

Ing. Jindřich K r a t ě n s, CSc., Ing. Zdeněk K y s e l a, CSc.
Ústav teoretické a aplikované mechaniky ČSAV
128 49 Praha 2, Vyšehradská 49

NOVÉ POZNATKY O NÁPJATOSTI KRUHOVÝCH PRŮŘEZŮ ASYMETRICKY ZATÍŽENÝCH

Na stavbách se v poslední době budují kanalizační sítě do Js 200 mm běžně z tenkostěnných trub vyrobených z umělé hmoty. U těchto potrubí se množí poruchy, které prokazatelně nelze vysvětlit nepřiměřeným zjednodušením projekčních metod ani vadou materiálu. Zbývajícím faktorem, který může rozhodujícím způsobem přispět k poruše potrubí, je vliv technologie záhozu rýh. Tento vliv byl řešen teoreticko-experimentálně v měřítku 1,4:1 pro případ potrubí z novoduru Js 140 mm, ukládaného do hloubky až 1,5 m v zemině tř. 21, konzistence měkké, dle ČSN 73 1001. Lože potrubí se předpokládalo upravené ze sypké zeminy pože jako několikacentimetrový podsyp. Zához se uvažoval vytěženou zeminou, která měla charakter zeminy sypké, tvořené různě velkými hrudkami a hroudami zeminy tř. 21, konzistence pevné. Byly modelovány různé způsoby záhozu rýhy.

Cílem práce bylo stanovit, jak jsou napětí ve stěně roury ovlivněna technologií záhozu rýhy.

Obecné předpoklady

O materiálu roury se předpokládá, že k porušení dochází překročením pevnosti v tlaku nebo tahu /5/. Přitom se postupovalo podle zásad technické nauky o pružnosti a pevnosti. Podle nich bylo propočteno, že otázky stability válcových trub Js 140 mm z novoduru, se stěnou 2,5 mm tlustou, nejsou až do hloubky uložení 1,5 m významné. Otázky související se silovými účinky zrnitého prostředí na rouru ve skutečnosti i na modelu byly řešeny použitím novějších geotechnických poznatků /1/, /2/, /4/. Pro omezený rozsah příspěvku bude podrobnějšímu popisu problematiky věnována jiná publikace v roce 1981.

Modelové zkoušky a výsledky měření

Vyšetřování vlivu technologie zásypu na napjatost rour bylo provedeno fotoelasticimetrickou metodou. Byly vyrobeny dva kroužky z epoxidové pryskyřice ($E_{m,r} = 3\ 600\ \text{MPa}$). Vnější průměr kroužků byl 200 mm, délka kroužků $b = 10\ \text{mm}$, tloušťka stěny $t = 3,4\ \text{mm}$ a 6 mm. Skutečná novodurová roura má $J_s = 140\ \text{mm}$, tl. stěny 2,4 mm. ($E_{nov} = 2\ 600\ \text{MPa}$). Aby byla zachována modelová podobnost, bylo třeba zvolit vhodnou hmotu jako podloží roury. Má-li zemina $E_z = 1\ \text{MPa}$, pak vyhovuje lukopren s $E_{m,z} = 1,4\ \text{MPa}$. Model byl u stěn mezi dvě skla a zasypáván různými způsoby olověnými broky, jejichž objemová tíha redukovaná vlivem stěnových účinků mezi skly byla určena $\gamma_{br} = 30\ \text{kN/m}^3$. Objemová tíha zeminy byla uvažována $\gamma_z = 21\ \text{kN/m}^3$. Kroužek s tloušťkou stěny $t = 3,4\ \text{mm}$ vyhovuje podmínkám podobnosti modelu a díla v měřítku 1,4:1. Měření na tomto kroužku budou dále popsána. Zkoušky na tlustším kroužku potvrdily kvalitativně vše, co bylo zjištěno na tenším kroužku.

Pro napětí v rovině příčného řezu kroužku lze použít vzorec

$$\sigma = N/A \pm M/W, \quad (1)$$

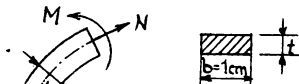
kde $A = b \cdot t$, $W = b \cdot t^2/6$.

Na modelu byla určena obvodová napětí na obou površích prstence. Platí $\sigma = K \cdot \Delta/b$, kde optická citlivost $K = 130\ \text{N/cm}$, Δ je měřený dvojlom.

V rovnici (1) je normálové napětí $\sigma_n = N/A$ a ohybové napětí $\sigma_o = M/W$. Když bylo modelováno hutnění zásypu po vrstvách, rostlo napětí σ_n s počtem vrstev zpočátku rychle, při větších hloubkách však jen nepatrně vlivem stěnového účinku boků rýhy. Napětí σ_o s přibývajícimi vrstvami zpočátku rostlo, maxima dosáhlo, když byl zásyp zároveň s rourou, a s dalšími vrstvami opět klesalo. Součtové napětí $\sigma = \sigma_n + \sigma_o$ dosáhlo svého maxima $\bar{\sigma}$, když byla roura právě zasypána po stranách. Označíme toto $\bar{\sigma}$ za relativní jednotku a k ní vztáhneme výsledky dalších měření.

S přibývajícím počtem vrstev se napětí zmenšovalo až na hodnotu $\sigma/\bar{\sigma} = 0,56$. Zkoušky ukázaly, že zásyp hutněný po vrstvách dává nejnižší hodnoty σ a tudíž klade relativně nejmenší nároky na její pevnost.

