Problematika navrhování budov na pozemcích, pod nimiž vedou liniové stavby

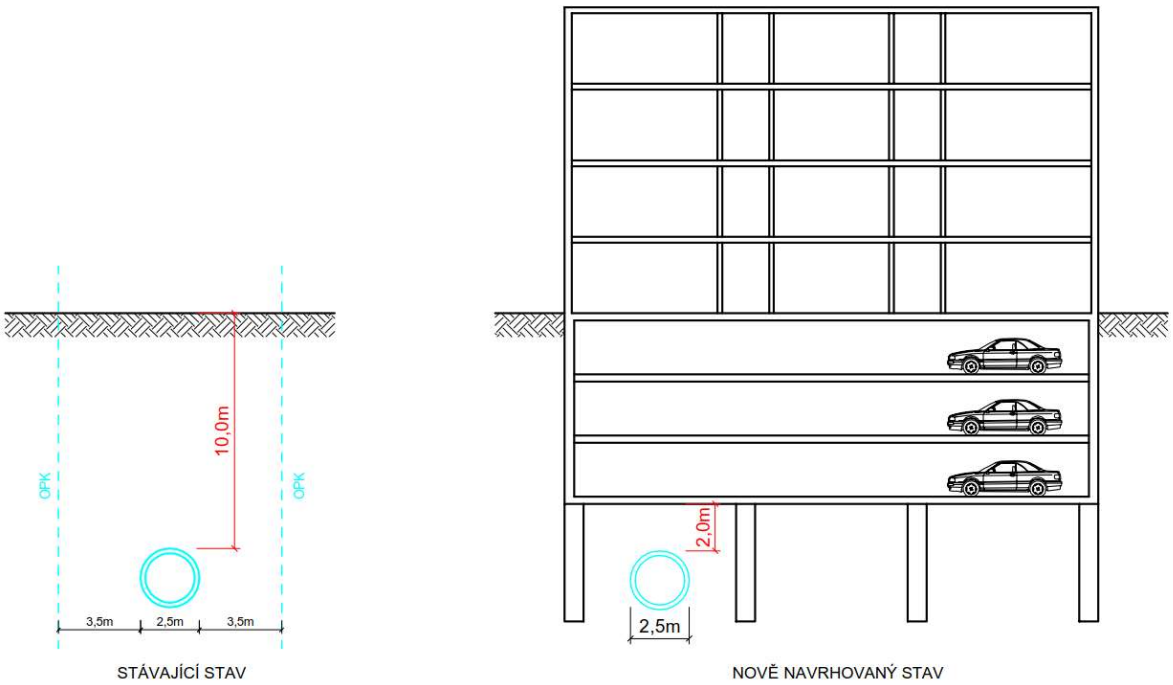
Ing. Michal Sedláček, Ph.D.

Klasický příklad z praxe

Projektant navrhne bytový dům na pozemku, pod nímž se nachází kanalizační stoka (popř. jiná podzemní liniová stavba). Aby nedošlo k přitížení stávající kanalizační stoky nově navrhovanou stavbou, je základová deska bytového domu uvažována jako bodově podepřená na pilotách. Piloty přenesou zatížení ze základové desky mimo kanalizační stoku, základová deska bude působit jako "stropní" a v provozním stavu se očekává nulové kontaktní napětí v základové spáře.

Projektant předpokládá, že když dříve bylo nadloží 10 m a nový stav uvažuje s nadložím pouze 2,0 m, tak v podstatě dojde k "odlehčení" stávající kanalizační stoky od horninového tlaku a z tohoto důvodu není nutné se kanalizační stokou dále zabývat, tzn. ověřit její únosnost na nově vzniklé okrajové podmínky. To je ovšem zcela zásadní omyl !

Jak bude následně ukázáno na příkladu, tak pokud se výška nadloží sníží z deseti metrů na dva metry, dojde k nárůstu zatížení od horniny na stávající kanalizační stoku o 259 % (tzn. 2,59 krát více) oproti původnímu stavu. Tato skutečnost je dána ztrátou tzv. horninové klenby.

