



**ZÁSADY STATICKÉHO POSOUZENÍ
BETONOVÝCH A ŽELEZOBETONOVÝCH TRUB
ULOŽENÝCH V ZEMI**

BETONIKA plus

V Zanikadlech 260, 277 06 Lužec nad Vltavou

IČO 60777133, DIČ 044-60777133

05. 2002

Obsah:

1. Úvod
2. Použitá metoda výpočtu
3. Rozhodující parametry a jejich kombinace
4. Materiály trub
5. Vyhodnocení výpočtů
6. Ukládání potrubí, postup a podmínky provádění

Dodatek - seznam použité literatury a norem

- Přílohy:
- Tabulky maximální výšky nadloží trub TBH a TZH
 - Katalogové vzorové listy uložení trub
 - Statické výpočty trub – samostatné svazky č. 1 - 14

1. Úvod

Zásady statického posouzení betonových a železobetonových trub uložených v zemi tvoří nedílnou součást souboru vzorových listů uložení a platí pro všechny trouby firmy BETONIKA plus, které mají stejný rozměr a vyztužení dříku.

Statické posouzení a vyhodnocení je zpracováno pro trouby z betonu a ze železového betonu a pro přesně dané podmínky provádění (kvalita prací, druh zeminy, atd.). vyráběné v daných rozměrech firmou BETONIKA plus. Výsledkem výpočtů je stanovení extrémních výšek krytí při uložení trub v zemi. Vzorové listy uložení trub v zemi jsou vypracovány na základě výpočtů, požadavků platných českých technických norem a standardního technologického postupu při ukládání trub do země.

Všechny výpočty jsou provedeny metodou mezních stavů v souladu s platnou soustavou českých technických norem řady ČSN. Hodnoty zatížení a součinitelů spolehlivosti zatížení, pevnostní a přetvárné charakteristiky materiálů, součinitele jejich spolehlivosti i metoda mezního přetvoření železobetonových průřezů tedy odpovídají požadavkům a předpokladům ČSN 73 0031 jako základní normy pro spolehlivost stavebních konstrukcí. Upozorňuje se, že při posuzování trub pomocí metody dílčích součinitelů podle řady implementovaných mezinárodních norem ČSN P ENV (tzv. Eurokódů) je třeba všechny výše uvedené parametry výpočtu uzpůsobit jiné hladině spolehlivosti zavedené touto soustavou.

Výrobce si vyhrazuje změny tvaru, materiálu i vyztužení a na ně navazující změny ve statických výpočtech a podmínkách užití.

2. Použitá metoda výpočtu

Výpočty všech trub byly provedeny v návrhové situaci nejnepříznivější v době životnosti trub v zemi.

- **návrhová situace potrubí uloženého v zemi před konsolidací obsypu a zásypu, resp. po opravě, se zatížením povrchu kolovými tlaky návrhového vozidla. Porovnávají se vnitřní síly s interakčním diagramem M/N. Ten je vypočten s užitím standardních hodnot výpočtových pevností betonu a oceli.**

Výpočet zatížení respektující metodu mezních stavů vychází z teorie zemních tlaků působících na potrubí zasypané v zemi. Rozdělení zemních tlaků obsypu na potrubní prstencec a další vlivy na statické chování výpočtového modelu jsou popsány zejména v [1] a v dalších pracích zde citovaných.

Na základě těchto teoretických podkladů byl upraven výpočtový model s určením zemních tlaků - kontaktních napětí na styku zeminy s potrubním prstencem. S ohledem na tuhé chování železobetonových trub se neuvažuje s redistribucí sil v důsledku přetvoření trubního prstence.

Teorie zahrnuje i vliv tzv. nosíkového působení potrubí, které ale je významné zejména u malých průměrů. Toto nosíkové působení nebylo zavedeno do provedených výpočtů a je třeba si uvědomit, že vypočtené hodnoty budou praxí zčásti degradovány právě v důsledku nerovnoměrného uložení po délce potrubí. Tento vliv však u potrubí DN > 300 mm hraje jen nepatrnou roli.

Extrémní kombinace vnitřních sil jsou stanoveny na kruhovém uzavřeném rámu. Rozhodujícím stavem pro posouzení je období konsolidace zeminy po provedení obsypu a zásypu. Upozorňuje se, že k tomuto stavu systému, potrubí - zemina, může dojít i po dlouhé době od zabudování, např. v důsledku opravy.

