

Tunel Pohůrka na dálnici D3 na obchvatu Českých Budějovic, vývoj projekčního řešení

Tunel Pohůrka je nový hloubený tunel na obchvatu Českých Budějovic, který bude součástí dálnice D3 v úseku Úsilné–Hodějovice v km 131,240–138,450. Tento úsek je první částí obchvatu Českých Budějovic délky 7,2 km, druhou část obchvatu tvoří navazující úsek z Hodějovic do Třebonína s délkou 12,5 km. Tunel Pohůrka se nachází jihovýchodně od centra města České Budějovice v blízkosti městské části Suché Vrbné a obcí Dobrá Voda a Stará Pohůrka. Celková navržená délka tunelu je 999,5 m. Tunel je tvořen železobetonovou konstrukcí s navrhovanou životností minimálně 100 let a je proveden jako hloubený pod poměrně plochým nezastavěným územím těsně pod korytem Dobrovodského potoka. Portály tunelu podcházejí ulici Dobrovodskou (Pražský portál) a Ledenickou (Kaplický portál). Rozsáhlou a významnou stavbu tunelu představujeme dále ve dvou článcích. V prvním článku od hlavního projektanta tunelu přibližujeme především vývoj celého složitého projektu od počátečních fází až po finální optimalizované řešení. V druhém článku již pak přinášíme podrobný popis prací speciálního zakládání, jejichž dodavatelem je společnost Zakládání staveb, a. s. Stavební práce byly na staveništi zahájeny již v roce 2019 a s přestávkami probíhají až do dnešních dní (02/2024).



Pohled na staveniště v místě Pražského portálu s přecházející Dobrovodskou ulicí

Tunel má dva jízdní pásy, které jsou vedeny v samostatných tunelových trubkách. Ve dvou místech, při přechodu Dobrovodského potoka a v km 136,00, je konstrukce tunelu přesypána, neboť tunel vystupuje nad úroveň povrchu terénu. Důvody pro výškové vedení trasy komunikace jsou zejména geomorfologické poměry lokality a technologické možnosti realizace stavby. Dle ČSN 73 7507 je tunel začleněn do bezpečnostní kategorie TA, dle šířky komunikací do kategorie T 11,75 m. Pravá i levá tunelová trouba (PTT, LTT) jsou dvoupruhové s pruhy šířky 3,50 m, 3,75 m a s průběžným nouzovým pruhem šířky 3,5 m. Vodící proužky jsou 0,25 + 0,25 m, střední chodníky jsou širší 1,30 m, vnější 1,15 m.

Zadavatelem a investorem projektu je Ředitelství silnic a dálnic ČR. Hlavním dodavatelem stavebních prací je Společnost pro D3 0310/I Úsilné – Hodějovice tvořená sdružením firem Hochtief CZ, a. s., Colas CZ, a. s., a M-Silnice, a. s. Projektovou dokumentaci pro realizaci stavby zpracovala projekční kancelář MPI Projekt, s. r. o., koordinaci realizační dokumentace zajišťuje projekční kancelář Tubes, spol. s r. o.

Tunelové trouby jsou vybaveny těmito bezpečnostními prvky:

- požární vodovod s hydranty,
- výklenky pro SOS kabiny ve vnějších stěnách tunelu,
- únikové cesty (prostupy ve střední stěně tunelu) s protipožárními uzávěry a dvě samostatná úniková schodiště z tunelu na povrch, které umožní evakuaci osob v případě mimořádné události v tunelu samostatně z každé tunelové trouby zvlášť.

U Pražského portálu je v trvalé stavební jámě umístěn tzv. provozně technický objekt (PTO). Před oběma portály jsou plochy pro nástup záchranných složek IZS pro případ zásahu při mimořádné události v tunelu a pro techniku obsluhy a údržby tunelu.

Inženýrskogeologické a hydrogeologické poměry

Zájmové území je v širším smyslu součástí česko-moravské soustavy a celku jihočeských pánví. Dotčená lokalita náleží celku českobudějovické pánve. Nadmořská výška se zde pohybuje v rozmezí 392–427 m n. m. Celková mocnost kvartérního pokryvu je v převážné části úseku s tunelem 0,3 – 2,3 m, v okolí Dobrovodského potoka až 8,5 m.

Ve staničení cca 135,180 až 135,380 je pokryv tvořen fluvialními náplavy Dobrovodského potoka mocnosti až 8,5 m. Bazální vrstva je tvořena hrubozrnnými písčity a šterkovitými zeminami středně ulehlými, mocnosti cca 1,8 – 5,2 m, ojediněle až 7,0 m. Povrch území je pak překryt nesouvislou, cca 1,2 – 2,8 m mocnou vrstvou jemnozrnných zemin měkké, tuhé a pevné konzistence. Pro tyto sedimenty je charakteristické proměnlivé složení, jednotlivé vrstvy nemají stálou mocnost a vzájemně se prolínají. Výplň údolní nivy je asymetrická oproti současné poloze regulovaného koryta potoka.