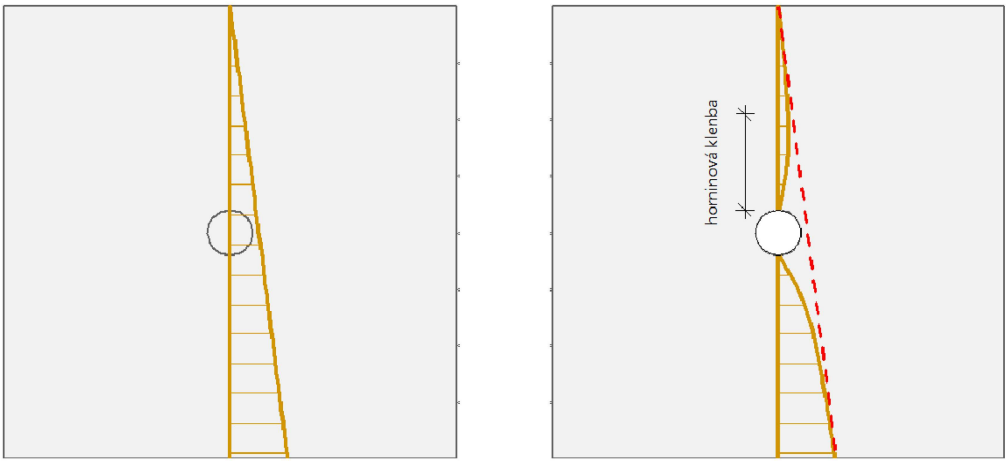


Obr. 1 Změna okrajových podmínek

Něco málo o horninové klenbě

Při stanovení zatížení na liniové podzemní objekty, které jsou vybudovány ražením (bez odstranění nadloží), jsou zcela zásadní dva parametry, výška nadloží a geotechnické parametry horninového prostředí v němž ražba probíhá. Pokud je výška nadloží dostatečná a horninové prostředí má vhodné geotechnické parametry, potom lze horninové zatížení působící na ražený objekt redukovat, neboť dojde ke vzniku horninové klenby. Podle ČSN 73 7501 Navrhování konstrukcí ražených podzemních objektů [4] (dále jen ČSN 73 7501) lze tuto redukci zatížení provést podle různých hypotéz (M. M. Protodjakonov, K. Terzaghi, A. Bierbaumer).

Pokud je však výška nadloží nedostatečná, nelze zatížení redukovat a je nutné uvažovat plnou tíhu nadloží, neboť nejsou splněny podmínky pro vytvoření horninové klenby.



Obr. 2 Vznik horninové klenby při numerickém modelování

Početní příklad

Projektant má navrhnout bytový dům na pozemku, pod nímž vede ražená kanalizační stoka. Ochranné pásmo stoky je dáno Zákonem o vodovodech a kanalizacích. Z důvodu maximálního využití pozemku jsou navrženy 3 podzemí podlaží (garáže) a 4 nadzemní podlaží (byty). Stávající výška nadloží nad stokou je 10,0 m. Nové navrhovaná výška nadloží nad stokou je 2,0 m. Pro jednoduchost uvažujme, že horninové prostření je homogenní a je tvořeno různě tvrdými břidlicemi.

<u>Zatížení na ražený objekt s nadložím 10,0 m:</u>

Vzhledem k dostatečné výšce nadloží je možné použít klenbovou teorii M. M. Protodjakonova, vstupní data horninového prostředí: f_p = 3,0 (různě tvrdé břidlice), φ_p = 70°, γ = 24,5 kN/m^3.

- výška horninové klenby h_k je dána vztahem:

$$h_k = b_k/(2 \cdot f_p) = 2{,}98/(2 \cdot 3{,}0) = 0{,}50\ m$$

- výpočtové svislé zatížení působící na stoku:

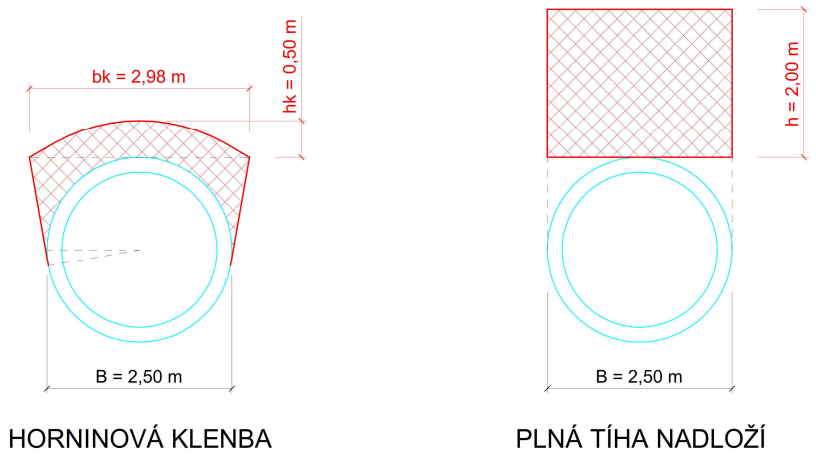
$$f_d = f_k \cdot \gamma_f = \gamma \cdot h_k \cdot \gamma_f = 24{,}5 \cdot 0{,}5 \cdot 1{,}7 = 20{,}83\ kN/m^2$$

Zatížení na ražený objekt s nadložím 2,0 m:

Vzhledem k nízké výšce nadloží musí být uvažováno s plnou tíhou nadloží.