V praxi se často vyskytuje neprojektovaná technologie



zahrnování rýhy z boku, přibližně kolmo na podélnou osu potrubí. Právě v tomto případě z mnoha vyšetřovaných bylo na modelu naměřeno absolutní maximum napětí ve stěně roury a platilo $\sigma/\bar{\sigma} = 6,8$. Uvažujeme-li rouru Js 140 mm z novoduru s pevností 19 000 kN/m², pak je toto $\sigma = 9\,900$ kN/m², tj. 52% pevnosti roury, nikoliv jejího výpočtového, resp. dovoleného namáhání. K tomu je nutno připočítat skutečnost, že při bočním zahrnování je sice přibližně spojitě zatížení roury, ale vzniká nespojitě uložení roury. Při nespojitěm uložení roury vznikají značná napětí ve směru roury. Označme tato napětí

$$\sigma' = \pm (M'/W') \quad (2)$$

W' je průřezový modul vzhledem k podélné ose potrubí ($W' = \pi(d/2)^2 \cdot t$), M' je ohybový moment roury nad podporou realizovanou uložením na zemině, když v sousedství je kontaktní napětí mezi rourou a podložím zanedbatelné. Kontaktní napětí u mělce uložených rour nedosahují zpravidla velikostí potřebné k plastickému přetvoření zeminy. K redistribuci kontaktních napětí proto obvykle dochází až působením dynamických vlivů účinkem konzolidace půdy, která u zemin tř. 21 (dle ČSN 73 1001) trvá velmi dlouho. Nespojitost uložení potrubí na délku přibližně d až $2d$, když d je průměr potrubí, vede k velkým momentům M' . Přitom nespojitost uložení na tuto délku lze považovat za zcela pravděpodobnou. Zanedbáme-li pro následující teoretickou úvahu jiná napětí než σ a σ' , můžeme psát

$$\max \sigma = \sqrt{\sigma^2 + \sigma'^2} \quad (3)$$

Dosažením konkrétních čísel se lze přesvědčit, že menší roury z umělých hmot jsou podélně poddajné a platí pro ně orientačně $\max \sigma \approx \sqrt{\sigma^2} = \sigma$. Pro tenkostěnné ocelové roury velkých průměrů lze analogicky psát $\max \sigma \approx \sqrt{\sigma'^2}$. V obou případech se boční zásyp a takto podmíněné nespojitě uložení rour významnou měrou podílejí na vyčerpání pevnosti roury. Účinek bočního zásypu je z hlediska dimenzování rour kvantitativně nejméně tak významný jako účinek vrubů u svarů ocelového potrubí. Lze ukázat, že i u ocelových tenkostěnných rour mohou přídešná namáhání způsobená bočním zásypem podmíněným nespojitým uložением dosáhnout více než 50% pevnosti rour.

Protože zasypávání potrubí v rýhách buldozerem je méně náročné na lidskou práci než hutnění zásypu po vrstvách, byla

hledána technologie umožňující bez výše uvedených nedostatků nasazení buldozerů. Bylo zjištěno, že když se realizuje zasypávání potrubí z umělé hmoty v mělké rýze podélně, dosahuje se nejvýše $\epsilon/\bar{\epsilon} = 0,66$, ovšem jisté přetížení roury nastane ještě po konzolidaci nahrnutého zásypu. U rour malých průměrů (do $J_s=200$ mm) lze považovat podélné zahrnování za uspokojivé. U rour velkých průměrů je pro omezení přetížení konzolidujícím násypem nutné trvat na hutnění po vrstvách alespoň na 75% výšky roury a teprve potom lze pokračovat technologií podélného zasypávání.

Měření in situ by bylo možné stanovit, jak se mění namáhání roury v závislosti na úhlu α , který svírá směr zahrnování s osou potrubí. Je pravděpodobné, že při malém α by namáhání rour nebylo podstatně větší než při $\alpha=0$, ale zahrnování rýh šikmo by bylo snazší.

Závěrem můžeme říci, že boční zahrnování rýh vyvolává zvýšené namáhání rour jednak přímo, jednak tím, že způsobuje nespójitost v uložení rour. Zvýšení namáhání je velmi významné, dosahuje u tenkostěnných rour kolem 50% jejich pevnosti bez uvažování ostatních silových účinků v průřezu potrubí. Je sice možné nadimenzovat roury silněji, takže škody nemusí vzniknout. Hospodárnější je však pozměnit technologii zahrnování rýh, čímž se bezpečně vystačí s tenkostěnnými rourami v daleko větším počtu případů. Jsou navrženy jednak vhodné technologické postupy, jednak zpřesňující kontrolně-výzkumná měření, která by bylo účelné provést na skutečných potrubích. V exponovaných místech bude nadále nutno doporučovat hutnění zásypu rýhy po vrstvách, neboť tak se dosáhne nejmenšího namáhání rour a současně se zajistí s postačující přesností také jejich spojitě uložení.

Literatura

- /1/ Myslivec, A.-Kysela, Z.: Die Tragfähigkeit von Gebäudefundamenten. Köln 1978.
- /2/ DIN 1055, Blatt 2 (Entwurf 1974), Blatt 6.
- /3/ Grundel, F.: Vodovodní potrubí z plastických hmot v bytové výstavbě. Praha 1975.
- /4/ Poláček, J.-Mrkos, J.: Optimierung des Spannungszustandes bei Rohrleitungen und Armaturen gelöst durch spannungsoptische Analyse. Varna 13.-16.9.1977.