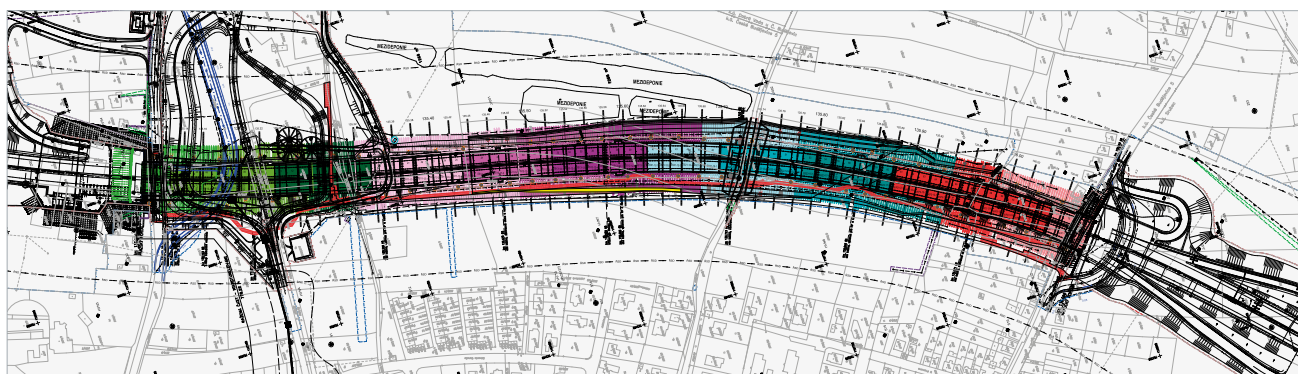
Zbývající část úseku tunelu je tvořena deluviálními sedimenty mocnosti cca 0,6 – 2,3 m, a to především jílovitými zeminami tuhé až pevné konzistence, méně pak písčity zeminami středně ulehlými.

Podloží je tvořené křídovými sedimenty. Jsou zastoupeny především jílovce, prachovce a pískovce až drobnozrnné slepence. Zastoupení jednotlivých litologických typů je značně proměnlivé a v pískovcích se často vyskytují jílovité polohy a naopak. V prachovcích je častá proměnlivá příměs jemnozrnného písku. Nelze tedy často přesně stanovit rozhraní, a menší polohy jedné horniny v druhé se vyskytují běžně. Zvětrání je také velice nepravidelné. Zcela zvětralé polohy dosahují velkých hloubek a ve zcela zvětralých horninách se nachází silně zvětralé polohy a naopak. Zcela zvětralé jílovce a prachovce mají charakter hlíny a jílu se střední až vysokou plasticitou a hlíny a jílu písčitého pevné až tvrdé konzistence. Pískovce mají většinou charakter čistého písku, písku hlinitého a jílovitého, ulehleho až slabě stmelěného. Silně zvětralé horniny mají charakter velmi slabě zpevněných hornin.

Hydrologicky náleží území do povodí Dobrovodského potoka. Dle archivních sond a hydrogeologického průzkumu je nutné předpokládat téměř souvislé zvodnění úseku (s proměnlivou úrovní hladiny podzemní vody).

V prostoru Dobrovodského potoka (km cca 135,180 – 135,380) je podzemní voda vázána na kvartérní fluvialní šterkopisky, leží mělko pod povrchem v hloubce 1,0 – 2,8 m pod terénem a je v přímé hydraulické spojitosti s hladinou vody v potoce. Relativně mělko se voda vyskytuje také v okolí km cca 135,960 v místě drobné zatrubněné vodoteče.

V ostatních částech úseku je podzemní voda vázána na propustnější písčité horniny předkvartérního podkladu. Ve svahu směrem k Dobrovodské ulici byla hladina podzemní vody zastižena



Celková situace tunelu Pohůrka s rozdělením na dilatační a pracovní celky



Zatěžovací zkouška ocelovým mostem typu „hříbek“ s únosností 15 MN pro stanovení plášťového tření podzemních stěn

v hloubce cca 1,1 – 2,3 m. Na dvoře bývalé cihelny za Dobrovodskou ulicí, kam je situován severní portál tunelu, je ve vodoměrné šachtě voda v hloubce 1,1 m. Podzemní voda je zde dotována průsaky srážkové vody ze zavezeného hliniště. Ve zbývajících částech trasy tunelu se podzemní voda vyskytuje v hloubce cca 6,3 – 11,1 m pod terénem. Vzhledem k horizontální i vertikální variabilitě svrchnokřídových sedimentů není hladina souvislá a v oblasti se vyskytují zavěšené zvodně s vyšší hladinou podzemní vody. Vzhledem ke složitosti hydrogeologické problematiky v oblasti stavby tunelu, navazujících zářezů, odvodňovací štoly, okolních studní a povrchové zástavby byl vypracován hydrogeologický matematický model proudění podzemní vody. Slouží k upřesnění rozsahu změn režimu podzemní vody v okolí stavby a pro oblast celé budějovické páve, ale byl určen zejména pro optimalizaci návrhu stavebních konstrukcí a způsobu výstavby. Dále tento model umožňuje zhodnotit rozsah a hranice možného negativního ovlivnění okolí stavby a je podkladem pro rozsah pasportizace povrchové zástavby. Slouží také jako upřesnění způsobu a rozsahu monitoringu konstrukcí a území během stavby a po stavbě.

Vývoj variant konstrukce tunelu

Konstrukce tunelu dle zadávací dokumentace

Nosná konstrukce tunelu byla navržena jako železobetonový rám o dvou polích, vytvářející dvě komory. Jednalo se o vodonepropustnou uzavřenou konstrukci doplněnou o deštníkovou hydroizolaci na stropní desce s trvale sníženou hladinou podzemní vody pod pracovní spáru mezi stropní deskou a svislými stěnami.

Ty byly navrženy jako tři konstrukční podzemní stěny tloušťky 800 mm. Krajní podzemní stěny byly navrženy kratší, vetknuté pod základovou spáru. Střední podzemní stěna byla vzhledem k předpokládanému zatížení navržena delší. Délky podzemních stěn byly navrženy statickou analýzou, kdy kromě odolnosti vůči zemnímu a hydrostatickému tlaku muselo být rovněž omezeno sedání

po provedení stropní konstrukce a zásypů. Nová konstrukce tunelu rovněž musela odolat účinkům zvýšené hladiny vody v nové retenční nádrži při rozvodnění Dobrovodského potoka.

Podzemní stěny měly být realizovány z „mělkých“ předvypokopů přes vodící zídky. Horní úroveň vodící zídky byla navržena totožná s úrovní pracovní spáry stěny/strop. Důvodem bylo husté vyztužení podzemní stěny a nemožnost odbourání znehodnoceného betonu. Návrh lamelizace podzemních stěn odpovídal užití drapaků s šíří záběru 2,8 m. Podzemní stěny byly navrženy jako vodonepropustné, s vloženými spárovými pásy mezi jednotlivými lamelami včetně pojistného systému injektáží.

Pro omezení průsaků a přítoků pozemní vody při těžbě jádra pod zastropením měly být po délce tunelu realizovány jílocementové příčné clony, které se měly provádět společně s podzemními stěnami po cca 100 m délky tunelu. Odpouštění podzemní vody z těchto prostorů mělo být prováděno horizontálními předvrty. Při provádění výkopů bylo navrženo postupné snižování hladiny systémem čerpacích studní, které kromě čerpání měly plnit i funkci pozorování změn režimu podzemních vod v okolí tunelu po dobu výstavby.

Na podzemní stěny měla být následně z úrovně „mělkých“ výkopů vybetonována definitivní stropní deska. Ta byla rozdělena na betonážní sekce v délce 8–12 m. Deštníková hydroizolace stropní desky měla být na bocích tunelu ukončena dle zvláštního detailu. Pod touto úrovní měla být osazena pojistná drenáž s revizními šachtami po cca 100 m po obou stranách tunelu. Tato pojistná drenáž měla gravitačně odvádět vody podél tunelu.

Po provedení těchto prací měly být provedeny definitivní zásypy včetně definitivních přeložek na povrchu. Navržený postup umožňoval provádění přeložek inženýrských sítí, komunikací a rovněž dočasné převedení Dobrovodského potoka v omezeném rozsahu, kratší době a operativně s ohledem na prostorové a časové vazby postupu prací. Tím mělo dojít ke zkrácení doby negativních účinků stavby na okolní povrchovou zástavbu, život obyvatel a životního prostředí.

V dalším kroku výstavby měly být provedeny výkopy pod stropem tunelu a mezi podzemními stěnami na úroveň základové spáry pro základové desky dna tunelů (systém cut and cover). Výhoda hloubení pod zastropením spočívala v omezení přítoku podzemní vody pouze dnem a čelbou. Při ražbě tunelu bylo plánováno do dna instalovat dočasné ocelové rozpěry podzemních stěn, které měly být osazeny do mělké rýhy a zabetonovány, což by zajišťovalo, že nedojde k příčným posunům podzemních stěn vlivem tlaku zeminy a podzemní vody. Hydraulické prolomení dna bylo eliminováno dostatečnou délkou zejména bočních podzemních stěn.

Po dokončení výkopů nebo jejich částí bylo plánováno provedení základových desek železobetonového dna obou tunelových tubusů, které měly být vodonepropustně propojeny s konstrukcí podzemních stěn. Základním prvkem byl ocelový svařenec, jehož část byla součástí podzemní stěny a zbývajících část měla být navařena po odfrézování drážek v podzemní stěně pro napojení základové desky. Navržený detail byl opatřen injektážními hadičkami pro zajištění vodonepropustnosti. Před realizací vnitřních konstrukcí měl být tento styčný detail injektován.

Změna původního návrhu

Zatěžovací zkouška lamel podzemních stěn

Vzhledem k poměrně složitým geologickým podmínkám bylo již součástí zadání provedení doplňujícího geologického průzkumu s řádově vyšší vypovídací schopností, než poskytovaly výsledky z průzkumů jádrovými vrty.

V rámci tohoto průzkumu provedl zhotovitel v srpnu 2019 zkoušku na třech jednozáběrových lamelách podzemních stěn (PS) pomocí ocelového mostu. Zkouška byla situována do blízkosti Dobrovodského potoka. Lamely ZL 01, 02 a 03 byly navrženy o rozměrech 0,8 x 2,8 m, hloubky 17,0, 27,0 a 40,0 m ve vzájemné vzdálenosti 10,0 m. Lamely byly hloubeny drapákem Stein K 810 pod ochranou pažicí bentonitové suspenze a vyplněny betonem C 30/37 – XA3 – XC2 – S4/S5 po vložení příslušných armokošů. Hlavy lamel byly po potřebném odbourání a očištění opatřeny železobetonovými roznášecími deskami pro následné uložení spodního svařence ocelového zatěžovacího mostu. Díky jednotlivých lamel PS byly instrumentovány jednak pomocí tenzometrů, jednak optickými kabely. Zkušební most typu „hříbek“ byl na každé z lamel přikotven 12 ks zemních předpjatých pramencových kotev. Tyto kotvy byly rozmístěny po obvodu kruhu o průměru 6180 mm. Statické zatěžovací zkoušky na všech zkušebních lamelách byly navrženy pro maximální zatížení o velikosti $P = 12,0$ MN. Kritériem pro ustalování zatížení byl jednak přírůstek deformace po dvou za sebou jdoucích měřeních sedání $\Delta s \leq 0,10$ mm, jednak minimální doba setrvání na příslušném zatěžovacím stupni 60 min. Deformace byla snímána čtyřmi nezávislými elektronickými snímači deformací a síla byla kontrolována dynamometry. Výsledkem studijních zatěžovacích zkoušek zkušebních lamel PS bylo stanovení charakteristických hodnot plášťového tření a napětí na patě pro přípustné sedání o velikosti $s \leq 10,0$ mm a $s \leq 15,0$ mm. Na základě těchto zkoušek doporučil zpracovatel posudku doc. Ing. Jan Masopust, CSc., počítat s předloženými charakteristickými hodnotami základových půd pro sedání lamel $s = 10$ mm.

Dalším podkladem pro změnu řešení byl nový vrt J999, pomocí něhož byla zjištěna napjatá hladina podzemních křídových zvodní. Toto zjištění bylo nutné následně upřesňovat dalšími průzkumnými vrty.