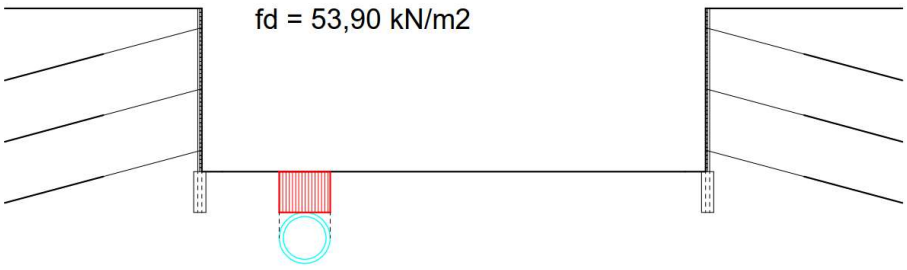
- výpočtové svislé zatížení působící na stoku:

$$f_d = f_k \cdot \gamma_f = \gamma \cdot h \cdot \gamma_f = 24{,}5 \cdot 2{,}0 \cdot 1{,}1 = 53{,}90\ kN/m^2$$



Obr. 3 Vliv ztráty horninové klenby

Hodnota výpočtového svislého zatížení s výškou nadloží 2,0 m je cca 2,6 krát větší než při původní výšce nadloží 10,0 m.



Obr. 4 Zatížení horninou

Další nová zatížení působící na kanalizační stoku

Pro úplnost jsou dále uvedena některá zatížení, která působí na kanalizační stoku ve stavebním stavu.

Pásové rypadlo

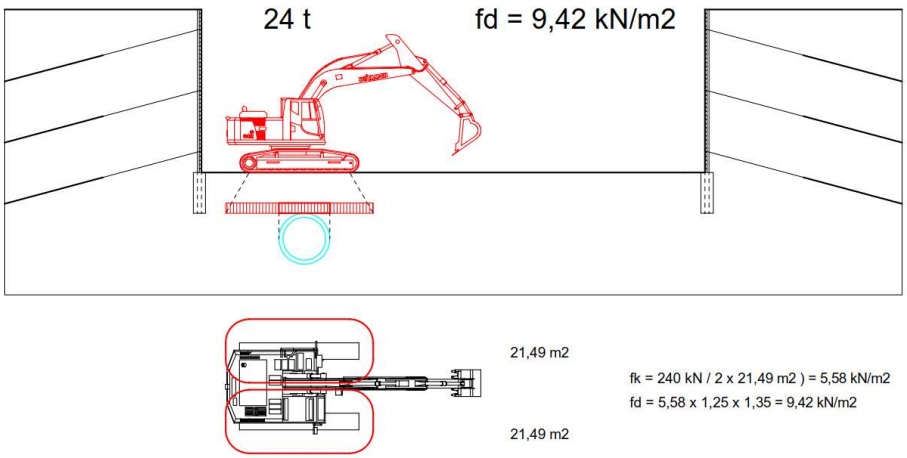
Je uvažováno přitížení povrchu dna stavební jámy pásovým rypadlem o celkové hmotnosti 24 tun (Komatsu PC240). Podle ČSN EN 1991-2 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 2: Zatížení mostů dopravou [1] (dále jen ČSN EN 1991-2) je roznášecí úhel pro zatížení uvažován hodnotou 30° od svislé roviny, roznášecí plocha v úrovni referenční roviny je 2 x 21,49 m^2 = 42,98 m^2.

Podle ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí [2] (dále jen ČSN EN 1990), Příloha A2, Použití pro mosty pozemních komunikací, součinitel zatížení pro proměnné zatížení γ_Q = 1,35.

