

Navrhování a spolehlivost potrubí s ohledem na aktuální požadavky norem

Ing. Richard Schejbal

HYDROPROJEKT Praha a.s.

Obsah:

1. Spolehlivost potrubí, praktické uplatňování návrhových metod
 2. Aktuální stav normalizace, Eurokódy a další obecné problémy
 3. Některé klíčové faktory při posuzování spolehlivosti potrubí
 4. Problémy vstupních parametrů z hlediska návrhu a provádění
 - 4.1 Materiálové charakteristiky
 - 4.2 Popis a vlastnosti zemin
 - 4.3 Zatížení
 - 4.4 Výstavba potrubí, zohlednění ve výpočtu a kontrola provádění
 5. Závěr
- Souvisící literatura a normy

1. Spolehlivost potrubí, praktické uplatňování návrhových metod

Na úvod citace z příspěvku předneseného na akci pořádané výrobcí plastových trubek před zhruba 10 lety: „Potrubní systémy, ať již se jedná o libovolnou přepravovanou látku, jsou při bližší nezasečeném pohledu díla ze statického hlediska nezajímavá. Ve srovnání s jinými výsledky stavební činnosti, jako jsou např. pozemní komunikace, mosty, objekty pro bydlení, reprezentační veřejné budovy, apod., trpí potrubí pro značnou část populace jistou - byť pochopitelnou - "neviditelností". To se obvykle projevuje v malém zájmu o řešení jak teoretických, tak praktických problémů, mezi něž patří i statika potrubí. Důsledky takového pohledu jsou však velmi vážné, teprve nyní si začínáme plně uvědomovat rozsah investičních prostředků uložených v podobě potrubí všech druhů do země, a tím spíše rozsah nutných rekonstrukcí, sanací zanedbaných systémů i cenu sítí nových. Nezbytnou částí technicko-ekonomického pohledu jsou i úvahy spolehlivostní, ve kterých hraje statika nejdůležitější roli.“

Ačkoliv lze vnímat postupné náznaky zlepšování situace v pohledu na statiku i na provádění potrubí, domnívám se, že výše citované věty neztratily aktuálnost. Doplnil bych ještě jeden postřeh ověřený letitou praxí ve vodním hospodářství – stavební prvky vodohospodářských systémů, a to včetně potrubí, jsou často zejména ze strany provozovatelů ale i vlastníků (a tedy investorů) považovány za něco intaktního, v čase nepodléhajícího změnám, neměnného. Chápu zřejmé důvody tohoto postoje. Problémy spojené se stroji, armaturami, prvky elektro i dalšími zařízeními, jejichž spolehlivost bezprostředně ovlivňuje funkci celého díla jsou viditelnější a jejich změny v čase více proměnné. I morální zastarání je podstatně rychlejší u strojů než u stavby. Přes to je třeba uvést na pravou míru řadu omylů, iluzí a mýtů, řadou z nich je zatížen i proces návrhu a provádění potrubí, ať v zemi zasypaného nebo volně uloženého.

Při současných hlubokých znalostech mechaniky zemin, chování různých materiálů a při možnostech počítačového modelování včetně využití variačních metod (tedy i metody konečných prvků - FEM) by měl nadejít čas pravděpodobnostní spolehlivostní analýzy potrubí, stejně jako každé jiné konstrukce. Je tedy potřeba svázat správně vyjádření zatížení i vlivu výstavby, teoretický model řešení účinků a vlastní dimenzování potrubí v souladu s nejnovějšími poznatky. Přitom by projektant měl mít k dispozici dostatečně srozumitelný algoritmus výpočtu, který bude v souladu s obecnými normami spolehlivosti i s jinými výpočtovými principy pro různé typy konstrukcí, a to nejlépe ve formě technické normy. V dalším textu ukážeme, že tento požadavek není ani zdaleka splněn, a že přitom nejde jen o náš, český problém.

Statikou potrubí a především systémů uložených v zemi se u nás ale zabývá jen velmi úzká skupina odborníků, a to prakticky bez kontaktu se zahraničními kolegy a s vývojem oboru obecně. V naprosté většině případů navrhovaných potrubních systémů se projektant spoléhá na podklady získané od výrobců. Klíčová je – zcela pochopitelně – vodohospodářská funkce, definovaná zejména rozměry a hydraulickými vlastnostmi trubního materiálu. Co se pak statické spolehlivosti týká, renomovaní výrobci vždy nabízí nějakou formu podpory, buď ve formě různých tabulek a schémat řešení uložení v zemi, nebo v podobě provedení konkrétních výpočtů pro zadané podmínky. I když odhlédneme od časté neschopnosti zadat relevantní vstupní parametry pro takový výpočet (vlastnosti zemin, způsob provádění, zatížení na povrchu terénu atd.), nabízené výpočty nejsou prakticky bez výjimky v souladu s platnou soustavou Eurokódů a skutečná hladina spolehlivosti je nejasná.