Dalším podstatným vstupem bylo pak i stanovisko Povodí Vltavy, s. p., ze dne 17. 4. 2019, které znemožňovalo provedení čerpání podzemní vody v průběhu výstavby do úrovně uvažované ve statickém výpočtu projektové dokumentace pro provádění stavby (PDPS).

Alternativní varianty

Na základě těchto podkladů byl autorský dozor dopisem objednatele požádán o zpracování a vyhodnocení výše zmíněných dopadů do technického řešení tunelu. Tato varianta je nazývána **Varianta Upravená PDPS**.

Zároveň dne 29. 11. 2019 předal dopisem zhotovitel stavby alternativní technické řešení konstrukce tunelu, které také reaguje na výše zmíněné poklady. Tato varianta je nazývána **Varianta Krabice**.

Varianta Upravená PDPS

Postup výstavby a použité prvky pro nosné konstrukce jsou **totožné jako ve stupni pro výběr zhotovitele (cut and cover)**. Na základě výsledků z doplňujícího průzkumu byly prodlouženy všechny tři podzemní stěny tunelu. V nejproblematičtějším místě došlo k prodloužení střední podzemní stěny o 18 m. V této variantě bylo také zásadně omezeno čerpání podzemní vody vně tunelu; zvýšené zatížení měly přenášet dočasné rozpěry uložené pod dnem tunelu, osazované během výkopů pod strohem tunelu.

Varianta Krabice

V této variantě dochází k zásadní změně koncepce konstrukce tunelu včetně postupu výstavby. Na rozdíl od původního řešení i varianty Upravená PDPS měla proběhnout výstavba tunelové konstrukce v **hloubené stavební jámě**. Její zapažení měly tvořit dvě vodotěsné podzemní stěny tl. 800 mm, vetknuté dostatečně hluboko pod úroveň základové spáry. Důležité přitom je, že hloubka těchto pažicích



Vznikající železobetonová konstrukce tunelu v zapažené stavební jámě, staveniště střed



Proudová metoda výstavby železobetonové konstrukce tunelu ve stavební jámě pažené kotvenými štětovými stěnami, staveniště střed

podzemních stěn neměla být větší než ve variantě PDPS. Pro stanovení hloubky vetknutí bylo nutno vzít do úvahy i vliv proudění podzemní vody pod patou stěny (stabilita dna proti hydraulickému zdvihu, vyplavování jemných částic – sufoze). Pro dočasné zajištění pažící konstrukce z podzemních stěn byly navrženy dvě řady ocelových rozpěr (rozepření v koruně PS a rozepření v mezilehlé poloze) tak, aby bylo možné vybetonovat konstrukci hloubeného tunelu pod rozpěrou v koruně podzemní stěny. Bylo tedy nutné, aby byly podzemní stěny hloubeny z vyšší úrovně, než bylo navrženo ve stupni PDPS. Po postupném odtěžení stavební jámy mezi podzemními stěnami (s jejich postupným zajišťováním ocelovými rozpěrami) na úroveň základové spáry měly být provedeny podkladní vrstvy a hydroizolační souvrství, na které měla být posléze vybetonována základová deska, která byla součástí uzavřené železobetonové konstrukce a zároveň plnila funkci spodní rozpěry podzemních stěn. Po odstranění mezilehlých trubních rozpěr následovalo vyrovnání povrchu podzemních stěn a instalace hydroizolačního souvrství. Potom měla být provedena betonáž tří svislých stěn, na které se nakonec měla vybetonovat stropní konstrukce, která současně vytvářela rozpěru mezi korunami podzemních stěn. Na stropní desku mělo být osazeno hydroizolační souvrství s ochranným systémem. Tímto postupem by vznikl uzavřený monolitický rám o dvou polích, který měl být kompletně uzavřen hydroizolačním souvrstvím. Následně mělo dojít k odstranění trubních rozpěr v koruně podzemních stěn, vybourání oken do podzemních stěn pro umožnění proudění podzemní vody a zásyp do potřebné úrovně.

V dubnu roku 2020 požádal objednatel autorský dozor o úpravu obou předložených řešení a zpřístupnil mu data z měření dlouhodobého monitoringu výšky hladiny podzemní vody v hydrogeologických vrtech HVN a HVS a stávajících studních (měření provádí firma Samson od 03/2017).

Z konferenčního projednání a porovnání variant z 03/2020 vyplynula nutnost zpracovat **celkem čtyři konstrukční varianty provedení tunelu:**

Varianta A: Konstrukce tunelu „PDPS“ – zastižená úroveň HPV bez snížení

Hloubka konstrukčních podzemních stěn byla navržena na základě výsledků ze Závěrečné zprávy o výsledcích studijních statických zatěžovacích zkoušek lamel podzemních stěn ZL 01, ZL 02 a ZL 03, zpracované doc. J. Masopustem, který na základě těchto zkoušek a na základě skutečně zastižené HPV z dlouhodobého hydrogeologického monitoringu a s ohledem na stabilitu konstrukce v jednotlivých fázích výstavby stanovil charakteristické hodnoty plášťových tření a únosnosti na patě v souladu s platnými normami. V této vari-

antě se neuvažovalo se snižováním hladiny podzemní vody vně stavební jámy. Pod dnem tunelu byla navržena rozpěrná konstrukce v reakci na skutečně zastiženou HPV z dlouhodobého hydrogeologického monitoringu.

Varianta B: Konstrukce tunelu „PDPS“ – snížená HPV

Hloubka konstrukčních podzemních stěn byla v této variantě B navržena stejným způsobem jako v předchozí variantě A s tím rozdílem, že nyní se počítalo se snižováním hladiny podzemní vody vně podzemních stěn po celé délce tunelu. Navržené dodatečné snižování hladiny podzemní vody umožnilo zcela vypustit dočasné ocelové rozpěry pod dnem tunelu.

