

I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Název práce:	Pražské metro - stanice Pankrác "D"
Jméno autora:	Bc. Vojtěch Boltnar
Typ práce:	diplomová
Fakulta/ústav:	Fakulta stavební (FSv)
Katedra/ústav:	Geotechnika (K135)
Oponent práce:	Ing. Karel Rössler, Ph.D.
Pracoviště oponenta práce:	Metrostav

II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

Zadání	mimořádně náročné
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
Vložte komentář. Pro členěné výrubu typu stanice Pankrác je numerické modelování ražby tunelu velmi náročné a vede ke zdoluhavým výpočtům, které se skládají z mnoha fází. Student v krátkém čase zvládl sestavit a odladit dva modely s odlišným členěním.	
Splnění zadání	splněno
<i>Posuďte, zda předložená závěrečná práce splňuje zadání. V komentáři případně uveďte body zadání, které nebyly zcela splněny, nebo zda je práce oproti zadání rozšířena. Nebylo-li zadání zcela splněno, pokuste se posoudit závažnost, dopady a případně i příčiny jednotlivých nedostatků.</i>	
Vložte komentář. Práce splnila zadání ve všech 7-mi pokynech pro vypracování. Práce popsala historii a koncepci pražského metra, analyzovala geotechnické parametry z výsledků získaných v průzkumných štolách. Koncepce stavby jednodlní stanice byla zohledněn v numerickém modelu, z jehož výsledků bylo připraveno statické posouzení primárního ostění. Do obsahu práce byl zařazen návrh geotechnického monitoringu.	
Zvolený postup řešení	vynikající
<i>Posuďte, zda student zvolil správný postup nebo metody řešení.</i>	
Vložte komentář. Student zvolil standardní postup pro numerické modelování ražby členěného výrubu tunelu. Zvolený postup byl správný a volba hodnot vnitřních sil pro návrh primárního ostění byla správná.	
Odborná úroveň	A - výborně
<i>Posuďte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.</i>	
Vložte komentář. Úroveň provedení numerických modelů a vyhodnocení jejich výsledků odpovídá úrovni projekčních firem. Student prokázal využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury zejména v kapitolách o historii a koncepci pražského metra. Student využil podklady získaných z průzkumných štol pro analýzu geotechnických parametrů.	
Formální a jazyková úroveň, rozsah práce	A - výborně
<i>Posuďte správnost používání formálních zápisů obsažených v práci. Posuďte typografickou a jazykovou stránku.</i>	
Vložte komentář. Práce je pečlivě zpracována, text je výstižný, student správně používá odbornou terminologii. V textu je minimum překlepů a gramatických chyb. Veškeré přiložené obrázky, tabulky, grafy i přílohy jsou dostatečně ilustrativní a kvalitně graficky zpracované.	

Výběr zdrojů, korektnost citací

A - výborně

Vyjádřete se k aktivitě studenta při získávání a využívání studijních materiálů k řešení závěrečné práce. Charakterizujte výběr pramenů. Posuďte, zda student využil všechny relevantní zdroje. Ověřte, zda jsou všechny převzaté prvky řádně odlišeny od vlastních výsledků a úvah, zda nedošlo k porušení citační etiky a zda jsou bibliografické citace úplné a v souladu s citačními zvyklostmi a normami.

Vložte komentář. Při získávání a využívání studijních materiálů pracoval student samostatně a aktivně. Výběr pramenů odpovídá řešenému problému, odkazuje na relevantní a aktuální zdroje. Bibliografické citace jsou úplné a v souladu s citačními zvyklostmi. Dle mého názoru nedošlo k porušení citační etiky.

Další komentáře a hodnocení

Vyjádřete se k úrovni dosažených hlavních výsledků závěrečné práce, např. k úrovni teoretických výsledků, nebo k úrovni a funkčnosti technického nebo programového vytvořeného řešení, publikačním výstupům, experimentální zručnosti apod.

Vložte komentář (nepovinné hodnocení). Dosažené výsledky jsou na takové úrovni, která by umožnila využít tyto výsledky pro alternativní návrh ražeb plánované stanice Pankrác.

III. CELKOVÉ HODNOCENÍ, OTÁZKY K OBHAJOBĚ, NÁVRH KLASIFIKACE

Shrňte aspekty závěrečné práce, které nejvíce ovlivnily Vaše celkové hodnocení. Uveďte případné otázky, které by měl student zodpovědět při obhajobě závěrečné práce před komisí.

Cílem diplomové práce bylo posouzení a porovnání dvou metod výrubu stanice Pankrác, projektovaného a alternativního výrubu

Numerická analýza ražby tunelu není přímočará záležitost, neboť se potýká s nejistotami vstupních parametrů a vlivem mnoha faktorů. Numerický model musí zohlednit spolupůsobení mezi ostěním a horninou pomocí kontaktních prvků, zohlednit změny napjatosti horniny, které probíhají v podélném směru a zohlednit je v příčném řezu dvou-dimenzionálního modelu FEM, zohlednit délku záběru a vzdálenost ostění od čelby včetně v čase měnící se parametry betonového ostění.