Změnou ve výpočtovém schématu lze případně zohlednit i vliv tzv. **rýhového působení**. Rozdíl proti násypovému zatížení je však významný pouze u velmi úzkých rýh vzhledem k průměru potrubí, kdy naopak bývá obtížné kvalitní zhutnění po bocích potrubí.

3. Rozhodující parametry a jejich kombinace

Významnou měrou se na výsledcích výpočtu podílejí:

- materiál a jeho charakteristiky
- geometrické a průřezové charakteristiky trubek
- vlastnosti zeminy obsypu i zásypu
- kvalita hutnění
- kvalita uložení potrubí na lože
- zatížení povrchu terénu

a) **Materiál a geometrické vlastnosti trubek** jsou uvedeny v katalogu firmy, vlastnosti betonu a oceli jsou blíže popsány v samostatné kapitole.

b) **Vlastnosti zeminy obsypu i zásypu** jsou vyjádřeny zejména objemovou hmotností, efektivní hodnotou úhlu vnitřního tření a hodnotou součinitele vyjadřujícího vliv rychlosti konsolidace a kvality hutnění.

Pro účely této práce se jako reprezentativní uvažovaly v našich poměrech běžně zastizitelné zeminy použité pro obsyp a zásyp:

zeminy hlinitopísčité - nejběžnější, se střední rychlostí konsolidace

Symbolické označení zeminy a zařídění podle ČSN 731001 je v tomto případě MS – F3, obdobné vlastnosti mají zeminy nesoudržné SM – S4.

c) Kvalita zhutnění -

zjednodušeně lze základní představu o hutnění popsat pomocí číselných ukazatelů takto:

- **hutnění pečlivé za stálého dozoru**

v nesoudržných zeminách dosaženo $I_D > 0.80$

v soudržných zeminách $D > 95 \%$

- **hutnění běžné**

v nesoudržných zeminách $0.70 < I_D < 0.80$

v soudržných zeminách $85 \% < D < 95 \%$

kde I_D - relativní hutnost (index relativní ulehlosti),

D - součinitel zhutnění - vyjadřuje poměr objemových hmotností (zkouška Proctor Standard)

Pro statický výpočet bylo uvažováno s **hutněním pečlivým za dozoru při ukládání v komunikaci**. Předpokládá se tedy hutnění po vrstvách v oblasti obsypu mocnosti nejvýše 150 mm, v zásypu nad obsypem nejvýše po 300 mm, v závislosti na hutnicím mechanismu.

Ve volném terénu bylo uvažováno s hutněním běžným.

d) **Kvalita uložení potrubí na lože** je dána velikostí úhlu uložení (středový úhel kontaktu trouba – zemina lože), a tím i rozložením reakce podloží:

- **tvár lože velmi pečlivě přizpůsobený** - úhel uložení $\alpha > 90^\circ$
- **lože tvarově přizpůsobené** - úhel uložení $30^\circ < \alpha < 90^\circ$ (výpoč. 60°)
- **lože bez úprav** - úhel uložení $\alpha < 30^\circ$
- **lože betonové, beton B 15** - úhel uložení $\alpha = 120^\circ$

Ve výpočtu se uvažuje pro trouby v komunikaci s **ložem tvarově přizpůsobeným, velmi pečlivě přizpůsobeným a betonovým**. Pro trouby ve volném terénu se ve výpočtu se uvažuje s **ložem bez úprav, s ložem tvarově přizpůsobeným, a betonovým**.

e) **Zatížení povrchu terénu** je dané jeho typem, resp. třídou. Uvažuje se s vedením odpadního (kanalizačního) potrubí:

- v **pozemní (silniční) komunikaci třídy A** s extrémním zatížením kolovým tlakem návrhového vozidla (ČSN 73 6203) v hodnotě 120 kN
- **ve volném terénu** s uvažováním kolového tlaku 30 kN od náhodného pojezdu, pro účely výpočtu se zatížení simuluje navýšením krytí potrubí

Typ terénu má rovněž vliv na určení tzv. **výpočtové hloubky** uložení potrubí v závislosti na použité metodě výškového zaměření terénu v trase potrubí. Uvažuje se s užitím přesnější nivelace v komunikaci, tedy s chybou při stanovení hloubky potrubí z podélného profilu do 0,05 m. Ve volném terénu se uvažuje s běžnou tachymetrií.

