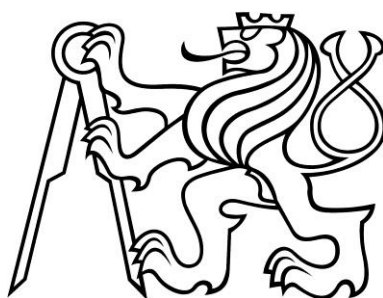


České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební

Diplomová práce



Železniční most přes dálnici v Hodějovicích

Technická zpráva

2014

Bc. Martin Macho

Obsah

1.	Umístění objektu a popis železniční tratě.....	3
2.	Geologické podmínky.....	3
3.	Popis řešeného objektu	4
4.	Použité materiály	4
5.	Zatížení, kombinace zatížení	5
5.1.	Stálé zatížení.....	5
5.2.	Proměnné zatížení.....	5
5.3.	Kombinace zatížení	5
6.	Výpočetní model a určení vnitřních sil na konstrukci	6
7.	Hlavní nosná konstrukce	6
7.1.	Běžný příčník.....	6
7.2.	Koncový příčník	6
7.3.	Žlab kolejového lože	6
7.4.	Hlavní nosník.....	7
7.5.	Oblouk	7
7.6.	Ztužení oblouků.....	7
7.7.	Závěsy.....	7

1. Umístění objektu a popis železniční tratě

Mostní objekt se nachází v jižních Čechách poblíž obce Staré Hodějovice nedaleko Českých Budějovic. Převádí přeložku železniční trati Plzeň - České Velenice v km 209,636. Přemost'ovanou překážkou se stane nově budovaná dálnice D3 v km 138,437, Starohodějovický potok a polní cesta. Dálnice D3 vedoucí z Prahy do Dolního Dvořiště bude v tomto místě budována v rámci úseku 0310/II Hodějovice - Třebonín s kategorií D27,5/120. V místě křížení se železničním mostem je šířkové uspořádání dálnice následující: 2 jízdní pruhy šířky 3,5 m v pro každý směr, středový ostrůvek šířky 3,5 m, dále odbočovací pruh šířky 3,5 m ve směru Linz - Č. Budějovice a připojovací pruh šířky 3,5 m ve směru opačném.. Celková šířka překonávané dálnice, včetně terénních úprav pak činí 50,5 m. Původní koryto Starohodějovického potoka v místě křížení bude přeloženo a upraveno na šířku zhruba 4 m. Posledním přemost'ovaným objektem je polní cesta šířky 4,8 m. Průjezdne profily komunikací mají výšku 4,8 m u dálnice a 4,2 m u polní cesty.

Most je umístěn v extravilánu v terénu s nadmořskou výškou pohybující se mezi 406 a 413 m n. m. Podélný sklon mostního objektu je 9,94 ‰ (klesání směrem od Č. Velenic). Železniční trať je jednokolejná s návrhovou rychlostí 100 km/h a v místě převádění se nachází v levostranném směrovém oblouku o poloměru 1950 m ve směru od Č. Velenic. Převýšení koleje pak činí 37 mm.

S ohledem na směrové poměry tratě a na celkovou šířku přemost'ované překážky se v tomto místě budou nacházet celkem tři mosty. Střední pole - navrhovaný mostní objekt - bude přemost'ovat křižující dálnici D3 a krajní pole pak budou překonávat zbylé překážky. Směrem od Českých Velenic bude krajní most o rozpětí 26 m přemost'ovat polní cestu a část údolí. Druhý krajní most o stejném rozpětí pak Starohodějovický potok a přilehlou část údolí.

Železniční svršek má v případě všech tří polí normální rozchod kolejnic 1435 mm. Je tvořen kolejnicí UIC 60, upevněním Wossloh W14 a železobetonovými pražci B91/S. Tloušťka kolejového lože pod pražci je minimálně 300 mm a je zde navíc rezerva 40 mm.

2. Geologické podmínky

V rámci podrobného geotechnického průzkumu byla provedena řada dílčích průzkumných prací, za účelem zjištění základových poměrů v místě plánované stavby. Jednalo se o provedení průzkumných vrtů, převzetí archivních vrtů a sond, laboratorní zkoušky za účelem zjištění vlastností a agresivity zemin. Dále byly uskutečněny polní zkoušky a měření a geotechnické výpočty (sedání a stabilita svahu).

Průzkumy ukázaly, že geologické poměry v místě v mostního objektu jsou složité, neboť hladina podzemní vody se v blízkosti potoka nachází v malé hloubce pod terénem až v úrovni terénu a ovlivní budoucí stavební činnost. V podloží se vyskytují kvartérní sedimenty s dominancí písků hlinitých až jílovitých (S4 SM, S5 SC) a křídové sedimenty s dominancí jílovitých zemin (jíly se střední až vysokou plasticitou F6 CI - F8 CH, pevné až tvrdé konzistence). V místě se dále nachází několik tektonických zlomů.

Podzemní voda dle rozborů vody z blízkých vrtů vykazuje střední agresivitu na betonové konstrukce - XA2 (agresivními činiteli jsou sírany a agresivní CO₂). Hloubka podzemní vody byla stanovena na 1,2 m v údolí až 8,3 m na svazích.

Na základě uvedených skutečností byla stavba mostního objektu zařazena do 3. geotechnické kategorie.

3. Popis řešeného objektu

Navrhovaným objektem je obloukový ocelobetonový most se šikmými závěsy. Hlavními nosnými prvky je dvojice plnostěnných ocelových trámů, které jsou vyztuženy ocelovými oblouky komorového průřezu. K obloukům jsou trámy zavěšeny pomocí ocelových mostních závěsů. Oblouky jsou dále propojeny šesti ztužujícími příčlemi. Mostovka je tvořena zabetonovanými ocelovými příčnicemi. Teoretické rozpětí nosné konstrukce je 69 m a její celková délka je 70,12 m. Vzepětí oblouku činí 12,5 m stavební výška je 1185 mm.

Mostní objekt bude přemostovat křižující dálnici D3 a část k ní přilehlého údolí., přičemž osa mostu svírá s osou dálnice úhel 40 stupňů. Most je v přímé a převádí železniční trať nacházející se ve směrovém oblouku o poloměru 1950 m. Průjezdny průřez je uvažován VMP 2,5. Vzhledem k půdorysnému zakřivení tratě a převýšení koleje je šířkové uspořádání na mostě uvažováno následovně: Vzepětí směrového oblouku na délce nosné konstrukce 70,12 m činí 316 mm a osa nosné konstrukce dělí toto vzepětí na dvě poloviny. Můžeme tedy říct, že vlak je nejbližší pravému trámu v polovině jeho rozpětí a nejbližší levému trámu na jeho začátku a konci při jízdě směrem od Č. Velenic. Převýšení koleje 37 mm pak způsobuje odklonění osy koleje od svislé přímky o 38 mm, které je měřeno na spojnici temen obou kolejnicových pásů. Šířka VMP 2,5 při převýšení koleje má hodnotu 5074 mm. Dále je uvažována rezerva na každé straně 125 mm. Celková volná šířka na mostě mezi ocelovými oblouky tedy je: $5074 + 316 + 2 \cdot 125 = 5640$ mm. Uvažovaná hodnota pak je 5650 mm. Minimální volná průjezdná výška mezi niveletou koleje a příčným ztužením oblouků je 7000 mm, která je dána výškou průjezdného průřezu a místem potřebným pro umístění a instalaci trakčního vedení.

Ložiska jsou navržena kalotová, protože jsou schopná přenést velká zatížení a zároveň umožňují dostatečný posun a natočení konstrukce. Spodní stavbu mostu tvoří dva železobetonové pilíře založené na železobetonových základech, které jsou dále podporovány vrtanými železobetonovými pilotami.

4. Použité materiály

Ocel

- ocel S355 J2+N: nosná konstrukce mostu (hlavní nosníky, příčnicemi, oblouky, ztužení, styčnickové plechy, výztuhy)
- ocel S235 J2G3: spřahovací trny
- ocel S460: mostní závěsy (tyče)

Betonářská výztuž B500B

Beton

- beton C30/37 - XF2: žlab kolejového lože, dřívky pilířů a opěr
- beton C30/37 - XF2: úložné prahy
- beton C25/30 - XA2: základové desky, piloty
- beton C12/15 - X0: podkladní beton

5. Zatížení, kombinace zatížení

5.1. Stálé zatížení

Jako stálé zatížení jsme uvažovali vlastní tíhu nosné ocelové konstrukce a železobetonové desky. Ostatní stálé zatížení tvoří železniční svršek (kolejnice, upevňovací, pražce), kolejové lože a vodotěsná izolace.

5.2. Proměnné zatížení

Mezi proměnná zatížení bylo zařazeno zatížení železniční dopravou. Uvažovali jsme model LM71 a model Nezatížený vlak. Kromě svislých účinků vyvozených těmito modely bylo třeba počítat s vodorovnými účinky, které představuje boční ráz a odstředivé síly v příčném směru a rozjezdové a brzděné síly v podélném směru mostu. Odstředivé síly bylo nutné počítat z důvodu převýšení koleje a protože se trať na mostě nachází ve směrovém oblouku. Dalším proměnným zatížením působícím na most je klimatické zatížení v podobě větru a teploty. Konstrukce se bude nacházet ve II. větrné oblasti se základní rychlostí větru 25 m/s a v oblasti s II. kategorií terénu. Zatížení od teploty jsme uvažovali jako rovnoměrné ochlazení a ohřátí celé konstrukce a dále samotné ochlazení a ohřátí jen železobetonové desky. A nakonec také ochlazení jen mostních závěsů vůči zbytku celé konstrukce.

