

Stavební jáma hloubeného úseku tunelu Cholupice na stavbě 513 SOKP

Výstavba dočasných stavebních konstrukcí hloubeného úseku tunelu Cholupice má zajistit bezpečnou stabilizaci svahů stavební jámy po dobu realizace ražené a hloubené části tunelů v oblasti cholupického portálu. I když se jedná o dočasný stavební objekt, jsou jeho parametry i objemy stavebních prací značné. Základní metodou zajištění portálu jsou stejně jako u komořanského portálu kotvené pilotové stěny. Pravá strana stavební jámy je zajištěna dočasným záporovým pažením a svahováním, levá strana pak pouze svahováním.



Součástí projekční dokumentace jsou zejména:

- definice geometrického osazení portálu a tvarů stavební jámy,
- skladba a tvar konstrukcí potřebných na realizaci díla,
- materiálové řešení navržených konstrukcí.

Geologická stavba území

Projekt vycházel z IGP zpracovaného firmou GEOTEC GS v roce 2002. Závěry průzkumů vycházely zejména z vyhodnocení jádrových vrtů J 216–J 219, geofyzikálních měření (mělká refrakční seismika, vertikální elektrické sondování a dipólové odporové profilování) a korozního průzkumu. V zájmovém území můžeme popsat tyto rozhodující typy zemin a hornin:

- **Kvartérní pokryv** tvoří fluvialní, deluviofluvialní, diluvialní, eolické a antropogenní sedimenty.
 - Mocnost kvartérního pokryvu v prostoru hloubených tunelů kolísá v rozmezí od 0,7 do 3,5 m.
 - Mocnost humózních vrstev se pohybuje v rozmezí 0,3–0,4 m.
 - Pokryv je zastoupen převážně deluvialními a deluviofluvialními sedimenty – převažují zejména písčitojilové zeminy – F3/MS, S5/SC, F4/CS – tuhé až pevné konzistence (typ Q4), méně se vyskytují středně ulehle písčité zeminy – S4/SM, S3/S-F (typ Q3), které tvoří většinou vložky a čočky ve výše uvedených zeminách.
- **Předkvartérní podklad** je budován proterozoickými drobami a břidlicemi, které jsou značně nerovnoměrně a místy až hluboce zvětřalé, přičemž intenzivní zvětřání dosahuje hloubek až 7 metrů a přechody mezi různě zvětřalými horninami jsou většími pozvolně.

V nevětralém stavu mají horniny většinou šedou až černošedou barvu, navětřalé horniny mívají nazelenalé odstíny a zvětřalé horniny jsou hnědé až okrové barvy. Jsou laminované, deskovitě vrstevnaté a na vrstevných plochách limonizované. Intenzita zvětřání je závislá nejen na petrografickém složení, ale i na stupni tektonického porušení.

V místě stavby objektu můžeme popsat tyto základní geotechnické typy hornin:

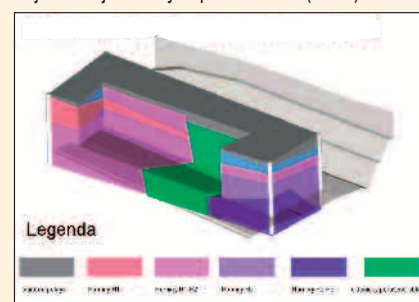
- **Zcela zvětřalé horniny (eluvia)** mají větší jilovitý charakter (Q6), méně až písčitojilovitý charakter (Q4). Vzhledem k častému výskytu vložek tvrdších hornin obsahují eluvia proměnlivou příměs úlomků hornin, takže místy přecházejí do štěrkojilovitých zemin (Q5 až Q2).
- **Pod zcela zvětřalými drobami a břidlicemi se vyskytují horniny v různém stupni zvětřání:**
 - H1 - břidlice a droby silně až mírně zvětřalé (R4, místy R4–R5),
 - H2 - břidlice a droby mírně zvětřalé až navětřalé (R3, místy R3–R4),
 - H3 - břidlice a droby navětřalé až zdravé (R2) – indikovány pouze geofyzikálním měřením.



Obr. 2: Vzorový příčný řez stavební jámou

Blokové schéma základových púd zpracované na základě výsledků IGP

Návrh zajištění stavební jámy vycházel z nulového stavu po provedení průzkumné štoly a zemních prací potřebných pro její realizaci. Tento stav byl podrobně zaměřen a zpracován do podoby digitálního 3D modelu. Zpracovatel využil realizovaná díla IGP a 3D model zaměření terénu a na jejich podkladě vypracoval blokové schéma materiálu v podloží řešených objektů do jednotlivých příčných řezů (obr. 1).



Obr. 1: Blokové schéma geologické skladby podloží

Změna DSP způsobu kotvení svahů stavební jámy

Původní návrh (DZS)

Boky stavební jámy byly v návrhu paženy při jižní straně záporami I č. 360 do vrtů profilu 600 mm. Pažení bylo navrženo z ocelových pažin Union se zemními ramencovými kotvami (2x). Zbývající část byla zajištěna svahem ve sklonu 1 : 0,67 s kotvením zemními lanovými kotvami.

Nový návrh (RDS)

V realizační dokumentaci došlo ke změně konstrukce pažin záporové stěny, když byla místo ocelových pažin Union použita výdřeva. Ve svahové části stavební jámy byly namísto původně navržených zemních ramencových kotev navrženy injekční završovací tyče R firmy Minova Bohemia o únosnosti 150 kN, délky 6 m a 8 m (IBO kotvy). Změna kotev byla vyvolána snahou o zrychlení postupu prací a snížení pracnosti při realizaci stavebních prací. Konstrukce svahové jámy je doplněna torkretem svahů ze stříkaného betonu tl. 200 mm s výztuží z kari-sít (obr. 2).

Úprava typu konstrukce portálové stěny

Původní návrh (DZS)

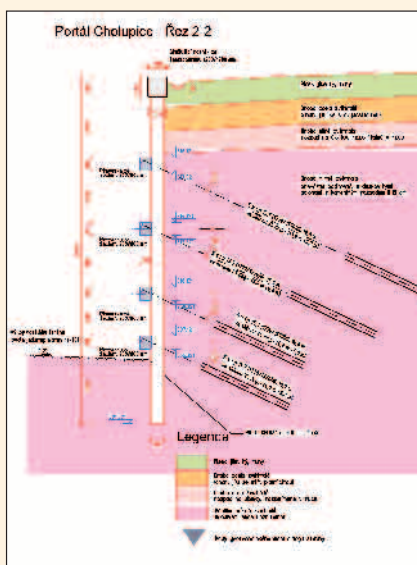
V rámci DZS byla konstrukce portálu Cholupice řešena jako pilotová stěna z pilot DN 800 mm osazených na vzdálenost cca 2 m, v počtu 37 ks proměnné výšky s ohledem na tvar výkopové figury stavební jámy. Konstrukce byla doplněna o žlb. převázky, ve kterých byly osazeny zemní pramencové kotvy pro zajištění stability takto navržené konstrukce.

Nový návrh (RDS)

V realizační dokumentaci došlo opět ke změně konstrukce:

- 1. část – v úsecích mimo tunelový profil bylo navrženo pažení z monolitických žlb. pilot DN 880 mm v rozteči 1,8–1,9 m opatřených žlb. převázkami a kotvených pramencovými kotvami.
- 2. část – v prostoru nad kalotami budoucích tunelových trub je konstrukce pažení tvořena kotvenou záporovou stěnou ze zápor z válcovaných ocelových profilů s ocelovými převázkami a pramencovými kotvami.

Oba typy konstrukcí jsou sjednoceny mohutným žlb. horizontálním nosníkem v hlavách pilot a zápor, který slouží k vyrovnání deformací, stabilizuje konstrukci záporové stěny na svislá namáhání a zároveň brání pronikání povrchových vod do výkopu a obloukovým žlb. nosníkem v prostoru nad kalotou budoucích tunelových rour. Obloukový nosník nad kalotou je do rostlé zeminy přikotven tyčovými zemními kotvami (obr. 3 a 4).