Varianta C: Konstrukce tunelu „Krabice“ – zastižená úroveň HPV bez snížení

Pažení stavební jámy výkopu

Konstrukce tunelu byla navržena do stavební jámy zapažené vodotěsnou konstrukcí – štětovnicovou stěnou. Ta byla uvažována jako kotvená pramencovými kotvami ve dvou nebo třech úrovních. Vzhledem k zastiženým geologickým podmínkám nebylo v této variantě možné štětovnice beranit na celou hloubku, proto měly být osazovány do vytěžené rýhy tl. 600 mm a zality jílocementostruskovou směsí. V této variantě se neuvažovalo se snižováním hladiny podzemní vody vně stavební jámy.

Konstrukce tunelu

Nosnou konstrukci tvoří v této variantě železobetonový rám o dvou polích, vytvářející dvě komory. Jedná se o plošně založenou železobetonovou konstrukci tunelu s tlakově uzavřeným systémem hydroizolačního souvrství.

Varianta D: Konstrukce tunelu „Krabice“ – snížená HPV

Pažení stavební jámy výkopu

Konstrukce tunelu byla navržena do zapažené stavební jámy. V tomto řešení se uvažovalo se snižováním hladiny podzemní vody vně stavební jámy po celé délce tunelu. Stavební jáma je z části zapažena vodotěsnou pažicí konstrukcí – štětovnicovou stěnou – a z části záporovým pažením (v místech snížení HPV pod dno stavební jámy). Štětovnicová i záporová stěna jsou navrženy jako kotvené pramencovými kotvami ve dvou úrovních.

Konstrukce tunelu

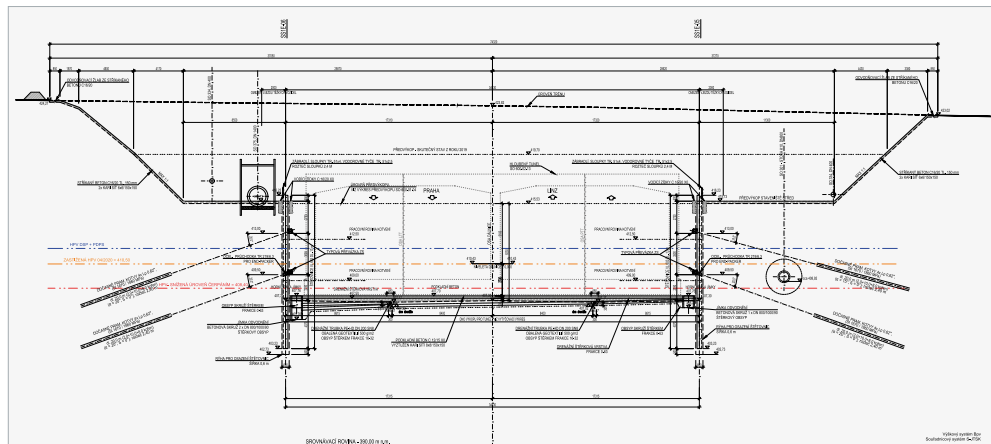
Nosnou konstrukci tvoří stejně jako v předchozí variantě C železobetonový rám o dvou polích, vytvářející dvě komory. Jedná se o plošně založenou železobetonovou konstrukci tunelu s tlakově uzavřeným systémem hydroizolačního souvrství.

Ve variantách se sníženou HPV navrhl autorský dozor možné snížení aktuálně zastížené hladiny podzemní vody při výstavbě po celé délce tunelu. K ověření lokálních hydrogeologických poměrů byly v rámci první fáze vybudovány čtyři skupiny čerpacích studní po 3 ks. Studny byly realizovány při patě svahu stávající úrovně skrývky v trase tunelu. Na základě výsledků z čerpacích zkoušek bylo provedeno hydrogeologické posouzení vlivu navrhovaného snížení hladiny podzemní vody během výstavby tunelu a zahájeno správné řízení pro povolení k nakládání s podzemními vodami – čerpání podzemní vody za účelem snížení její hladiny v prostoru „SO 600 – tunel Pohůrka“.

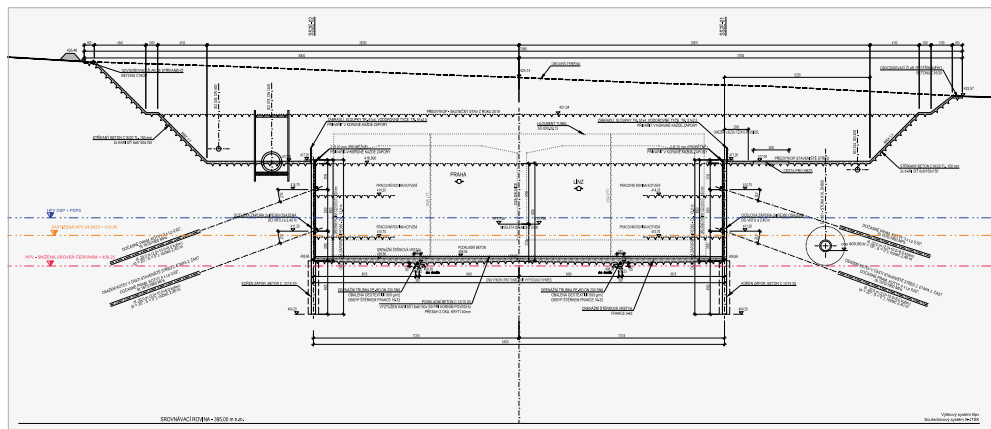
Z porovnání výše uvedených čtyř variant vyšla nejvýhodněji varianta D – Konstrukce tunelu „Krabice“ – snížená HPV, která prokazovala nejnižší náklady na výstavbu a nejrychlejší dobu dokončení. Podmínkou možnosti realizace této varianty bylo získání povolení k nakládání s podzemními vodami – čerpání podzemní vody za účelem snížení její hladiny v prostoru „SO 600 – tunel Pohůrka“, které se podařilo získat.



Armování základové desky a stěn tunelu ve stavební jámě pažené kotveným záporovým pažením, staveniště střed



Příčný řez stavební jámy paženou pomocí kotvených štětových stěn, staničení 135,660



Příčný řez stavební jámou paženou pomocí kotveného záporového pažení, staničení 135,760



Armování základové desky tunelu

Výsledná varianta (D)

V tomto řešení je tedy výstavba tunelu navržena odlišným způsobem od zadávací dokumentace. Principem je provedení stavební jámy dočasně zajištěné dvěma technologiemi dle zastížení hladiny podzemní vody (HPV) nad nebo pod úrovní výkopu pro tunel. V případě zastížení HPV nad touto úrovní byla stavební jáma tunelu zajištěna kotvenými štětovými stěnami (úsek Pražský portál – 135,680 km). V případě úrovně HPV pod touto úrovní byla stavební jáma zajištěna kotveným záporovým pažením s výdřevou (135,680 km – Kaplický portál). V takto zajištěném jámě bylo postupně budováno plošné založení konstrukce tunelu. Finální monolitická konstrukce tunelu bude celá opatřena tlakovým systémem hydroizolace bez nutnosti provedení trvalého drenážního systému.

Zajištění stavební jámy štětovými stěnami

V zastížené geologii nebylo možné štětovnice beranit, musely proto být osazovány do rýhy těsnicí podzemní stěny tl. 600 mm dostatečné hloubky vyplněné samotvrdnoucí jílocementostruskovou směsí. Délky štětových stěn byly dány statickou analýzou, kdy musí odolat zemnímu a hydrostatickému tlaku. Koruna štětovnic kopírovala niveletu tunelu.

Toto řešení štětových stěn zaručuje vodonepropustnost konstrukce včetně spáry v napojení na podzemní stěny portálových stěn. Délky štětových stěn jsou odstupňované a liší se v podélném směru podle toho, v jaké části tunelu se nachází. Vychází se ze statických výpočtů, přičemž se z důvodů zajištění statické spolehlivosti počítá se zastížením nepříznivých geologických a hydrogeologických poměrů.

Pro omezení průsaků a přítoků podzemní vody do hloubené zapažené jámy byly současně s těsnicími podzemními stěnami v linii tunelu navrženy i příčné jílostruskové stěny s pevností min 0,5 MPa, a to vždy na konci jednotlivých etap linie tunelu. Při provádění výkopů bylo navrženo postupné snižování hladiny v prostoru stavební jámy systémem čerpacích studní, které kromě čerpání plnily funkci pozorování změn režimu

podzemních vod i v okolí tunelu po dobu výstavby.

Kotvení štětových stěn bylo navrženo dočasnými pramencovými kotvami různých délek a sklonů přes ocelové převázky. Mezi stěnou budoucího hloubeného tunelu a pažením byl navržen pracovní prostor šířky cca 1500 mm. Pokud se vstup kotvy pažící stěnou nacházel pod hladinou podzemní vody, byl zhotoven jako vodotěsný.

Zajištění stavební jámy záporovým pažením

Zápory byly navrženy z dvojice profilů IPE 360 à 2,4 m (ocel S235). Kotveny byly přímo přes ocelový profil, nebylo tedy

nutné na stěnu osazovat ocelové převázky. Vlastní pažení bylo navrženo pomocí polohraněného řeziva.

Podrobnější technický popis provádění pažení stavební jámy výkopu tunelu oběma technologiemi speciálního zakládání přinášíme v následujícím článku tohoto tématu.

Konstrukce tunelu

Nosnou konstrukci tunelu tvoří plošně založený železobetonový rám o dvou polích, vytvářející dvě komory s tlakově uzavřeným systémem hydroizolačního souvrství.

Standardní příčný řez tunelu je obdélníkový s vnitřní světlostí šířkou 14,65 m v LTT a 14,15 v PTT. Výška konstrukce v LTT i PTT je 7,930 m. Nad průjezdným prostorem výšky 4,8 m je pojistný prostor výšky 0,30 m a prostor pro osvětlení a portály proměnného dopravního značení. V místech umístění velkoplošných dopravních značek a ventilátorů je strop tunelů zvýšen na potřebnou úroveň při zachování pojistného prostoru nad průjezdným profilem.

Stropní deska je ze statických důvodů vyprojektována s náběhy k bočním a střední stěně. Pracovní spáry stěny a stropu jsou při realizaci náležitě ošetřeny. Tloušťka stropní konstrukce je v převážné délce tunelu 1,0 m.

V místech křížení tunelu s přeložkou kanalizace DN1400 (km 135,122), definitivní přeložkou Dobrovodského potoka SO 379 a 380 (km 135,132), stokou SO 334 (km 135,580) a s vodovodem v Ledenické ulici (km 136,096) je profil tunelu snížen. Výstavba tunelu probíhá v souladu s etapizací výkopů a přeložek na povrchu (Dobrovodská a Ledenická ulice, Dobrovodský potok, retenční nádrž, kanalizace atp.).

Postup výstavby tunelu

Po zhotovení drenážních a podkladních vrstev je provedena hydroizolace základové desky s tvrdou ochranou. Na hydroizolaci je vybetonovaná základová deska. Následně jsou zhotoveny tři monolitické podélné stěny tunelu, na které je vybetonovaná

stopní deska. Hydroizolace je na stěny provedena jako kotvená z vnějšího povrchu. Stropní deska bude taktéž opatřena hydroizolačním systémem s tvrdou ochranou. Tímto způsobem vznikne ze všech stran zaizolovaná konstrukce tunelu s plošným založením. Hydroizolace je prováděna z PVC tl. 3 mm. Prostor mezi pažením stavební jámy a konstrukcí tunelu je po dokončení nosné konstrukce vyplněn popílkovým stabilizátem pevnosti cca 1 MPa. Tento stabilizát je ukládán po jednotlivých etážích tak, aby mohly být deaktivovány dočasné pramencové kotvy pažení stavební jámy tunelu. Po zalití a vytvrnutí stabilizátu jsou jednotlivé štětovnice vytaženy. Následuje provedení definitivních zásypů a přeložek na povrchu. Nosná konstrukce je rozdělena na 76 dilatačních dílů různých délek. Všechny pracovní a dilatační spáry jsou navrženy jako vodotěsné.