Dále jsme v montážním stavu uvažovali staveništní zatížení o velikosti 0,75 kN/m² na celé ploše a 0,75 kN/m² na soustředěné ploše 3x3 m.

5.3. Kombinace zatížení

V mezním stavu únosnosti jsme uvažovali kombinace zatížení pro dočasnou a trvalou návrhovou situaci dle 6.10a a 6.10b.

Jako dominantní proměnné zatížení jsme uvažovali sestavu zatížení od železniční dopravy (vlak + rozjezd nebo brzdění + odstředivé síly + boční ráz). Rozjezd a brzdění pak navíc ve dvou směrech (od pevných ložisek směrem k podélně pohyblivým a naopak od pohyblivých směrem k pevným ložiskům v podélném směru mostu). Pro jednotlivé prvky pak byla zatížení od dopravy násobena dynamickým a klasifikačním součinitelem. Vedlejší zatížení pak byly vítr a teplota, u které jsme postupně brali rovnoměrné oteplení (A), rovnoměrné ochlazení (B), oteplení žb desky (C), ochlazení žb desky (D) a samostatné ochlazení závěsů (E) vůči zbytku konstrukce. Různé teplotní zatížení bylo v kombinacích značeno písmeny ze závorek. Sestavu zatížení s modelem Nezatíženého vlaku jsme použili jen pro posouzení stability a pro návrh ložisek.

Pro mezní stav použitelnosti jsme uvažovali charakteristickou kombinaci zatížení (pro posouzení napětí) a častou kombinaci pro posouzení průhybu a únavy.

Jednotlivé kombinace byli zadávány do výpočetního programu, aby bylo možné zjistit ve kterém místě na jednotlivých prvcích mají zatížení najednou spolu působící vůbec největší účinek. Postupně byly zjišťovány maximální účinky od jednotlivých kombinací na vybraných prvcích.

6. Výpočetní model a určení vnitřních sil na konstrukci

Pro stanovení vnitřních sil na konstrukci jsme použily celkem 4 výpočetní modely. Využily jsme výpočetního programu Scia Engineer. Hlavní nosná konstrukce byla modelována prostorovým prutovým model, přičemž jednotlivé pruty měly skutečné průřezové charakteristiky. ŽB deska byla modelována deskovým prvkem se zvolenou průměrnou tloušťkou desky. První model představoval fázi montáže, kdy ocelové příčníky nesly tíhu mokrého betonu, bednění a vody. Druhý model sloužil k určení vnitřních sil na již dokončené konstrukci v čase $t = 0$. Zde již působil sprážený průřez příčníku a desky. Třetí model vystihoval dotvarování betonu (v čase $t = 100$ let) a čtvrtý model účinky smrštění betonu. Dotvarování jsme modelovali změnou modulu pružnosti betonu a stejně tak i vliv smrštění, které dále bylo vystihováno jako ochlazení žb desky, které jsme vypočítali z poměrného přetvoření betonu. Proměnné zatížení od dopravy bylo modelováno pomocí funkce pohyblivého zatížení. Vybrané přípoje byly modelovány pomocí plošných prvků - dese a stěn.

7. Hlavní nosná konstrukce

7.1. Běžný příčník

Běžný příčník je navržen jako plnostěnný ocelový svařovaný nosník. Je proměnné výšky, přičemž průřez je tvaru I. Ve středu rozpětí má výšku 360 mm. Směrem od středu se oboustranně snižuje ve sklonu 3% aby byl zajištěn sklon mostovky pro odvodnění v příčném směru. V nejnižším místě (vzdáleném 2200 mm od středu rozpětí) je výška příčníku 294 mm. Dále směrem k uložení se naopak výška mění pomocí náběhu se sklonem 1:2 až na konstantní hodnotu 450 mm. Příčný řez je symetrický podle vodorovné i svislé osy, přičemž horní a dolní pásnice mají šířku 150 mm a tloušťku 14 mm. Výška stojiny se mění od 332 mm ve středu rozpětí na výšku 266 mm v nejnižším příčném řezu. Tloušťka stojiny je 10 mm. V místě připojení na hlavní nosník je pak výška 422 mm a tloušťka 14 mm. Rozpětí běžných příčníků je 6250 mm a jejich vzdálenost od sebe je 720 mm. Příčníky jsou zabetonované, přičemž tloušťka železobetonové desky mostovky nad horními pásnicemi je 100 mm. Ve výšce 40 mm nad horním lícem dolní pásnice jsou ve stojinách vyvrtány otvory, kterými prochází podélná betonářská výztuž desky.

7.2. Koncový příčník

Koncový příčník je rovněž navržen jako plnostěnný ocelový svařovaný nosník. Je však robustnější, jelikož je namáhán většími vnitřními silami a musí splnit požadavky na maximální dovolený svislý průhyb, který je předepsán hodnotou 3 mm. Příčník je proměnné výšky s průřezem je tvaru I. Výška je shodná s výškou běžného příčníku. Příčný řez je symetrický podle vodorovné i svislé osy, přičemž horní a dolní pásnice mají šířku 250 mm a tloušťku 30 mm. Výška stojiny se mění od 296 mm ve středu rozpětí na výšku 230 mm v nejnižším příčném řezu. Tloušťka stojiny je 15 mm. V místě připojení na hlavní nosník je pak výška 386 mm a tloušťka 30 mm. Rozpětí koncových příčníků je opět 6250 mm a otvory ve stojinách prochází podélná betonářská výztuž.

7.3. Žlab kolejového lože

Žlab pro kolejové lože je tvořen železobetonovou deskou a boky. Deska má proměnnou tloušťku přičemž kopíruje tvar příčníků. Tloušťka nad horním lícem horních pásnic činí 100

mm. Před betonáží samotné desky je na dolní pásnice příčníků uloženo bednění z cementotřískových desek CETRIS tloušťky 15 mm, které funguje jako ztracené a v konstrukci zůstává. Je zde navržena podélná a příčná výztuž. Při horním povrchu mají výztužné pruty v podélném směru průměr 10 mm a jsou uloženy v osové vzdálenosti 125 mm. Krytí od povrchu desky k povrchu výztuže je 50 mm. V příčném směru jsou pruty také průměru 10 mm ve vzdálenosti 125 mm. Při dolním povrchu jsou v podélném směru mostu uloženy pruty průměru 20 mm po 200 mm a v příčném směru pruty shodného profilu po 100 mm. Boky žlabu jsou dále spřaženy se stěnou hlavního nosníku spřahovacími trny průměru 19 mm a délky 135 mm.

7.4. Hlavní nosník

Hlavní nosníky jsou navrženy jako plnostěnné ocelové svařované s konstantní výškou průřezu 1500 mm po celé délce. Průřez je tvaru I a obě pásnice mají shodnou šířku 530 mm a tloušťku 35 mm, která se na koncích nosníků v oblasti přípoje k oblouku zvětšuje na 40 mm. Výška stojiny pak je 1430 mm respektive 1420 mm. Tloušťka stojiny je 15 mm a stejně jako pásnice se na koncích nosníků zvětšuje na 25 mm. V místech připojení styčnickového plechu pro závěsy je pak tloušťka stojiny 30 mm v horní polovině stojiny. Stojina nosníku je vyztužena svislými výztuhami tloušťky 25 mm, které jsou ve vzájemné vzdálenosti 2880 mm. Teoretické rozpětí trámu je 69,12 m a za úložnými přímkami ještě přesahuje o 0,5 m na každé straně mostu.

7.5. Oblouk

Ocelové oblouky mají plnostěnný komorový svařovaný průřez. Výška průřezu je proměnná a pohybuje se od 500 mm ve vrcholu oblouku po 650 mm v místě montážního styku před přípojem k hlavnímu nosníku. Pásnice komory mají tloušťku 35 mm a šířku 600 mm. Stěny jsou pak vysoké od 430 do 580 mm a 35 mm tlusté. Oblouk má tvar paraboly druhého stupně a jeho délka měřená v ose je 74,33 m. K hlavním nosníkům je připojen s excentricitou, která je rovna jedné čtvrtině výšky nosníku. To znamená, že osy obou hlavních nosných prvků se v místech úložných přímků mostu neprotínají, ale jsou od sebe vzdáleny 375 mm ve svislém směru.

7.6. Ztužení oblouků

Oblouky jsou v horní části spojeny ocelovými příčlemi, které slouží jako vodorovné ztužení. Průřez příčlí je komorový svařovaný výšky a šířky 500 mm. Tloušťka stěny i pásnice je 25 mm.

7.7. Závěsy

Mostní závěsy jsou tvořeny ocelovými táhly Macalloy z oceli třídy S460. Jednotlivé závěsy jsou nataženy šikmo pod úhlem zhruba 60 stupňů, který svírají s trámem. Na koncích jsou opatřeny vidlicovou koncovkou a pomocí čepu přichyceny ke styčnickovým plechům. Tyto plechy jsou v případě přípoje k trámu tvořeny stojinou samotného trámu, která vystupuje skrz otvory v horní pásnici. Jedná se o tyče a na mostě jsou použity dvou různých průměrů: 60 mm (označení M64) a 72 mm (označení M76). V místě křížení je vždy jeden závěs opatřen průchodkou, která umožní kontinuální vedení druhého závěsu. Celkem se na mostě nachází $2 \times 22 = 44$ závěsů.