4. Materiály trub

Geometrické parametry vyráběného potrubí byly převzaty z výrobních katalogů, parametry pro výpočet byly stanoveny tak, aby byly v souladu se soustavou norem platných v ČR, zejména pak ČSN 73 1201.

Parametry betonu tř. B45

Objemová hmotnost	$\gamma_n = 2600 \text{ kg/m}^3$
Základní modul pružnosti	$E_{b0} = 37,5 \text{ Gpa}$
Normová pevnost v tlaku	$R_{bn} = 32,0 \text{ Mpa}$
Normová pevnost v tahu	$R_{btn} = 2,20 \text{ MPa}$
Výpočtová pevnost v tlaku	$R_{bd} = 25,0 \text{ MPa}$
Výpočtová pevnost v tahu	$R_{btd} = 1,45 \text{ MPa}$

Hodnoty jsou uvažovány v souladu s ČSN 73 1201 a ČSN 73 1205, resp. s ČSN 73 2400.

U nevyztužených trub TBH z prostého betonu byl uplatněn, vzhledem k rozhodujícímu kritériu porušení průřezu tahem, součinitel γ_{bg} (viz. ČSN 73 1201), v hodnotě pro prostý ohyb 1,75 (pro tlakovou normálovou sílu se ještě zvyšuje, zde na cca 1,80)

Parametry oceli 10 505 (R)

Modul pružnosti krátkodobý	$E_s = 210 \text{ Gpa}$
Pevnost normová v tlaku a tahu	$R_{sn} = 490 \text{ Mpa}$
Pevnost výpočtová v tahu	$R_{sd} = 450 \text{ MPa}$
Pevnost výpočtová v tlaku	$R_{scd} = 420 \text{ MPa}$

Parametry oceli se uvažují rovněž v souladu s ČSN 73 1201

Pro jednotlivé vyztužené trouby TZH byly výpočtem k dané geometrii, uvažováno toto vyztužení

DN	t [mm]	Vyztužení šroubovicí
300	65	$\Phi \text{ R6/140 mm}$
400	75	$\Phi \text{ R6/120 mm}$

500	85	Φ R6/100 mm
600	100	Φ R6/80 mm
800	130	Φ R8/80 mm
1000	120	Φ R8/77 mm
1200	150	Φ R8/60 mm

5. Vyhodnocení výpočtů

Výsledky výpočtu potvrdily předpokládané zvýšení použitelnosti železobetonových trub oproti troubám z prostého betonu při uložení do země. Zvláště pak při ukládání na lože pečlivě upravené 90° a lože betonové 120° mají trouby velkou rezervu únosnosti, která vzhledem k technologickému omezení maximální hloubky rýhy výkopu, bude využita spíše vyjíměčně. Výpočet vnitřních sil byl proveden na rovinném prutovém modelu pomocí programového balíku FIN 10, verze FIN 2D. Interakční diagramy vycházející z metody mezního přetvoření podle ČSN 73 1201 jsou vypracovány programem BET1MN. Oba uvedené programy jsou produktem firmy FINE Software, Praha.

Pro vypočtený interakční diagram u nevytuzených trub TBH byla navíc ověřena hodnota momentu na mezi únosnosti při prostém ohybu a součinitele $\gamma_{bg}=1,75$.

Zatížení při uložení v zemi tvoří rovnovážný systém kontaktních napětí – zemních tlaků, určený pomocí samostatného algoritmu podle citovaných podkladů. Reakce uložení byly při výpočtu FIN 2D upraveny tak, aby platila výminka rovnováhy ve svislém směru a aby byl zohledněn způsob a kvalita provedení.

Jako rozhodující vnitřní síly byly posuzovány:

- kombinace tlakové normálové síly a ohybového momentu (tlak s velkou výstředností) v patě potrubí a v případě betonového sedla na boku potrubí. Tahová oblast u vnitřního líce.
- kombinace tlakové normálové síly a ohybového momentu (tlak s velkou výstředností) na bocích prstence. Tahová oblast u vnějšího líce.

Z průběhů vnitřních sil je patrné, že k porušení dojde buď na bocích prstence, a to pro trouby na betonovém sedle, nebo v patě potrubí, a to pro trouby na loži tvarovaném ze zeminy. Kombinace rozhodujících vnitřních sil byly přeneseny do interakčních diagramů a posouzeny. Iteračními výpočty, kdy bylo měněno zatížení zeminou, byla pak vyhledána maximální výška krytí zeminou. Využití únosnosti průřezu trouby bylo voleno cca 95 %, což je vzhledem k dosažitelné přesnosti skutečného provedení potrubí v zemině postačující. Výsledky jsou uvedeny v příložené tabulce, maximální výška krytí však byla v katalogových listech a tabulce z technologických důvodů provádění výkopu omezena na 7,5 m. Při pečlivém provedení lože a loži betonovém však trouby výpočtově vyhoví i na vyšší krytí zeminou.

Počítány byly tyto případy pro hlinitopísčitou běžnou zeminu:

- 1.trouba v komunikaci třídy A, lože běžně upravené (60 °)
- 2.trouba v komunikaci třídy A, lože pečlivě upravené (90 °)
- 3.trouba v komunikaci třídy A, lože betonové (120 °)
- 4.trouba ve volném terénu, lože bez úprav (30 °)
- 5.trouba ve volném terénu, lože běžně upravené (60 °)
- 6.trouba ve volném terénu, lože betonové (120 °)

Ostatní případy předkládaný materiál neřeší a je nutné řešit je individuálním výpočtem.

Ukládání potrubí, postup a podmínky provádění

Trouby se po výrobě přepraví na staveniště při dodržení podmínek pro transport, které udává výrobce. Trouby z prostého i železového betonu lze podle místních podmínek ukládat do rýhy svahované i pažené.

Při vlastním ukládání do země musí být dodrženy následující požadavky:

- tvar rýhy (zářezu) pro potrubí musí být udán projektem, který přitom vyřeší i stabilitu zemního tělesa (sklony svahů, resp. pažení) na základě dostatečného inženýrsko geologického průzkumu
- dno výkopu musí být odvodněné, pod vrstvou lože se nesmí nacházet lokální velké balvany, přechod mezi různě se chovajícími typy podloží (např. skála – zemina) se upraví podle projektu. Vzorové listy zobrazují řešení bez vlivu podzemní vody.
- trouby se ukládají na hotové a tvarově upravené lože, nejčastěji ze štěrkopísku. Lože musí být urovnáno v požadovaném podélném sklonu a ve výšce podle projektované nivelety potrubí, v příčném směru se upraví podle požadovaného úhlu uložení např. pomocí tažené šablony
- lože se lokálně uzpůsobí pro hrdla trub až při vlastním kladení (prohloubení jamky minimální nutné délky
- při pokládce na betonové sedlo jsou dvě varianty, buď se nejdříve instaluje potrubí, podloží se betonovými prazci nebo se podložky vytvarují ze suché betonové směsi a pak se provede betonáž sedla a nebo se sedlo vytvaruje před pokládkou celé a potrubí se instaluje dodatečně. V případě použití litého betonu je třeba zajistit potrubí proti vyplavání a ke straně pažení vložit distanční vložku (např. PPS), aby šlo pažení lépe vytáhnout nebo lze pažení povytáhnout před betonáží. V případě sedla ze suchého betonu postačí provést sedlo pouze pod troubou a prostor u pažení nechat volný.
- při pokládce nesmí dojít ke znečištění vnitřního líce hrdla s integrovaným těsněním
- po zasunutí hladkého konce následující trouby a kontrole směru a výšky se zasype jamka pod hrdlem a lokálně se zhutní (udusá)
- obsyp se provádí po vrstvách o mocnosti cca 150 mm, které se průběžně hutní na projektem požadovanou hodnotu. Pozornost je třeba věnovat zejména vyplnění a zhutnění prostoru pod boky potrubí (klíny), zasypávání a hutnění musí probíhat souběžně na obou stranách trub, jednostranné zasypávání nebo zahrnutí trub se výslovně zakazuje
- vrstvy obsypu bezprostředně nad vrcholem potrubí se musí hutnit tak, aby nedošlo k porušení vlastních trub. Doporučuje se používat těžší mechanizaci přímo nad vrcholem až při mocnosti cca 300 mm
- další vrstvy zásypu je obvykle možné provádět po vrstvách mocnosti až 300 mm, s hutněním na projektem předepsanou hodnotu. Projekt předepíše i požadovanou kontrolu zhutnění
- pro obsyp se přednostně použijí zeminy typu hlinitých písků nebo štěrkopísků. Materiál nesmí obsahovat kameny a balvany, zejména ostrohranné. Při provádění obsypu musí být zajištěno odvodnění podzemní vody tak, aby nedošlo k rozbředání nasypávaných vrstev
- další požadavky na provádění a zkoušení potrubí uloženého v zemi jsou uvedeny v níže citovaných normách, zejména pak v ČSN EN 1610 (75 6114) a v ČSN 75 0909
- pro výstavbu objektů na řadech a stokách (např. šachty) a pro pomocné prvky potrubí (např. betonová sedla, obetonování apod.) musí projekt předepsat podmínky provádění tak, aby nedošlo k poškození trub. Zvláštní pozornost musí být věnována potrubí během případného obetonování z hlediska stability jeho polohy. Při užití tekutých betonových směsí musí být vždy směrová i výšková poloha jednotlivých trub zajištěna spolehlivým kotvením.