Pražský portál (severní)

Objekt Pražského portálu (staničení 135,095 km) zajišťuje napojení dálničního tělesa na objekt hloubeného tunelu v místě Dobrovodské ulice. Vlastní portál vytváří rozšířené zpevněné plochy před vjezdem do tunelu v rozsahu od km cca 135,00 do km 135,096. V nejšířím místě bude plocha široká až cca 77,0 m. Ve směru jízdy vpravo od Prahy bude situován provozně technický objekt (PTO). V PTO budou umístěny místnosti el. vybavení a ovládání provozu v tunelu, sklady materiálu, ústředna mobil. telefonů, lokální pracoviště s vybavením a čerpací stanice. Objekt bude dočasně sloužit pro trvalý pobyt osob, posléze pouze pro pobyt občasný. Jedná se o zděný objekt rozměrů cca 26x14 m a výšky 5 m. Před PTO bude umístěna podzemní nádrž požární vody a nádrž odlučovače ropných látek (ORL).

V pravém rohu portálu (ve směru staničení dálnice na jih) bude umístěna šachta odvodňovací stoky do Dobrovodského potoka. Volné zpevněné plochy před a za PTO budou používány jako nástupní plochy pro IZS v případě mimořádné události v tunelu a pro techniku provozu a údržby. Ve směru jízdy do Prahy, ven z tunelu, bude vpravo rozšířená plocha, která dále přechází do odbočovacího pruhu nouzového výjezdu. Na ploše bude umístěna podzemní nádrž kontaminovaných vod. Kromě jmenovaných konstrukcí budou na ploše před portálem umístěny vždy dva nadzemní hydranty požárního vodovodu a SOS hlásky. Pod povrchem budou uložena kanalizační, drenážní a vodovodní potrubí s revizními šachtami, kabelovody s kabelovými šachtami pro silnoproudé, slaboproudé a sdělovací kabely.

Zajištění stavební jámy portálu

Podzemní stěny

Portálové stěny Pražského portálu byly navrženy jako trvalé konstrukce v půdorysném tvaru otevřeného U. Tvoří je kotvené konstrukční podzemní stěny tl. 800 mm a 1000 mm (PS80, PS100) v délkách 11,2 – 23,0 m. Podrobný popis zhotovení portálových stěn viz následující článek tohoto tématu.

Vzhledem k tomu, že při hloubení zapažené stavební jámy portálu tunelu po dokončení podzemních stěn v heterogenním prostředí mohlo dojít k zastížení větších lokálních zvodní se zvyšujícími přítoky vody, byla v předstihu realizována tato opatření:

- průběžný hydrologický monitoring z navržené sítě čerpacích a pozorovacích studní;
- odvodňovací šachty a odvodňovací štoly do Dobrovodského potoka;
- jílostruskové příčné těsnicí clony realizované společně s podzemními stěnami;
- drenážní podzemní stěny vyplněné propustným materiálem, situované vně jámy pro pražský portál;
- podélné těsnicí podzemní stěny, které mají za účel přerušit proudění podzemní vody do prostoru portálu a odclonit možné průsaky;
- subhorizontální odvodňovací vrty, ústící do líce obložení podzemních stěn a do odvodňovacích rigolů; voda z vrtů bude svedena do odvodnění portálu a do odvodňovací štoly;
- plošná drenáž portálu do odvodňovací štoly z kameniva pro minimalizaci vztlínání podzemní vody na zpevněné plochy a pro eliminaci rizika hydraulického prolomení dna.



Pažení stavební jámy Pražského portálu kotvenými podzemními stěnami

Smyslem těchto opatření je systémové trvalé odvedení podzemních vod z prostoru portálu, trvalé snížení hladiny podzemní vody za rubem podzemních stěn na úroveň cca 4–5 m nad niveletu dálnice a dále minimalizace průniků vody do konstrukčních vrstev zpevněných ploch na portále a trvalé odvádění průsakových vod odvodňovací štolou.

Kaplický – jižní portál

Objekt Kaplického portálu (staničení 136,096 km) zajišťuje napojení dálničního tělesa na objekt hloubeného tunelu v místě Ledenické ulice. Vlastní portál vytváří rozšířené zpevněné plochy před vjezdem do tunelu ve staničení 136,096 – 136,165. V nejširším místě bude plocha na horní hraně zářezu široká až cca 135,0 m. Výkopy jsou zde provedeny nejen pro vlastní portál, ale také pro předportálovou otevřenou část se sjezdovou rampou a přípojovacím nouzovým pruhem z Ledenické ulice. Plocha je rozšířena pro nástup IZS a odstav techniky provozu a údržby. Na straně rozšíření je umístěna podzemní nádrž požární vody.

Po stranách portálu budou umístěny dva nadzemní hydranty požárního vodovodu a SOS hlásky. Pod povrchem budou uložena kanalizační a vodovodní potrubí s revizními šachtami, kabelovody s kabelovými šachtami pro el. kabely. Boční stěny stavební jámy portálu jsou zajištěny po stranách svahovaným výkopem, stejně jako navazující část dálnice ve volném terénu.