Pásové rypadlo je uvažováno, v souladu s ČSN EN 1991-2, jako model zatížení 3 (zvláštní vozidla LM3), předpokládá se pohyb vozidla nízkou rychlostí, tzn. rychlostí menší než 5 km/h → dynamický součinitel by tedy mohl být uvažován hodnotou φ = 1,00. Avšak vzhledem k předpokládaným dynamickým rázům souvisejícím s rozrušováním horniny zubovou lžící je uvažován dynamický součinitel hodnotou φ = 1,25.

$$f_d = f_k \cdot \gamma_Q \cdot \varphi = \left(\frac{240}{42{,}98}\right) \cdot 1{,}35 \cdot 1{,}25 = 9{,}42\ kN/m^2$$

V blízkosti stoky se nepředpokládá použití rozrývacího trnu ani hydraulického kladiva.



Obr. 5 Zatížení pásovým rypadlem

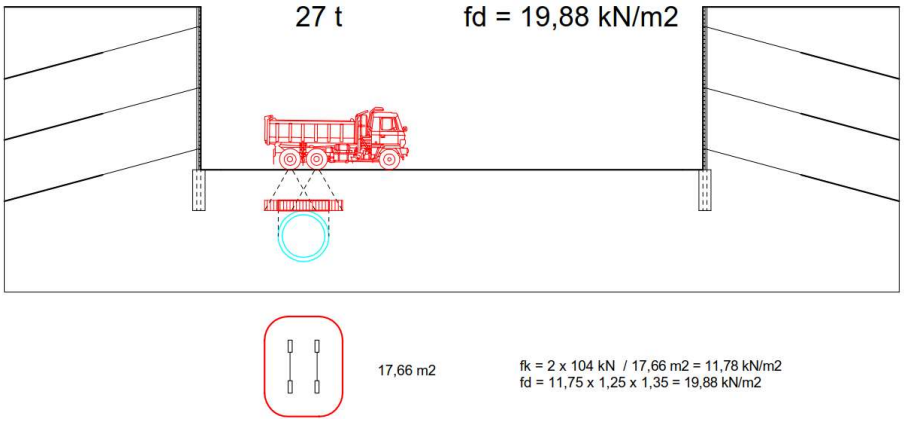
Nákladní automobily - odvoz zeminy

Je uvažováno přitížení povrchu dna stavební jámy nákladním automobilem o celkové hmotnosti 27 tun (Tatra 815 S3). Podle ČSN EN 1991-2 je roznášecí úhel pro zatížení uvažován hodnotou 30° od svislé roviny, roznášecí plocha v úrovni referenční roviny je 17,66 m^2.

Podle ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí [2] (dále jen ČSN EN 1990), Příloha A2, Použití pro mosty pozemních komunikací, součinitel zatížení pro proměnné zatížení γ_Q = 1,35.

Nákladní automobil je uvažován, v souladu s ČSN EN 1991-2, jako model zatížení 3 (zvláštní vozidla LM3), předpokládá se pohyb vozidla normální rychlostí, tzn. rychlostí větší než 5 km/h → dynamický součinitel je uvažován hodnotou φ = 1,25.

$$f_d = f_k \cdot \gamma_Q \cdot \varphi = \left(\frac{2x104}{17,66}\right) \cdot 1,35 \cdot 1,25 = 19,88\ kN/m^2$$



Obr. 6 Zatížení nákladními automobily pro odvoz zeminy

Vrtná souprava

Je uvažováno přitížení povrchu dna stavební jámy vrtnou soupravou pro odvrtání pilot o celkové hmotnosti 80 tun (Bauer BG 25). Podle ČSN EN 1991-2 je roznášecí úhel pro zatížení uvažován hodnotou 30° od svislé roviny, roznášecí plocha v úrovni referenční roviny je 2 x 19,95 m2 = 39,90 m^2.

Podle ČSN EN 1990, Příloha A2, Použití pro mosty pozemních komunikací, součinitel zatížení pro proměnné zatížení γ_Q = 1,35.

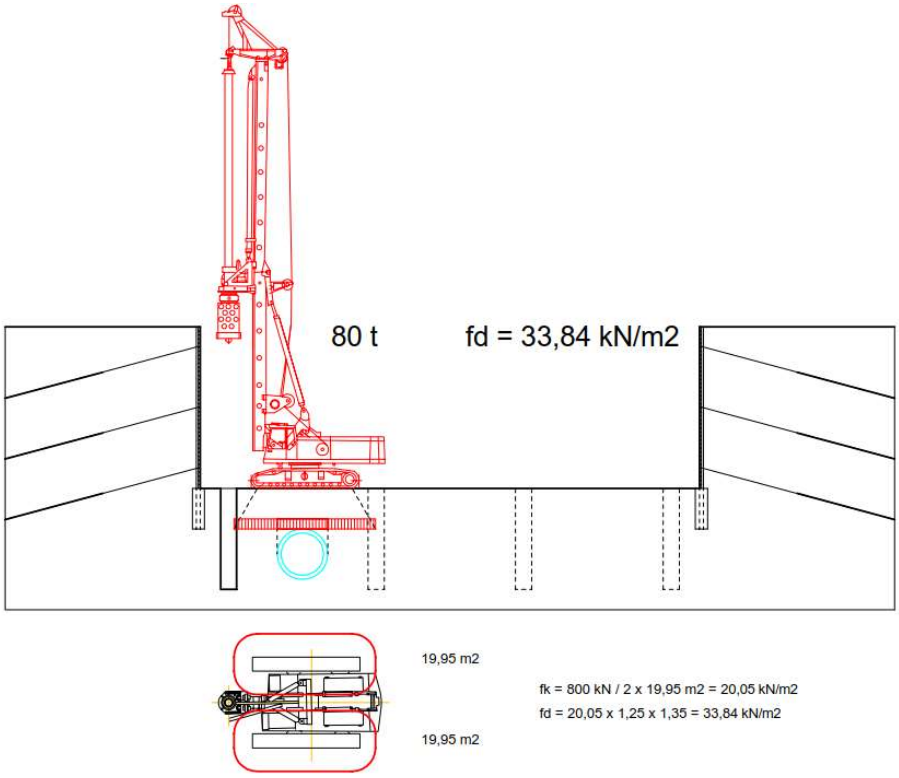
Vrtná souprava je uvažována, v souladu s ČSN EN 1991-2, jako model zatížení 3 (zvláštní vozidla LM3), předpokládá se pohyb vozidla nízkou rychlostí, tzn. rychlostí menší než 5 km/h → dynamický součinitel by tedy mohl být uvažován hodnotou φ = 1,00. Avšak vzhledem k

předpokládaným dynamickým rázům souvisejícím s rotačně-náběrovým vrtáním je uvažován dynamický součinitel φ = 1,25.

$$f_d = f_k \cdot \gamma_Q \cdot \varphi = \left(\frac{800}{39{,}90}\right) \cdot 1{,}35 \cdot 1{,}25 = 33{,}84\ kN/m^2$$

V blízkosti stoky se nepředpokládá použití nárazového vrtání (hornina je rozrušována ponorným kladivem uvnitř vrtu), ani rázového či vibračního režimu (beranění, zatloukání pilot).

Z důvodu omezení plášťového tření u pilot v blízkosti stoky bude provedena jejich separace. Tímto opatřením se eliminuje účinek smykového tření od pilot na stoku a dále při budoucí rekonstrukci stoky nedojde k ohrožení stability budovy.



Obr. 7 Zatížení vrtnou soupravou

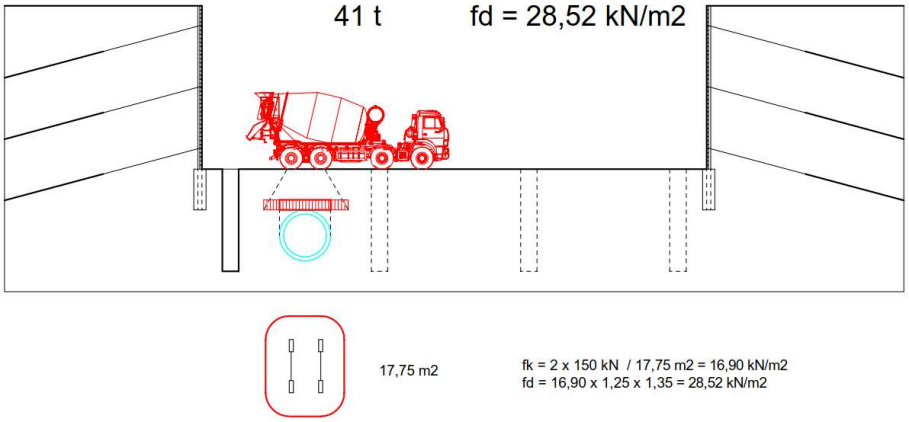
Nákladní automobily - autodomíchávače betonu

Je uvažováno přitížení povrchu dna stavební jámy nákladním automobilem o celkové hmotnosti 41 tun (MAN TG 41.400). Podle ČSN EN 1991-2 je roznášecí úhel pro zatížení uvažován hodnotou 30° od svislé roviny, roznášecí plocha v úrovni referenční roviny je 17,66 m^2.

Podle ČSN EN 1990, Příloha A2, Použití pro mosty pozemních komunikací, součinitel zatížení pro proměnné zatížení γ_Q = 1,35.

Nákladní automobil je uvažováno, v souladu s ČSN EN 1991-2, jako model zatížení 3 (zvláštní vozidla LM3), předpokládá se pohyb vozidla normální rychlostí, tzn. rychlostí větší než 5 km/h → dynamický součinitel je uvažován hodnotou φ = 1,25.

$$f_d = f_k \cdot \gamma_Q \cdot \varphi = \left(\frac{2x150}{17{,}75}\right) \cdot 1{,}35 \cdot 1{,}25 = 28{,}52\ kN/m^2$$

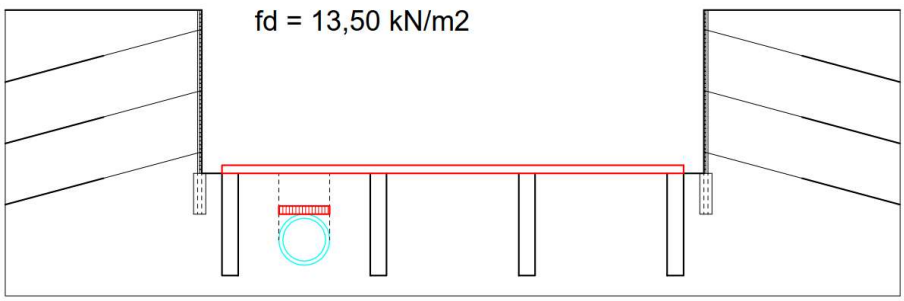


Obr. 8 Zatížení nákladními automobily pro betonáž

Základová deska - stavební stav

Při postupu stavebních prací nastane okamžik, kdy při betonáži základové desky bude "čerstvá" betonová směs přitěžovat stávající stoku. Při tloušťce desky 0,4 m bude hodnota přitížení dána vztahem:

$$f_d = f_k \cdot \gamma_f = 0{,}4 \cdot 25{,}0 \cdot 1{,}35 = 13{,}50\ kN/m^2$$



Obr. 9 Zatížení "čerstvým" betonem

Vyhodnocení intenzit nově působících zatížení

Při zohlednění změny okrajových podmínek dojde k několikanásobnému přitížení stávající konstrukce stoky. Teoreticky by bylo možné, po dohloubení na základovou spáru, vytyčit nad stokou bezpečnostní koridor se zákazem pohybu staveništní mechanizace. Dále by bylo teoreticky možné odstranit přitížení stoky čerstvým betonem použitím filigránových panelů.

Jak je však patrné z uvedeného porovnání, tak rozhodující přitížení je způsobeno ztrátou horninové klenby.

Stávající stav

		kN/m2	%
ZS1	hornina - horninová klenba	**20,83**	100

Nově navrhovaný stav

		kN/m2	%
ZS1	hornina - plná tíha nadloží	**53,90**	259
ZS2	pásové rypadlo	9,42	45
ZS3	NA odvoz zeminy	19,88	95
ZS4	vrtná souprava	33,84	162
ZS5	NA autodomíchávače betonu	28,67	138
ZS6	základová deska (stavební stav)	13,50	65
KZS 1	ZS1 + ZS6	67,40	324
KZS 2	ZS1 + filigránové desky ~~ZS6~~	53,90	259

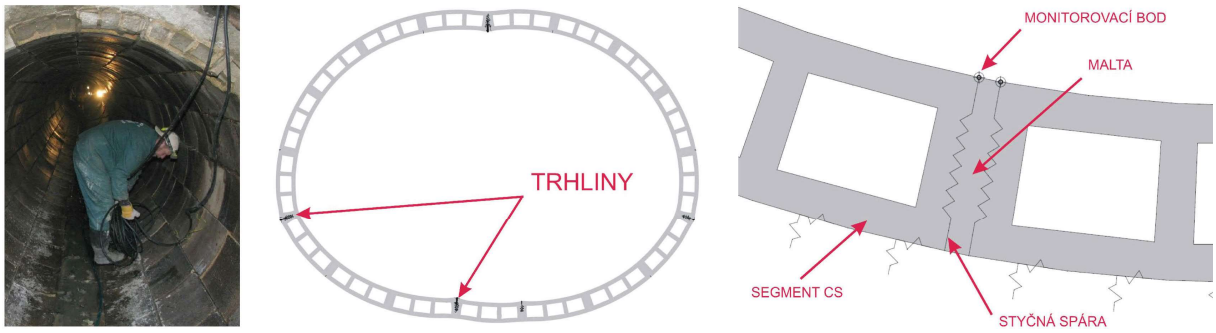
Tab. 1 Svislé návrhové (dříve výpočtové) zatížení v úrovni referenční roviny

Příklady ověření únosnosti zděných stok

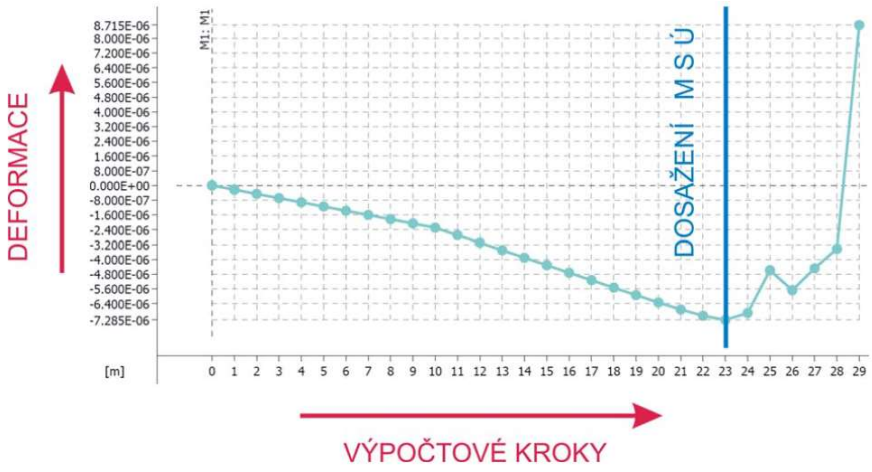
Níže jsou uvedeny tři příklady posouzení kanalizačních stok a možný způsob jejich numerického modelování pomocí programu ATENA 2D.

Kruhová stoka z keramických cihel

Z důvodu plánovaných protipovodňových opatření bylo potřeba určit hodnotu maximálního vnitřního přetlaku, který je stoka schopna přenést.



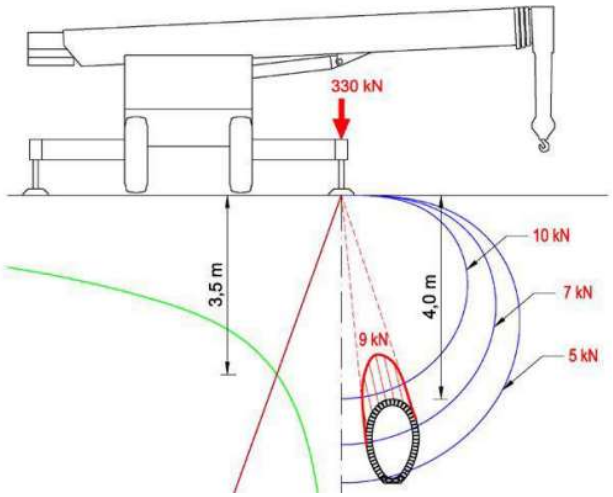
Obr. 10 Zjištění únosnosti kruhové stoky



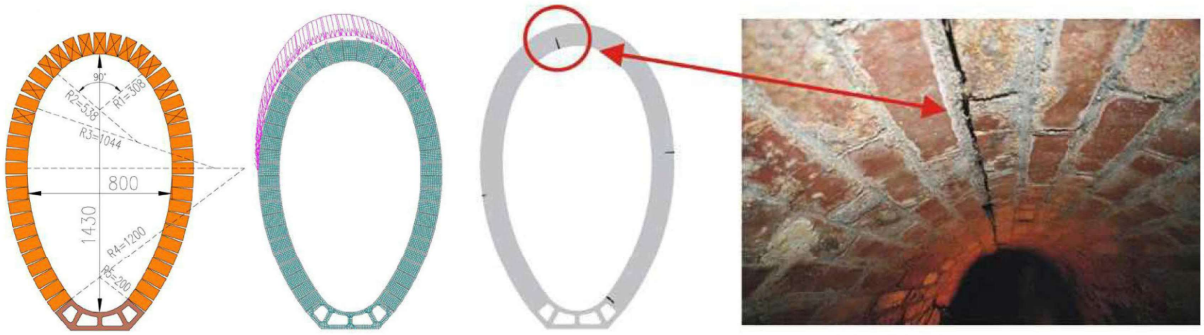
Obr. 11 Zatěžovací křivka monitorovacího bodu

Vejčitá stoka z kanalizačních cihel

V průběhu stavebních prací v blízkosti stávající stoky došlo k jejímu poškození jeřábem. Cílem bylo zjistit možnou souvislost mezi poškozením stoky a stavebními pracemi.