Praktické použití vhodné a s platnými normami kompatibilní metody výpočtu si tedy lze představit v několika různých stupních. Pro běžné navrhování potrubí v obvyklých podmínkách a v raných stupních dokumentace se specialista na statiku nemusí návrhu potrubí vůbec zúčastnit. Pro takový případ je možná buď zmíněná metoda tabelizace např. možných hloubek uložení v závislosti na druhu, průměru a materiálu potrubí a na podmínkách provádění. Jinou cestou je zpřístupnění výpočtového algoritmu formou počítačového programu pro daný typ trub např. jejich výrobcem nebo distributorem. Zde je jednou z nutných podmínek tzv. „user-friendly“ přístup k tvorbě softwaru. V jednotlivých případech, které se vymykají označení „obvyklé podmínky“ je ale nutné zapojení statika – specialisty, v tom případě je nezbytný jednoznačný algoritmus vystihující možné podmínky působení. Ve všech případech je ale nutné znát s dostatečnou přesností vstupní parametry pro výpočet, zejména ty, které výrazně ovlivňují výsledek, a současně je třeba zvažovat všechna relevantní návrhové situace a možné mezní stavy. Nelze pominout například přetvoření v mezním stavu použitelnosti (MSP) u poddajných potrubí, vlivy zvláštních způsobů realizace a/nebo provozování.

2. Aktuální stav normalizace, Eurokódy a další obecné problémy

Klasické i nové metody statického výpočtu vychází z různých představ o rozdělení zemních tlaků po potrubním prstenci a z úvah o odporu tohoto prstence. V zásadě lze všechny výpočtové postupy založit na těchto „pilířích“:

- teorie působení zemních tlaků vycházející z principů mechaniky zemin
- teorie popisující materiálové vlastnosti potrubí
- teorie interakce mezi potrubím a zeminou
- obecná analýza spolehlivosti systému

Z pohledu teoretické mechaniky, resp. principů pružnosti a pevnosti, se pak samozřejmě uplatní všechny navzájem svázané typy rovnic – geometricko-deformační, fyzikální i statické rovnováhy. Ačkoliv i v tomto příspěvku se soustředím na v podstatě rovinný problém potrubního prstence, je nutné vždy chápat systém potrubí – zemina i v prostoru, tedy včetně možných axiálních účinků i včetně dalších prvků systému, jako jsou např. **bloky na potrubí, objekty na řadech** apod.

Všechny výše uvedené teoretické základy prošly nebo procházejí složitým vývojem, během kterého se někdy částečně, někdy i zásadně mění i náš pohled na problém. Výpočet zemních tlaků a interakce s potrubím se vyvíjel od původní Marstonovy teorie až po dnešní teorie smykových ploch či závislých tlaků. Statické posouzení potrubí již nebere v úvahu jen prostou jednoosou napjatost zjištěnou na rovinném rámu, u potrubí z plastů pak musí do úvah vstoupit např. i v čase proměnné pevnostní a přetvárné vlastnosti materiálu, jindy zase má význam posuzování stability tenkostěnné konstrukce. A vlastní posuzování spolehlivosti pokročilo od empirických postupů přes dovolená namáhání až k dnes mezinárodně standardizované metodě dílčích součinitelů (známější pod dřívějším označením metoda mezních stavů). Tato metoda je kodifikována pomocí tzv. **Eurokódů**, označovaných EC1 až EC 9. Ty byly plně zavedeny do soustavy platných českých technických norem pod označením **ČSN EN 1990 až 1999**, pro naše téma spolehlivosti potrubí jsou pak klíčové části EN 1190 (všeobecné požadavky), 1991 (zatížení) a 1997 (geotechnika). Zde je třeba upozornit, že pro navrhování konstrukcí z některých materiálů, a tedy např. trub z termoplastů nebo sklolaminátových, nejsou Eurokódy zavedeny tak, jako je tomu např. pro ocel, beton a další materiály. Přesto i zde od dubna 2010 plně platí požadavek na navrhování podle zásad a pravidel Eurokódů!

Dále uvedené problémy jsou jen malým zlomkem vybraným ze široké problematiky navrhování a realizace potrubí. Nemáme ambici popsat její celou šíři a pořadí zde uvedených problémů neurčuje jejich důležitost.

Problém 1: V době zavádění systému Eurokódů byla CEN (Evropskou normalizační komisí) schválena a do české soustavy v roce 1999 zavedena norma ČSN EN 1295-1 Statický návrh potrubí uloženého v zemi pro různé zatěžovací podmínky – Část 1: Všeobecné požadavky. Zde je třeba uvést, že tato norma neposkytuje přesný návod pro výpočet a zůstává v rovině obecného popisu jednotlivých prvků systému, jako je určení zatížení a účinků, způsob výstavby, provedení zemních prací apod. V příloze B této normy jsou ve stručnosti uvedeny návrhové metody a odpovídající národní normy používané v této oblasti v jednotlivých členských zemích CEN, pokud tam taková norma existuje. K dispozici byl již v roce 2002 i společný pracovní materiál Technických komisí 154 a 155 při CEN označený jako prEN 1295-2 Společné metody CEN. V tomto materiálu, jistě i s ohledem na značnou obtížnost sladění odlišných metod v jednotlivých členských státech, se navrhuje zavést souběžně dvě různé základní metody výpočtu. První, označená A, je založena na ustanoveních německého předpisu A 127 ATV, druhá (B) na francouzském Fascicule 70. Současně je v normativní příloze uvedena poměrně podrobná klasifikace zemin obsypu a zásypu a v informativních přílohách části teorie mechaniky zemin vč. základů Marstonovy teorie.

Obě uvažované základní metody jsou již i u nás poměrně dobře známé, a to i díky vstupu řady zahraničních výrobců trub na náš trh.

Zde je namístě velmi důrazné upozornění: výpočet kteroukoliv z výše uvedených metod zmíněných v prEN 1295-2 není v souladu s aktuálně platnou soustavou českých

technických norem řady ČSN EN - s Eurokódy! Problém je možné ilustrovat na jednoduchém příkladu – při výstavbě komunikace, kupř. dálnice, bude jakékoliv mostní dílo posuzováno podle platných ČSN nebo po dohodě s investorem podle Eurokódů, zatímco potrubí v těsném sousedství by mělo být posouzeno v souladu s EN 1295 (-2) např. podle A 127 ATV, tedy s jiným zatížením např. kolovými tlaky různě definovaných návrhových vozidel! Tato představa je těžko přijatelná při systémovém pohledu, už vůbec nemluvě o různé hladině spolehlivosti.

Problém 2: Zavedením Eurokódů (EC) byly povinně zrušeny všechny dosud platné české normy, jejichž ustanovení jsou v rozporu s požadavky systému EC. Pro navrhování potrubí jde především o běžně užívanou ČSN 73 1001 Základová půda pod plošnými základy. Tato norma obsahovala velmi cenný tabulkový aparát s normovými hodnotami řady parametrů zemin a hornin, které vstupují do výpočtů – hodnoty úhlů vnitřního tření, soudržnosti, Poissonova součinitele i další byly přehledně navázány na klasifikace zemin podle zrnitosti a konzistence. V EC 7 – ČSN EN 1997-1 – takový podklad zcela chybí. Při konzultacích s překladateli EC a s pracovníky v oboru geotechniky se pak setkáváme s častým názorem, že potřebné údaje pro každou stavbu bude třeba získat vždy z inženýrsko-geologického průzkumu dostatečného rozsahu. To ovšem znamená významný nárůst finančních i časových nároků na IGP a nutnost laboratorních zkoušek, které jsme dosud prakticky nikdy nepotřebovali!!! Nutno podotknout, že se zatím nejedná o názor většinový, není ale zatím vůbec jasné, jak bude vývoj v této oblasti vypadat.

Problém 3: I bez souvislosti s Eurokódou se normativní prostředí a s ním i obsah platných norem vyvíjí a mění. Někdy zcela nečekaným způsobem. 1.3.2010 došlo ke zrušení ČSN 73 3050 Zemní práce. Všeobecná ustanovení, a k jejímu nahrazení normou ČSN 73 6133 Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací. Již z názvu je patrné, že všeobecně pojatý standard byl nahrazen mnohem úžeji pojatou normou, platnou jen pro speciální aplikace, a to prakticky bez vědomí odborné veřejnosti. A změna není jen formální – nový standard zavádí naprosto novou klasifikaci zemin, bez ohledu na letité zkušenosti a např. i na dopady do ceníků stavebních prací. Současně zmizely normativní požadavky na tvary a šířky výkopů pro potrubí a samozřejmě řada dalších ustanovení používaných i pozemním stavitelství. Podotýkám, že se dosud setkáváme s projektanty, a to i v některých renomovaných společnostech, kteří o tomto faktu ani netuší. Očekává se snad, že běžný projektant (nejen statik!) bude soustavně sledovat změny obrovského souboru norem, které nějak ovlivňují jeho činnost? Pro zachování kontinuity bylo nutné urychleně zpracovat změny dvou evropských norem (ČSN EN 1610 a ČSN EN 805) a ve formě Národních příloh obnovit platnost ověřených ustanovení a klasifikací.

Problém 4: Kdo se vůbec spolehlivostí potrubí zabývá? V řadě případů – nikdo. Problém samozřejmě zajímá investora a provozovatele, většinou ale není ani vysloven a předpokládá se, jaksi automaticky, že je v návrhu stavby správně vyřešen. A nejedná se jen o spolehlivost nově navrhovaných řadů – je známá celá řada případů, kdy došlo ke statickému porušení stávajícího potrubí s vážnými následky v důsledku činnosti, s vodohospodářským provozem prakticky nesouvisící. A v některých z těch případů, kdy už se třeba projektant skutečně o statiku zajímá, je řešení svěřeno osobě bez jakékoliv zkušenosti s potrubními systémy. Není tedy ani dnes výjimkou, že posouzení potrubí končí na vyřešení prstence zatíženého jen vnitřním přetlakem (i když to tak na první

pohled nevypadá, pro statické chování potrubí má obvykle podstatně větší význam rozdělení zemních tlaků zvenčí při nadloží několika málo metrů, než přetlak od 100 m vodního sloupce, a to včetně účinků hydraulického rázu. Což je mimochodem fenomén, který je mimo oblast vodního hospodářství prakticky neznámý. Myslíme si snad, že by návrh významného mostu byl svěřen statikovi se specializací na rodinné domy? U potrubí tomu tak někdy je.

Problém 5: Ve srovnání s jinými typy konstrukcí je při návrhu potrubí uloženého v zemi mnohem významnější správné zohlednění způsobu provádění. Projektant (ale i další partneři při výstavbě) si musí být trvale vědom faktu, že změna podmínek provádění ve skutečnosti oproti předpokladům výpočtu může ovlivnit výsledné chování systému potrubí – zemina velmi výrazně, v číselném vyjádření napětí nebo deformací i o desítky až stovky procent! Proto většina národních i mezinárodních předpisů věnuje ve výpočtovém algoritmu pozornost jak typu zeminy použité pro obsyp a zásyp, tak kvalitě hutnění nebo provedení lože pro potrubí.

Realita provádění na našich stavbách se ale od předpokladů výpočtu často významně liší. Účastníci výstavby (zjednodušeně investor – projektant – zhotovitel – provozovatel) jakoby si mnohdy nebyli vědomi specifických vlastností potrubí při výstavbě a za provozu. Tedy

- splnění požadavků projektu závisí více než u jiných konstrukcí na „lidském faktoru“
- potrubí uložené v zemi je prakticky neopravitelné jinak než výměnou porušené části
- náklady na odstranění nepřímých škod vyvolaných poruchou jsou obvykle podstatně vyšší než na samotnou opravu (obnova povrchu komunikace, sanace podmačení objektů apod.)
- zdánlivě drobné odchylky od navrženého stavu mohou mít významný dopad na provozování díla (změny spádu na průtokové poměry, deformace na možnost čištění atd.)

Problém 6: Potrubí uložené v zemi je složitý, mnohoparametrický prostorový systém (systém potrubí – zemina), navíc výrazně proměnný v čase. Postihnout všechny parametry v jediném uceleném algoritmu dalece přesahuje běžnou zkušenost statiků v jiných oborech.

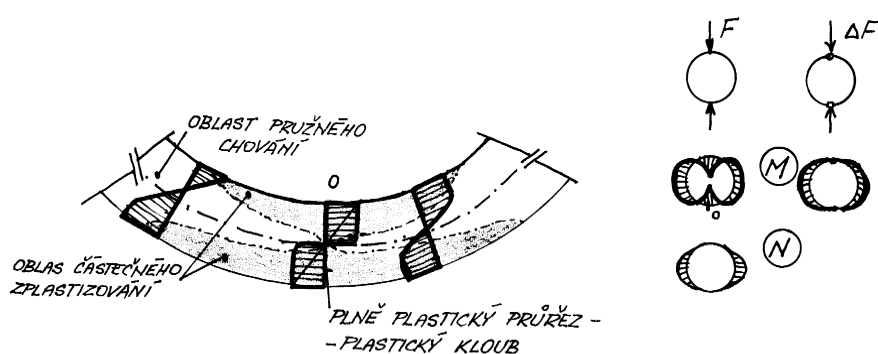
3. Některé klíčové faktory při posuzování spolehlivosti potrubí

Zásadním prvkem uvažovaným při výpočtu jakoukoliv metodou je **stanovení kontaktních napětí** na plášti potrubí, tedy zemního tlaku v hodnotách i rozdělení, které odpovídá realitě zasypané trouby. Hodnoty jsou závislé na vlastnostech zemin obsypu a zásypu, které se proměňují v čase (konsolidace), na přetvárných vlastnostech potrubí, tedy na jeho "tuhosti", resp. "poddajnosti", u potrubí z plastů pak i změnách těchto vlastností v čase, a v souladu s realitou i na způsobu provádění.

Většina standardů rozlišuje potrubí **tuhá** a **poddajná** (příp. ještě částečně poddajná) v závislosti na významu přetvoření potrubí na velikost zemních tlaků. Zjednodušeně řečeno – u tuhých potrubí nemá deformace potrubního prstence vliv na rozdělení kontaktních napětí, u poddajných trub je naopak tento vliv významný. Vlastní prstenec

se modeluje jako uzavřený kruhový rám a extrémní vnitřní síly, tedy ohybový moment, posouvající síla a normálová síla, se určují různými způsoby stavební mechaniky. Podle druhu materiálu se pak volí odpovídající teorie porušení a posuzuje se extrémní návrhové napětí a výpočtová deformace s mezními hodnotami. Podotýká se, že volba teorie porušení je v některých případech jasně dána normativními požadavky (pro ocel Huber – von Mises – Hencky – porušení hlavním normálovým napětím), u jiných materiálů, především plastů, není teorie porušení explicitně definována v běžných standardech.

Kromě teorie porušení materiálu je možné - a někdy nutné - vzít v úvahu i jeho reologické vlastnosti a plasticitu. Při zahrnutí výše uvedených jevů by ale byly běžné výpočty prakticky neřešitelné běžně dostupným aparátem, vesměs se tedy přistupuje ke zjednodušení – plasticita se zanedbává a výpočty se pohybují plně v oboru pružnosti, reologické vlastnosti se aproximují např. s užitím součinitelů dotvarování.



Obr. 1 Schéma průběhu napětí v plastizované části trubního prstence (průběh vnitřních sil na původní soustavě a soustavě s plastickými klouby)

V souladu s ustanoveními ČSN EN 1295-1 je možné provést výpočet různými metodami, které jsou dostatečně ověřeny a které zaručují alespoň takovou hladinu spolehlivosti jako doporučené postupy (prEN 1295-2). Rovněž EC 7, tedy ČSN EN 1997-1 Navrhování geotechnických konstrukcí umožňuje ověření, že není překročen žádný mezní stav, různými postupy. Zásadním problémem je praktická neexistence jednoznačného a uznávaného algoritmu, který by byl v souladu jak s požadavky soustavy Eurokódů, tak s ověřenými výsledky reálného chování potrubí uložených v zemi.

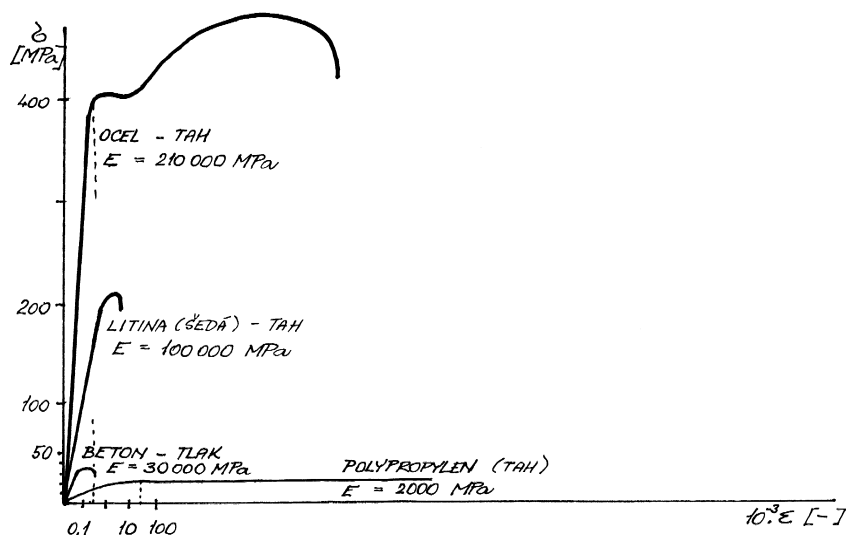
U všech typů potrubí patří k nejdůležitějším sledovaným charakteristikám **stupeň zhutnění obsypu a zásypu**. Důvody jsou jasné z hlediska statické spolehlivosti, na první pohled méně patrné vyplývají z požadavků kladených na povrch terénu. U „poddajných“ potrubí je pak na rozdíl od „tuhých“ výsledná deformace povrchu podstatně ovlivněna i vlastním stlačením trubního prstence. Přes výše uvedená známá fakta se v návrzích i na stavbách stále setkáváme s podceněním kvalitního provedení zemních prací i důsledné kontroly ze strany zadavatele. Přitom lze jednoznačně prokázat, že při správně navrženém a provedeném uložení v zemi splňuje i poddajné potrubí z plastů kritéria spolehlivosti stejně jako potrubí z jiných hmot. Požadavky na dosažení předepsané míry zhutnění a další vlastnosti (modul přetvárnosti) přitom nalezneme v různých standardech - v platné ČSN 72 1006, ve znění Technických podmínek ŘSD pro pozemní komunikace apod.

4. Problémy vstupních parametrů z hlediska návrhu a provádění

4.1 Materiálové charakteristiky

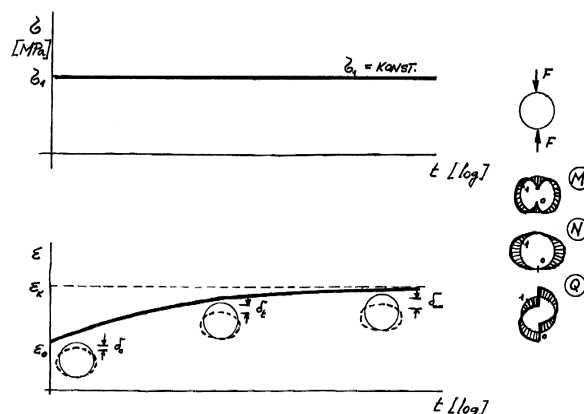
Běžný projektant se při výpočtech setká s těmito výpočtovými charakteristikami:

- Modul pružnosti materiálu (E). U plastových systémů je nutné rozlišovat hodnotu krátkodobou a dlouhodobou, resp. tečnovou a sečnovou (viz pracovní diagram materiálu). Vyšší krátkodobé (nebo tečnové) hodnoty lze použít jen výjimečně, za jasných okrajových podmínek výpočtu.
- Pevnost materiálu (R , příp. f). Velmi často není z podkladů konkrétního výrobce jasné, zda se jedná o hodnotu charakteristickou, návrhovou (výpočtovou) nebo mezní pevnost, obdobně jako u modulu pružnosti je pro plasty nutné rozlišení krátkodobých a dlouhodobých hodnot.
- Tuhost trub, příp. třída tuhosti (S , SN , SR). Různé předpisy definují tuhost odlišným způsobem, z podkladů není často patrné, jak byla určena, ani zda jde o návrhovou hodnotu určenou s užitím krátkodobé nebo dlouhodobé hodnoty modulu pružnosti, či zda se jedná o kruhovou tuhost stanovenou na základě zkoušek.

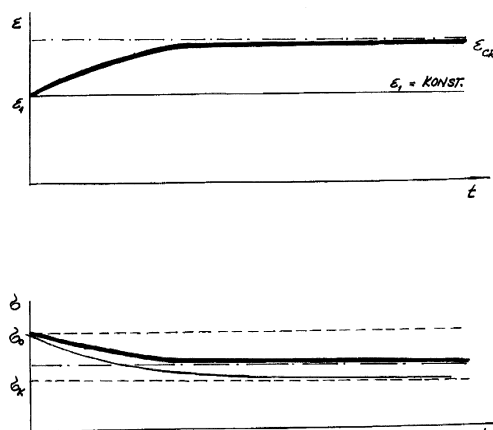


Obr. 2 Srovnání pracovních diagramů a modulů pružnosti materiálů potrubí
Ocel - litina - beton - polypropylen

Méně často jsou do výpočtů zaváděny charakteristiky časově závislého chování materiálů. Projevují se především u potrubí z termoplastů, které vykazují vlastnosti vazkopružných materiálů s významným vlivem relaxace a creepu (dotvarování – plouživost)



Obr. 3 Creep u vazkopružných materiálů - růst přetvoření v čase při konstantním napětí



Obr. 4 Relaxace - pokles napětí v čase při konstantní deformaci (tence)
Výsledný průběh napětí a přetvoření v čase (**silně**)

I další charakteristiky materiálů potrubí jako objemová hmotnost, součinitel teplotní délkové roztažnosti, Poissonův součinitel, koeficienty závislosti mechanických parametrů na teplotě atd., jsou pro řadu materiálů velmi variabilní a je úkolem projektanta konfrontovat katalogové hodnoty s požadavky norem. Zásadně je třeba rozlišovat hodnoty naměřené, odvozené, charakteristické a návrhové.

4.2 Popis a vlastnosti zemín

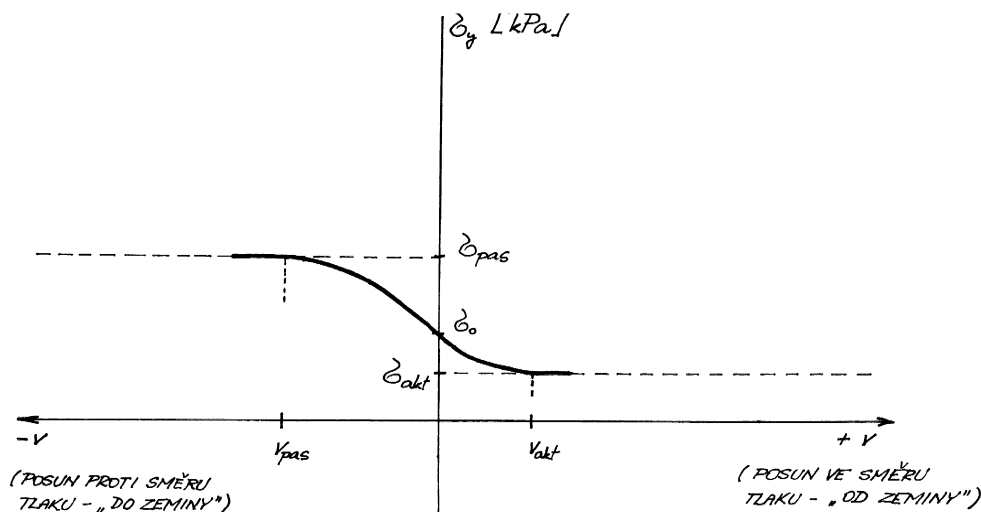
Základním podkladem pro návrh jakéhokoliv potrubí by měly být výsledky inženýrsko geologického průzkumu. V těch případech, kdy je skutečně k dispozici (což je rozhodně menšina), naráží projektant na nesoulad v názvosloví i v zařazení podle různých předpisů. V manuálech dodávaných některými výrobci jsou užívány výrazy jako „písek lehce bahnitý“, „vazká kamenitá zvětřalá půda“ apod. Důsledkem může být nesprávná klasifikace zemín a tedy přiřazení špatných charakteristik ve výpočtu. Těmi jsou – podle použité výpočtové metody:

- modul přetvárnosti (E_d) označovaný někdy jako modul deformace nebo prostě modul zeminy
- parametry (součinitelé) určující vliv zhutnění obsypu a zásypu

- parametry smykové pevnosti zemin, tedy soudržnost (c) a úhel vnitřního tření (φ). Zde je třeba správně interpretovat a užívat vrcholovou a zbytkovou hodnotu.

Obdobně jako u vlastností materiálu trub je i zde nutné rozlišit hodnoty naměřené, odvozené, charakteristické a návrhové.

Velikost zemního tlaku je v obecném vyjádření kromě řady dalších faktorů závislá jak na vlastnostech zeminy (zejména na tzv. smykových parametrech), tak na vzájemné změně polohy konstrukce, zde potrubí, a kontaktní zeminy. Tento jev je poměrně přesně již dlouhou dobu popsán například pro opěrné a jiné zdi. Pokud nedochází ke vzájemnému pohybu působí na konstrukci tlak zeminy v tzv. klidové hodnotě („tlak v klidu“). Typickým příkladem jsou masivní stěny zasypaných krabicových nádrží. Pokud dojde k posunu konstrukce ve směru od zeminy (tedy např. k vychýlení opěrné zdi), v porušené zemině vznikne soustava smykových ploch, na nichž se aktivizuje smyková pevnost zeminy a zatížení na konstrukci klesá až na hodnotu „aktivního zemního tlaku“ (je mobilizována veškerá smyková pevnost zeminy). Pokud naopak dochází k zatlačování konstrukce ve směru do zeminy (např. předpínanými kotvami, hydraulickým rozepřením atd.), mobilizuje se naopak odpor zeminy proti tomuto pohybu (opět smyková pevnost a soudržnost) a tlak na konstrukci může dosáhnout až hodnoty tzv. „pasivního tlaku“. Funkce (závislost tlaku na posunu) je spojitá a zemní tlak tedy může dosahovat libovolné velikosti mezi aktivní a pasivní hodnotou - viz schematický průběh na obrázku 5.



Obr. 5 Závislost zemního tlaku na posunu konstrukce

Zejména u dlouhých řadů je prakticky nemožné zcela postihnout návrhem proměnnost zemin po trase a tím i různost vstupních údajů ve výpočtu. Zvláštní pozornost musí být věnována návrhu tehdy, pokud se pro obsyp má použít zemina z výkopu (např. tříděná). U plastových trubek a zvláště u tenkostěnných profilů musí projekt předepsat i vhodnou zrnitost materiálu pro obsyp z hlediska velikosti a ostrohranosti.

4.3 Zatížení

Zatížení a účinky na potrubí lze podle proměnlivosti v čase systematicky rozdělit do skupin jasně definovaných moderními výpočtovými metodami. Jedná se tedy o:

- a) zatížení stálá - vlastní tíha trub, popř. tíhové účinky **trvale působících** zásypů nebo vrstev vozovky
- b) zatížení proměnná - nahodilá:
 - b1) dlouhodobá - změny tíhy a zemního tlaku zemin obsypu a zásypu, tíha náplně a provozní přetlak (u tlakových potrubí), účinky hydrostatického tlaku podzemní vody při minimální hladině, účinky vynucených přetvoření a změn teploty
 - b2) krátkodobá - zatížení při výrobě, přepravě a montáži trub, zkušební přetlak, statické zatížení povrchu terénu a jeho vliv na zemní tlak (pojezd vozidel, skladování na terénu, klimatické zatížení sněhem), dynamické účinky pohyblivého zatížení, účinky podzemní vody při kolísání její hladiny, účinky hydraulického rázu
- c) zatížení mimořádná - např. seismické účinky, zatížení vodou při povodňových stavech

Stálé nebo dlouhodobé nahodilé zatížení zemním tlakem od tíhy zeminy se určuje v souladu se zvolenou metodou a v závislosti na proměnných parametrech zeminy – viz odst. 4.2. Nahodilé zatížení na povrchu terénu se zavádí v komunikaci modelováním vlivu kolového tlaku návrhového vozidla. Zde upozorňuji na rozdíly mezi modely zatížení podle dříve platné ČSN 73 6203 (čtyřnápravové vozidlo podle kategorie komunikace), A 127 ATV (třinápravové normové vozidlo podle DIN 1072) a podle EC1 – ČSN EN 1991-3 (náprava – dvojnáprava – zvláštní vozidla). Rozdíly ve zvýšení zemních tlaků na potrubí se zahrnutím dynamických účinků mohou být značné s dopadem na celkovou úroveň spolehlivosti výpočtu.

Ve volném terénu je možné kolový tlak od náhodného pojezdu aproximovat např. zvýšením krytí potrubí. Výpočet lze samozřejmě provést i pro neobvyklé případy uložení např. pod městskou kolejovou tratí, pod železnicí a pod.

Nezávisle vstupuje do výpočtu i zatížení tíhou a příp. přetlakem (resp. podtlakem) náplně. V případě odpovídajících poměrů se uvažuje i působení podzemní vody a jejího tlaku, ovšem s dopadem na vlastnosti zeminy. Často se zapomíná na nutnost posouzení dočasných návrhových situací, kdy se zatížení může podstatně lišit. Jde o stavy v průběhu výstavby (např. při konání tlakové zkoušky),

4.4 Výstavba potrubí, zohlednění ve výpočtu a kontrola provádění

Ve výpočtech jednotlivými metodami je různým způsobem zohledněno přizpůsobení tvaru lože, např. užitím odstupňovaného součinitele spolehlivosti výpočtu, modelováním kontaktního napětí v závislosti na uvažovaném úhlu uložení a na šířce úložné plochy. Běžně se rozlišují případy lože bez úprav, lože přizpůsobeného a lože tvarově pečlivě přizpůsobeného.

Jedním z rozhodujících prvků kvalitního provedení na stavbě je hutnění zeminy obsypu a zásypu. V závislosti na dosažených (resp. projektem požadovaných) hodnotách stupně zhutnění se ve výpočtu obvykle zjednodušeně uvažuje se třemi stupni: obsyp a zásyp bez hutnění, hutnění běžné a hutnění pečlivé za kvalifikovaného dozoru. Tato klasifikace s drobnými (spíše názvoslovnými) odchylkami se uplatňuje i zahraničních a evropských normách. Upozorňuje se, že při navrhování trasy v komunikaci se vždy uvažuje s pečlivým hutněním. Stupeň zhutnění má vedle druhu zeminy podstatný vliv na

uvažovanou velikost součinitele zemního tlaku pro boční - vodorovný účinek. S tím souvisí i další parametry zaváděné do výpočtu v závislosti na způsobu ochrany stěn rýhy pro potrubí a na postupu odstranění pažení.

Popisované výpočtové metody a postupy vycházejí ze zavedených standardních postupů provádění a samozřejmě nemohou zohlednit všechny možné chyby. Výpočty tedy nepostihují výrazné změny v napjatosti při jednostranném zasypávání potrubí, účinky velkých kamenů v obsypu, obvykle se nezabývají nerovnoměrným uložením ve směru osy potrubí a tedy napjatostí od tzv. nosníkového působení etc.

Především pro poddajná potrubí z plastů se požaduje nejen dohled na kvalitu prací po dobu stavby, ale i monitorování chování systému potrubí – zemina během výstavby a uvedení do provozu. Monitoring z pohledu spolehlivosti by měl zahrnovat následující opatření:

- pozorování a příp. měření ke zjištění chování potrubí během stavby tak, aby bylo možno rozeznat potřebu nápravných opatření, změn stavebních postupů apod. (deformace příčného tvaru, posuny potrubí, opěrných bloků, poruchy okolních staveb)
- měření ke zjištění a vyhodnocení dlouhodobého chování potrubí a jeho okolí (sedání povrchu terénu, sledování případných úniků, kamerové zkoušky)

Rozsah požadovaného monitoringu musí stanovit projektant po dohodě s provozovatelem (investorem).

5. Závěr

Potrubí jakéhokoliv typu je běžnou stavební konstrukcí, často bohužel nedocenenou z hlediska návrhu, statického výpočtu i provedení. Při dodržení řady výše popsaných zásad výpočtu a správně předepsaných postupů realizace se dosahuje stejné hladiny spolehlivosti jako pro jiné materiály nebo konstrukce. Z výše uvedeného je přitom patrné, že matematický model, který by vystihoval všechny popsané vlastnosti a byl dostatečně přesný, by byl velmi složitý, řešení by vedlo k vícenásobným soustavám diferenciálních rovnic a řada vstupních parametrů by přitom neměla dostatečnou přesnost. Potrubí uložené v zemi je přitom mnohokrát opakovanou konstrukcí, z pohledu praktického navrhování nezajímavou a i v oblasti statického posuzování vhodnou pro jednoduché postupy a typová řešení.

Pro statický výpočet se tedy běžně používají metody předpokládající pružnou odezvu konstrukce na zatížení skutečnost se aproximuje pružným modelem. Do výpočtu s užitím známých a běžných vztahů pak vstupují jako výpočtové hodnoty pevnosti, modulu pružnosti nebo mezní poměrné deformace parametry tzv. dlouhodobé, upravené pomocí součinitele podmínek působení času (resp. součinitele dotvarování)

Pro výpočet, který by byl v souladu s dnes všeobecně u nás a v celé Evropě přijímanou soustavou navrhování podle Eurokódů, dosud chybí jednotící předpis nebo norma, projektanti jsou tedy vesměs odkázáni na starší metody, doporučení výrobců a jiné postupy, které nejsou obvykle v souladu s požadavky Eurokódů. Z postupu normalizace i na úrovni CEN lze očekávat ještě řadu let trvání tohoto stavu. O to větší roli musí hrát návrh skutečně promyšlený z hlediska spolehlivosti i provádění a poté při výstavbě technický dozor stavby sledující soulad realizace s požadavky stanovenými projektem.

Souvisící literatura a normy

- (1) Kysela: Statika potrubí zasypaných v zemi. Rukopis knihy, 1990
- (2) Kysela: Zajištění maximální využitelnosti litinových tlakových trub. ÚTAM ČSAV, Praha, 1984 (1. až. 4. dílčí a Závěrečná zpráva)
- (3) Richtlinie für die statische Berechnung von Entwässerungskanalen und -leitungen. 2. Auflage. (Arbeitsblatt A 127 ATV), St. Augustin, 1988
- (4) ČSN EN 1295-1 (75 0210) Statické výpočty potrubí uloženého v zemi při různých zatěžovacích podmínkách. Část 1 – Všeobecné požadavky
- (5) Annex to prEN 1295-2 Strukturel design of buried pipelines – Connon CEN method. Materiál CEN / TC 164/165 JWG1/TG1 (N780E)
- (6) ČSN 72 1006 Kontrola zhutnění zemin a sypanin
- (7) ČSN 73 1001 Základová půda pod plošnými základy (zrušená)
- (8) ČSN 73 3050 Zemné práce. Všeobecné ustanovenia (zrušená)
- (9) TNV 75 0211 Navrhování vodovodního a kanalizačního potrubí uloženého v zemi – Statický výpočet (v revizi)
- (10) ČSN EN 1610 (75 6114) Provádění stok a kanalizačních přípojek a jejich zkoušení
- (11) ČSN EN 805 Vodárenství - Požadavky na vnější síť a jejich součásti
- (12) ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí
- (13) ČSN EN 1991 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí.
- (14) ČSN EN 1993-4-3 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí. Část 4.3: Zásobníky nádrže a potrubí - Potrubí
- (15) ČSN EN 1997-1 Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí. Část 1: Obecná pravidla
- (16) ČSN EN 1778 Charakteristické hodnoty pro svařované konstrukce z termoplastů – Stanovení dovoleného namáhání a modulů pro navrhování svařovaných dílů z termoplastů
- (17) ČSN EN 13244-1 a - 2 Plastové potrubní systémy uložené v zemi i nad zemí, pro tlakové rozvody vody pro všeobecné účely, kanalizační přípojky a stokové sítě – Polyethylen (PE) - Část 1: Všeobecně; Část 2: Trubky
- (18) ČSN EN 13480-3 Kovová průmyslová potrubí - Část 3: Konstrukce a výpočet
- (19) ČSN EN 13480-3 Kovová průmyslová potrubí - Část 6: Doplnkové požadavky na potrubí uložené v zemi