Dodatek - seznam použité literatury a norem

- [1] Kysela - Statika potrubí zasypaných v zemi. Autorský rukopis knihy, 1990
- [2] Richtlinien für die statische Berechnung von Entwässerungskanalen und – leitungen.
2.Aufgabe. (Arbeitsblatt A 127 ATV), St.Augustin, 1988
- [3] Fascicule 70:1992 Ouvrages d'assainissement. Cahier des clauses techniques générales applicables aux marchés publics de travaux. Paris, 1992
- [4] Structural design of buried pipelines – Common CEN method. Working dokument CEN/TC 165 (preliminary draft) pr EN 1292 – 2. 1999
- [5] ÖNORM B 5012 Teil 1 Statische Berechnung erdverlegter Rohrleitungen im Siedlungs- und Industrierwasserbau. Grundlagen.
- [6] Tichý - Dobr: Mezní stavy stavebních konstrukcí. Komentář k ČSN 73 0031. Praha, ÚNM 1986.
- [7] Betonové a železobetonové trouby BETONIKA plus –vykresy tvaru a výztuže - SPRing, 1999
- [8] Výrobní program závodu BETONIKA plus s.r.o., Lužec nad Vltavou 2001.
- ČSN EN 1295-1 (75 0210) Statický návrh potrubí uloženého v zemi pro různé zatěžovací podmínky. Část 1: Všeobecné požadavky
- ČSN 72 1001 Pomenovanie a opis hornín v inženiárskej geológii
- ČSN 72 1006 Kontrola zhutnění zemin a sypanin
- ČSN 72 3149 Navrhovanie betónových rúr (1985)
- ČSN 73 0031 Spolehlivost stavebních konstrukcí a základových púd.
Základní ustanovení pro výpočet.
- ČSN 73 0033 Spolehlivost stavebních konstrukcí a základových púd.
Základní ustanovení pro výpočet
- ČSN 73 0035 Zatížení stavebních konstrukcí
- ČSN 73 0037 Zemní tlak na stavební konstrukce
- ČSN 73 1001 Základová půda pod plošnými základy
- ČSN 73 1201 Navrhování betonových konstrukcí
- ČSN 73 1205 Betonové konstrukce. Základní ustanovení pro navrhování
- ČSN 73 1208 Navrhování betonových konstrukcí vodohospodářských objektů
- ČSN 73 1209 Vodostavebný betón
- ČSN 73 2400 Provádění a kontrola betonových konstrukcí
- ČSN 73 3050 Zemné práce. Všeobecné ustanovenia.
- ČSN 75 6909 Zkoušky vodotěsnosti stok
- ČSN EN 206 (73 2403) Beton – Vlastnosti, výroba, ukládání a kritéria hodnocení
- ČSN EN 1610 (75 6114) Provádění stok a kanalizačních přípojek a jejich zkoušení (1999)
- ČSN EN 476 (75 6301) Všeobecné požadavky na stavební dílce stok a kanalizačních přípojek gravitačních systémů (1999)
- ČSN EN 639 (72 3142) Společné požadavky na betonové trouby, včetně spojů a tvarovek
- ČSN EN 640 (72 3143) Železobetonové tlakové trouby a tlakové trouby s rozptýlenou výztuží (bez plechové válcové vložky), včetně spojů a tvarovek
- ČSN EN 641 (72 3144) Železobetonové tlakové trouby s plechovou válcovou vložkou, včetně spojů a tvarovek
- ČSN EN 642 (72 3145) Tlakové trouby z předpjatého betonu s plechovou válcovou vložkou a bez plechové válcové vložky, včetně spojů a tvarovek a zvláštní požadavky na předpínací výztuž pro trouby
- TNV 75 0211 Navrhování vodovodního a kanalizačního potrubí uloženého v zemi – statický výpočet. Mze ČR, 2000