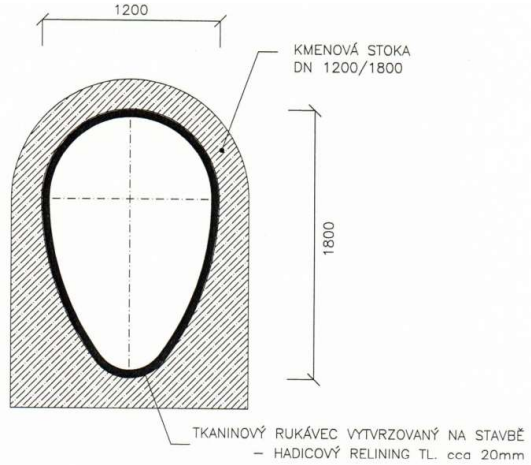
Obr. 12 Přitížení vejčité stoky mobilním kolovým jeřábem



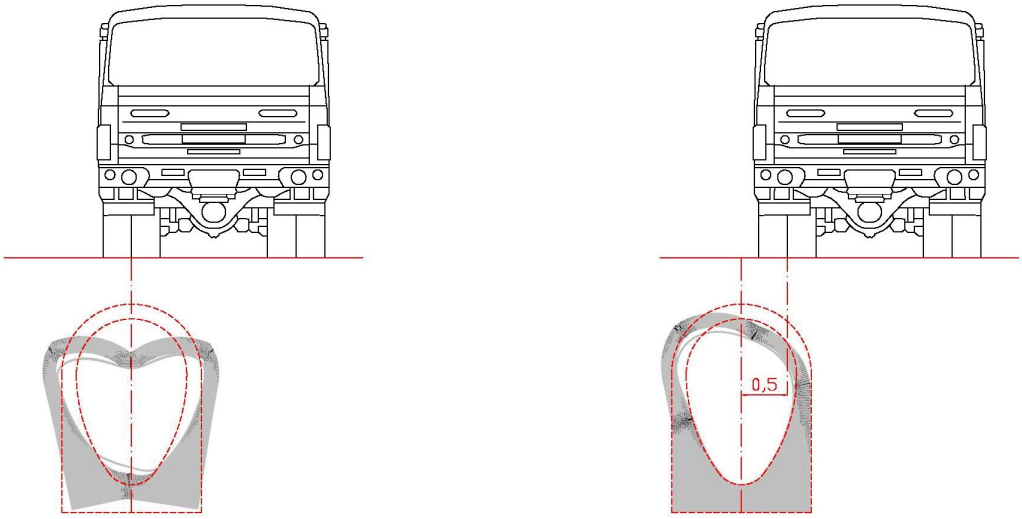
Obr. 13 Schéma porušení vejčité stoky

Betonová vejčitá stoka "vyztužená" tkaninovým rukávcem

Z důvodu přitížení stávající stoky staveništní mechanizací navrhl zhotovitel "vyztužení" stoky tkaninovým rukávcem. Cílem bylo posoudit navržená opatření z hlediska možného "vyztužení" stávající stoky.



Obr. 14 Stávající stoka "vyztužená" tkaninovým rukávcem



Obr. 15 Zatěžovací stavy

Závěr

Jak bylo dokázáno na výše uvedeném příkladu, tak snížení výšky nadloží může vést k několikanásobnému nárůstu zatížení stávajícího podzemního objektu, než na který byl původně navržen.

Z tohoto důvodu je nutné vždy posoudit možnost ztráty horninové klenby a pokud tento případ nastane, tak prokázat mechanickou odolnost a stabilitu podzemního objektu na nově vzniklé okrajové podmínky.

Použité normy a literatura

[1] ČSN EN 1991-2 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 2: Zatížení mostů dopravou

[2] ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí

[3] ČSN EN 1991-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb

[4] ČSN 73 7501 Navrhování konstrukcí ražených podzemních objektů, Společná ustanovení

[5] Sedláček, M., Pukl, R., Dohnálek, P.: Metoda určení mezní únosnosti kanalizační stoky, časopis Tunel 3/2009

[6] Sedláček, M.: Destrukce stokové sítě vlivem přitížení povrchu, časopis Stavebnictví 9/2017

[7] Sedláček, M.: P-1859 Statické posouzení kanalizační stoky, archiv firmy KO-KA s.r.o.