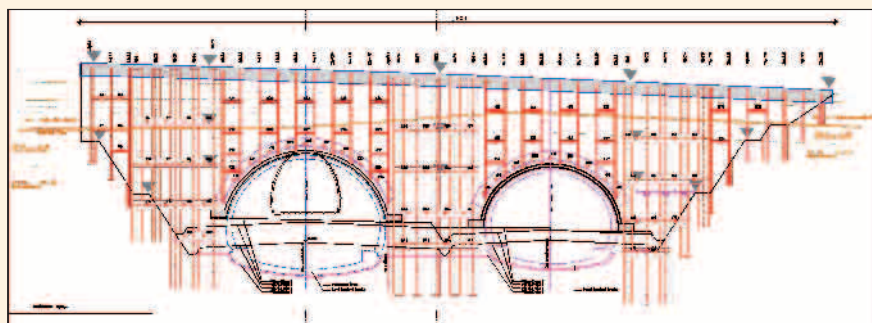
Obr. 3: Vzorový příčný řez konstrukcí portálové stěny

Předpoklady pro výpočet

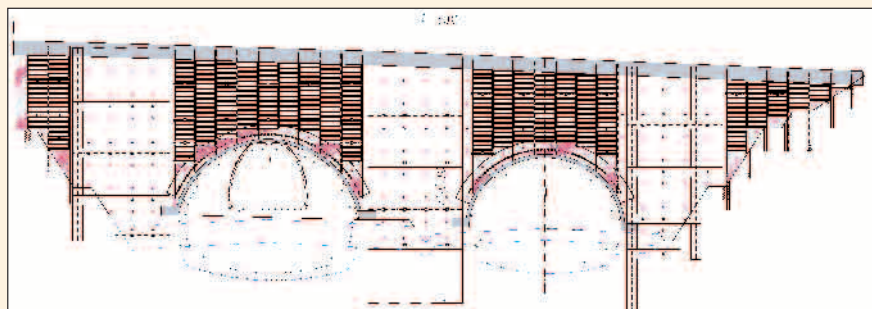
Konstrukce byly spočteny pro zatěžovací stavy ve smyslu platných ČSN. Zatížení je reprezentováno zemními tlaky. Překonávanou vrstvou zemin jsou jílové zeminy – jílový písek a droba, zcela zvětralá na jílu. Podloží těchto vrstev je tvořeno drobou mírně zvětralou, charakteru skalní horniny třídy R3–R4.

Do výpočtu vstupují aktivní kotvy a zemní hřeby. Výpočet zohlednil možnosti dopravy podél stavební jámy. Konstrukce byla spočtena ve dvou krocích:

1. Stabilita stavební jámy jako celku. Výpočet pro jednotlivá stavební stadia byl realizován ve dvou nezávislých výpočtových systémech, a sice v prostředí PLAXIS 8 a GEO 4–5. Do závěrečné zprávy byl zařazen výpočet v GEO 4–5, jehož výsledky byly v tomto případě mírně konzervativnější.
2. Výpočet prvků konstrukce.



Obr. 4: Schéma skladby portálové stěny



Obr. 5: Pohled na konstrukci portálové stěny

Po prokázání stability konstrukce jako celku byly samostatně spočteny a navrženy prvky nosných konstrukcí, jako jsou: zápor, převázky, pramencové kotvy, zemní hřeby. Stejný princip byl zvolen i u výpočtu portálu raženého tunelu, kde byly posouzeny žlb. piloty, žlb. převázky, pramencové kotvy zápor, vodorovný ztužující nosník a klenbové nosníky. Pro výpočet nosných konstrukcí byly použity výpočtové systémy NEXIS a FIN 10.

Koncepce řešení

Portál ražených tunelů

Líc portálu je v km 7,195 58 (ve staničení dálnice) / v km 7,193 00 (ve staničení levého tunelu) – vždy kolmo na osu tunelu. Stavební jáma zde dosahuje šířky cca 74 m a hloubky cca 20 m. Na úrovni terénu je vybudován mohutný žlb. trám 1,2/1,2 m s povrchem na úrovni 324 m n. m., jenž současně slouží jako zábrana proti přivalové vodě. Podél opěří obou ražených tunelů a uprostřed mezi tunely je tento svislý výkop zajištěn pilotovou stěnou skládající se z vrtných žlb. pilot DN 880 mm dl. 21,0 m v osových vzdálenostech po cca 1,8 m. Piloty jsou v hlavách vetknuty do žlb. trámu a pode dnem jámy do základové půdy. Po výšce jsou ve 4 úrovních podepřeny pramencovými kotvami s kotvenou silou $F_{max} = 750$ kN. Prostor mezi pilotami je vyplněn mělkými klenbičkami ze stříkaného betonu tl. 150 mm s výztužnou sítí ukotvenou do pilot. Prostor nad oběma tunely, jenž je proměnné výšky, bude zajištěn pomocí záporového pažení dočasně kotveného, které se skládá z těchto prvků (obr. 5):

- ze zápor IPE č. 400 ve vrtech DN 600 mm, vetknutých v hlavách do žlb. hlavového trámu, v patách jsou vetknuty do žlb. věnce 0,8/1,2 podél kalot obou tunelů; osová vzdálenost zápor je cca 1,8 m;
- z dočasných pramencových kotev s kotvenou silou $F_{max} = 390$ až 750 kN;
- z výdřev tl. 100 a 150 mm mezi záporami;
- z klenbového žlb. věnce 0,8/1,2 m nad kalotami obou tunelů; tyto věnce jsou opatřeny dočasnými tyčovými kotvami (mírně skloněnými – ve směru sklonu tunelu) dl. 8,0 m, průchodkami pro realizaci mikropilotových deštníků nad počátkem výrubu.

Zajištění boků stavební jámy

Jedná se o zajištění výkopů v délce cca 2x82 m a proměnné výšky cca 18 m. Vzhledem k prostorovým možnostem byly navrženy dva různé způsoby úprav svahů stavební jámy.

Zemní svah levého tunelu

Zde byla navržena záporová stěna doplněná kotveným svahem s úpravou ze stříkaného betonu. Výše uvedené možnosti výkopů, odvozené z výkresu záboru pozemků, určují



červen 2007



srpen 2007



září 2007



prosinec 2007

volné výšky zapažených stěn, jež jsou nejméně 6 m vysoké, nejvyšší jsou pak u portálu a na konci stěny, kde dosahují až 9 m. V zásadě je navrženo **dočasné záporové kotvené pažení**, jež je:

- jednořadové pro volné výšky 6–9 m, tvořené ze zápor IPE č. 360 po 2,0 m s vetknutím pod dno výkopu na délku min 2,0 m, kotvených v jedné úrovni nebo dvou úrovních pomocí dočasných kotev pro $F_{max} = 500$ až 750 kN přes předsazené ocelové převázky s výdřevou tl. 100 mm.
- Další úroveň výkopu je navržena jako **dočasná svahová stavební jáma** se sklonem svahů 1,5 : 1, jejíž stabilita je zabezpečována ocelovými kotvami z injektážních závrtných tyčí řady R DN 25 mm osazených ve sklonu 2,5/2,0 m. Povrch svahů bude opatřen povrchem ze stříkaného betonu tl. 200 mm s výztužnou sítí při horním i dolním povrchu.

Zemní svah pravého tunelu

Na tomto svahu se uplatnila dvě řešení:

- výkop svahu o sklonu 1 : 1,5 ve vrstvách jílovitých zemin na výšku cca 3 m,
- a obdobně jako na levé straně zde byla navržena dočasná stavební jáma se sklonem svahů 1,5 : 1, jejíž stabilita je zabezpečována ocelovými kotvami z injektážních závrtných tyčí řady R DN 25 mm osazených ve sponu 2,5/2,0 m.

Povrch svahu bude opatřen konstrukcí ze stříkaného betonu tl. 200 mm s výztužnou sítí při horním i dolním povrchu.

Realizace

Práce byly zahájeny v červnu 2007. Piloty dl. cca 20 m a zápor byly zhotoveny pomocí vrtných souprav BAUER BG 15 a BAUER BG 22. Jako

výztuž pilotových stěn byly použity armokoše z betonářské oceli 10 505.0 (R) profilu 20 mm. Beton pro nosné konstrukce byl dodáván v kvalitě C 25/30 XA1 (CZ–TKP 18) – CI 0,2 – Dmax 22–S4 z betonáren Kačerov a Písnice firmy ZAPA Beton a. s.

Základní nosné konstrukce portálu Cholupice tvoří 15 ks pilot a 28 ks zápor. Záporovou stěnu levého tunelu tvoří celkem 44 ks zápor.

Všechny uvedené konstrukce byly realizovány z úrovně stávajícího terénu do předem vyhloubených jam. U pilot se jednalo o vrt DN 880 mm a u zápor o vrt DN 600. Vzhledem ke geologickým poměrům byly všechny vrty paženy ocelovou výpažnicí s následným vytažením po ukončení prací. Celkem bylo pro zajištění hloubeného úseku Cholupice třeba realizovat 294 m vrtů DN 880 a 656,5 m vrtů DN 600. Stabilita pažení byla zajištěna dočasnými pramencovými zemními kotvami.

Na stabilizaci jižní (levé) svahové jámy byly použity injekční zavrtávací tyče R firmy Minova Bohemia (IBO kotvy) únosnosti 150 kN, délky 6 m a 8 m. Použití těchto tyčí je výhodné zvláště v nesoudržných zeminách, porušených horninách nebo stavebních konstrukcích. Při instalaci kotevních prvků s použitím tyčí typu R slouží v první fázi tyč jako vrtná, následně jako injekční trubka. Po injektáži a vytvrzení injekčního materiálu je pak injekční zavrtávací tyč táhlem kotevního prvku.

Práce na osazení IBO kotev a konstrukce ze stříkaného betonu realizovala firma Skanska-DS s použitím zařízení MEYCO Potenza. Klenbové nosníky nad kalotami ražených částí byly betonovány metodou „na želvu“, tzn. na zemní konstrukci vyprofilované do geometrického tvaru budoucí obloukové konstrukce. Po vytvrzení betonu byly podpůrné zemní konstrukce odtěženy.

Práce byly ukončeny v listopadu 2007, kdy byla v prostoru stavební jámy započata ražba tunelových trub.

Rozsah provedených prací:

Zemní práce celkem: 56 000 m³,
 Vrty DN 880 mm: 294 m,
 Vrty DN 600 mm: 650 m,
 Horizontální vrty pro kotvy: 1560 m,
 Vrty pro mikropilotový dešťník a IBO kotvy: 5000 m,
 IBO kotvy: 3200 m,
 Mikropilotový dešťník: 1800 m,
 Ocelové zápor a převázky: 67 tun,
 Stříkaný torket svahů: 350 m³,
 Kotvy z předpínacích tyčí: 145 m,
 Kotvy pramencové 3 x Lp: 300 m,
 Kotvy pramencové 4 x Lp: 210 m,
 Kotvy pramencové 5 x LP: 900 m.

Ing. Jozef Kuráň, IKP Consulting Engineers, s. r. o.

Foto a obrázky: autor

Foundation pit for tunnel Cholupice on structure 513 SOKP

Construction of temporary tunnel foundation structure in the part Cholupice shall ensure safe stabilization of sides of foundation pit during driving and excavation works in Cholupice area. Although the structure is temporary, volume and parameters of construction works are enormous. Basic method used are anchored pile walls similarly as with Komořany tunnel face. Right side of the foundation pit is secured by temporary rider bracing and sloping, left side only by sloping.