Zajištění stavební jámy portálu

Podzemní stěny

Stěny Kaplického portálu jsou tvořeny kotvenými konstrukčními podzemními stěnami tl. 800 mm o délkách 11,2 – 18,2 m. Na Kaplickém portále, podobně jako na Pražském portále, byla PS doplněna o část směřující ke konstrukci tunelu a navazující na pažici záporovou stěnu stavební jámy tunelu. Podrobný popis zhotovení portálových stěn Kaplického portálu viz opět následující článek tohoto tématu.

Konstrukce vnitřního vybavení tunelu

Vnitřní konstrukce jsou především podkladní a výplňové betony, nouzové chodníky s kabelovody a šachtami pro trasy el. kabelů, šterbinové žlaby a obrubníky, protipožární dveře úniků, chráničky pro příčné převedení kabelů do stěn a stropů v tunelu, nosníky pro nesení dopravního značení a jiné konstrukčně stavební a bezpečnostní prvky.



Pažení stavební jámy Kaplického portálu podzemními stěnami s dokončovanou hrubou vestavbou tunelu

Vnitřní líc podzemních stěn bude opatřen kotvenou monolitickou betonovou přibetonávkou s pojistnou plošnou drenážní vrstvou z nopových fólií a podélnou drenáží pod nouzovými chodníky.

Odvodnění tunelu je zajištěno tunelovou kanalizací s revizními šachtami v chodníku tunelu. Potrubí odvodnění je uloženo v desce dna tunelu. Do kanalizace je zaústěno odvodnění pojistných drenáží a šterbinových žlabů.

Zásypy

Zásypy železobetonové rámové konstrukce tunelu se budou provádět po etapách v souvislosti s realizací podzemních stěn a stropních konstrukcí. V souběhu se zásypy tunelu budou prováděny přeložky kanalizačních stok jako součást definitivních úprav povrchu. Hutněné zásypy budou prováděny vytěženým materiálem, který bude na deponii tříděn podle vhodnosti užití do zásypů. U méně vhodných až nevhodných typů zemin bude jejich zpětné uložení podmíněno provedením stabilizace hydraulickými pojivy. Zemní těleso zásypů, do úrovně stávajícího terénu, bude dosahovat výšky do 6 m, a to v závislosti na konfiguraci původního a nového upraveného terénu. V křížení konstrukcí tunelu a Dobrovodského potoka je navrženo výškové uspořádání, kdy přesýpaný tubus dálničního tělesa vytváří hráz na Dobrovodském potoce. Zásypy v prostoru budoucí hráze retenční nádrže se budou realizovat v rámci objektu nádrže, kdy budou předepisovány náročnější požadavky na kvalitu zásypového materiálu a hutnění. Tato hráz vytváří prostor pro poldr a realizaci vodní nádrže. Součástí tohoto objektu stavby jsou konstrukce pro definitivní převedení Dobrovodského potoka přes hráz nad tunelem zpevněným korytem a shybka na potoce pod konstrukcí tunelu.

Definitivní úpravy povrchu terénu nad tunelem, okolo portálů a opěrných zdí jsou vytvořeny kromě zasypáním objektů do původního, resp. upraveného, tvaru terénu také zatravněním.

Současný stav postupu prací (únor 2024)

Pražský portál

Stavební jáma Pražského portálu je dokončena, jsou provedeny všechny práce na pažici konstrukci a portál je v podstatě dotěžen na základovou spáru. V současné době probíhá výstavba provozně technologického objektu, buduje se nádrž na kontaminovanou vodu z tunelu, nádrž na požární vodu, včetně požárního vodovodu, zároveň probíhá výstavba kabelovodů, kanalizací, drenážního systému či definitivního obkladu viditelné části podzemních stěn.

Konstrukce tunelu

Konstrukce tunelu je k dnešnímu dni prakticky dokončena, ukončení betonáže se předpokládá na začátku dubna. Zároveň probíhají práce na izolaci konstrukce tunelu a také dochází k jeho postupnému zasypávání. Uvnitř tunelu probíhá výstavba chodníků, kabelovodů, požárního vodovodu, kabelových lávek atd.

Kaplický portál

Je kompletně provedena čelní stěna portálu včetně portálové části tunelu. Z prostoru portálu byla na stropní desku tunelu přeložena Ledenická ulice. Na portálu zbývá vybudovat kabelovody, odvodnění a obklad viditelné části podzemních stěn.

Ing. Tomáš Urbánek, MPI Projekt, s. r. o.

Pohůrka tunnel on the D3 highway on the České Budějovice bypass, development of the design solution

The Pohůrka tunnel is a new excavated tunnel on the České Budějovice bypass, which will be part of the D3 highway in the Úsilné–Hodějovice section at km 131.240–138.450. This section is the first part of the České Budějovice bypass with a length of 7.2 km, the second part of the bypass consists of a connecting section from Hodějovice to Třebonín with a length of 12.5 km. The Pohůrka tunnel is located southeast of the city center of České Budějovice, near the city district of Suché Vrbné and the villages of Dobrá Voda and Stará Pohůrka. The total proposed length of the tunnel is 999.5 m. The tunnel consists of a reinforced concrete structure with a proposed service life of at least 100 years and is designed as an excavation under a relatively flat undeveloped area just below the bed of the Dobrovodského stream. The portals of the tunnel approach Dobrovodská Street (Prague Portal) and Ledenická Street (Kaplický Portal). We present the extensive and significant construction of the tunnel further in two articles. In the first article from the main designer of the tunnel, we mainly describe the development of the entire complex project from the initial stages to the final optimized solution. In the second article, we provide a detailed description of the special foundation works, the supplier of which is the company Zakládání staveb, a. s. Construction work began on the construction site in 2019 and continues with breaks until today (02/2024).

iMateriály

Internetový portál pro odbornou stavební veřejnost. Přináší aktuální informace z oboru stavebnictví, novinky v oblasti stavebních materiálů a výrobků a odborné články renomovaných autorů.