Těžkosti numerického modelování výrubu tunelů jsou násobně vyšší pro komplikované tunelové průřezy, jako je členěný výrub stanice Pankrác. Ostré rohy ostění, instalace ostění a následné odstraňování dočasných stěn ostění vede tvorbě špičkových sil v místě napojení stěn a ostrých rohu.

Pan Boltnar si poradil s problematikou numerického modelování tunelů výborně. Bezchybně použil dosavadní standardní postupy pro sestavení dvou-dimenzionálního FEM modelu tunelu a využil k tomu dostupnou literaturu a konzultace odborníků.

Analytickým přístupem vyloučil z výpočtu nepřesnosti, které bylo možné odstranit. Nepřesnosti typu reziduálních vnitřní sil zůstávajících v ostění i po odstranění působení zatížení od styčného prutu ostění jsou problémy, které jsou vlastní programu FEM, a nebylo možné je odstranit. Pro posouzení ostění byly správně použity vnitřní síly, které nebyly ovlivněny reziduálními silami.

Aby bylo možné obě metody výrubu porovnat, byly použity stejné geotechnické parametry horniny a stejná pravidla odlehčení napjatosti v hornině pro aktivaci ostění. Volba geotechnických parametrů horniny je kapitolou sama pro sebe a v tomto porovnání dvou odlišných způsobů výrubu stanice geotechnické parametry měly významnou roli.

Porovnání obou modelů ukázalo, že deformace horniny a výsledné sedání pod základy budovy Gemini je pro obě metody stejné, přestože způsob výrubu projektovaného návrhu by napovídal většímu sedání díky výrubu začínajícím ve spodní části stanice a končícím výrubem v koruně stanice. Takový výrub by měl vést k vyššímu sedání terénu vlivem akumulace deformací horniny v koruně stanice.

Numerické modely byly vytvořeny pro zadané geotechnické parametry horniny v řezu, ve kterém se v nadloží nachází budova Gemini. Vlivem dobrých parametrů kotvené i nekotvené horniny ($E_{def} = 450$ MPa) výpočet obou modelů proběhl prakticky v pružném prostředí bez vzniku významné plastické deformační zóny v okolí výrubu.

Porovnání potvrdilo, že projektované i alternativní řešení výrubu stanice Pankrác je v této hornině proveditelné.

Projektované řešení dosáhlo stejně nízkého sedání horniny jako alternativní řešení, a to výměnou za rozsáhlejší kotvení horniny (nad centrální štolou uvnitř stanice) a instalací ocelových válcovaných profilů (v patní a centrální štole). Výsledkem bylo, že ostění projektovaného řešení bylo tužší a více zatížené než u alternativního řešení

U projektovaného řešení je nárůst normálové axiální síly pro posuzování statické únosnosti ostění příznivý a kombinace sil je situována do tlačené oblasti pevnostní obálky betonu. Na druhou stranu přetížení tunelové konstrukce by mohlo znamenat stabilní rizika pro ostění, které není opřené o horninu, zejména pro konkávní tvar ocelobetonového ostění centrální štole, které je tvarováno do volného prostoru štole, a tedy náchylné k nestabilitě vybočením.

U projektovaného řešení jsou vnitřní stěny stanice odstraněny teprve v poslední fázi výrubu. To znamená, že se spoléhá na jejich statickou únosnost do poslední fáze výrubu, a že vnější tunelový oblouk ostění bude aktivován až po dokončení výrubu stanice.

Výše uvedené závěry byly správně uvedeny v diplomové práci pana Boltgara. Pan Boltgar použil správné postupy pro numerické modelování členěného výrubu podzemní stanice Pankrác a vyhodnocení výsledků výpočtů vedlo ke správnému posouzení rozdílů mezi projektovaným a alternativním návrhem výrubu. Cíle diplomové práce byly splněny a kvalita práce přesáhla běžný standard.

Poznámka:

V hornině s klesající kvalitou se snižuje i efektivita radiálních svorníků a v takovém případě svorníky nelze považovat za tuhé vyztužení tunelu. Stejně tak injektáž horniny, provedená v experimentální štole, ukázala, že i přes významné procentuální zvýšení tuhosti injektované horniny, hodnoty deformačního modulu zůstávají nízké (100 MPa).

V hornině horší kvality, kde pomocí parametrů kotvené horniny nelze zabránit deformacím, lze předpokládat, že alternativní řešení by vedlo k nižším deformacím horniny než u projektovaného řešení díky včasné aktivaci vnějšího oblouku ostění stanice.

Otázky:

Jak byste vyhodnotil program MKP GEO5 z pohledu vhodnosti pro numerické modelování tunelů obecně a pro speciálně pro modelování členěných výrubů?

Promluvte o problematice efektivnosti svorníků a jejich modelování v MKP.

K jakým výsledkům by mohlo vést porovnání mezi projektovaným a alternativním řešením v případě zhoršení kvality horninového prostředí s nízkým modulem deformace < 100 MPa a nízkou smykovou pevností, která by vedla ke vzniku rozsáhlých plastických zón v okolí výrubu? Případně navrhněte dodatečná opatření pro stabilizaci výrubu.

Předloženou závěrečnou práci hodnotím klasifikačním stupněm **A - výborně**.

Datum: 6.1.2022

Podpis:



