hladkým vnitřním a profilovaným vnějším povrchem a pro systém, typ B, 2007.
- [2] ČSN EN ISO 9969 *Plastové trubky Stanovení kruhové tuhosti*. Český normalizační institut, 2008.
- [3] http://www.pipelife.cz
- [4] Plášek, J. Statická analýza částí korugovaného potrubí z termoplastu. Diplomová práce, Vysoké učení technické v Brně, fakulta stavební, ústav stavební mechaniky, Brno, 2010.
- [5] Schejbal, R. Potrubní systémy z plastů uložené v zemi z hlediska jejich stability, *XI. Konference svařování plastů "Skalák 2009"*, Skalský dvůr, 2009.
- [6] *Theory Reference ANSYS*, relase 11.0.
- [7] TNV 75 0211 Navrhování vodovodního a kanalizačního potrubí uloženého v zemi statický výpočet, 2000.