

TECHNICKO-PROVOZNÍ STUDIE

TECHNICKÁ ŘEŠENÍ VRT

05/2017

4.2

TECHNICKÉ PARAMETRY VRT V EVROPĚ

SUBSYSTÉM INF – KONSTRUKCE MOSTŮ

Zpracovatelé: Martin Vlasák, Marek Foglar, Jan Bartaloš, Filip Kutina



4.2

SUBSYSTÉM INF KONSTRUKCE MOSTŮ

OBSAH

1	ÚVOD	5
1.1	NÁVRHOVÉ PŘEDPISY PRO MOSTY NA VRT	5
2	KONSTRUKCE MOSTŮ NA VRT	6
2.1	PROSTOROVÉ USPOŘÁDÁNÍ MOSTŮ	6
2.2	KONSTRUKČNÍ USPOŘÁDÁNÍ MOSTŮ	8
2.2.1	Konstrukční upořádání mostů v Evropě.....	8
2.2.2	Konstrukční upořádání spřažených ocelobetonových mostů.....	9
2.2.3	Konstrukční upořádání betonových mostů.....	16
2.3	NOSNÁ KONSTRUKCE.....	21
2.3.1	Hlavní nosná konstrukce	21
2.3.2	Ložiska	21
2.3.3	Mostní závěry.....	22
2.4	SPODNÍ STAVBA	22
2.5	MOSTNÍ VYBAVENÍ A PŘÍSLUŠENSTVÍ	23
2.6	MONITORING A ÚDRŽBA	23
3	ZATÍŽENÍ MOSTŮ	24
3.1	STÁLÁ ZATÍŽENÍ	24
3.2	ZATÍŽENÍ MOSTŮ DOPRAVOU.....	24
3.3	KLIMATICKÁ ZATÍŽENÍ	27
3.4	MIMOŘÁDNÁ ZATÍŽENÍ.....	27
4	NÁVRH MOSTŮ VRT	27
4.1	NÁVRHOVÝ PŘÍSTUP	27
4.2	MEZNÍ STAVY ÚNOSTNOSTI	27
4.3	MEZNÍ STAV ÚNAVY	27
4.4	MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI	28
5	ZDROJE.....	28

1 ÚVOD

1.1 NÁVRHOVÉ PŘEDPISY PRO MOSTY NA VRT

Návrh mostních konstrukcí pro VRT ve všech sledovaných zemích je založen na evropských normách (EN), neboli tzv. eurokódech (EC), stejně jako je tomu v případě návrhu mostních objektů pro konvenční železnici. Jedná se především o Eurokód EN 1991-2 pro stanovení zatížení mostních objektů, EN 1992-2 pro návrh betonových mostních konstrukcí, EN 1993-2 pro návrh ocelových mostů a EN 1994-2 pro spřažené ocelobetonové mostní objekty. V každém ze sledovaných států se zároveň při návrhu uplatňují specifické národní předpisy. Mnohé z nich již byly implementovány do evropského systému norem ve formě národních příloh jednotlivých eurokódů. Vyskytují se ovšem i stále platné a používané solitérní národní předpisy.

V Itálii se jedná o národní normy označované jako RFI - Rete Ferroviaria Italiana (Italian Infrastructure Manager).

- RFI.DTC.INC.CS.SP.IFS.001.A Náležitosti geotechnického posouzení železničních staveb
- RFI.DTC.INC.PO.SP.IFS.001.A Železniční mosty a propustky
- RFI.DTC.INC.PO.SP.IFS.002.A Silniční nadjezdy a lávky
- RFI.DTC.INC.PO.SP.IFS.003.A Navrhování železničních mostů na únavu
- RFI.DTC.INC.PO.SP.IFS.004.A Navrhování a provádění mostovek ze zabetonovaných nosníků
- RFI.DTC.INC.PO.SP.IFS.005.A Navrhování ložisek a mostních závěrů, kontrola výroby a instalace dle Eurokódu

Uvedené předpisy zastřešuje obecná národní norma NTC2008 (Technická norma pro výstavbu, 14. 1. 2008) doplněná vyhláškou ministerstva „Pokyny pro použití Nové technické normy pro výstavbu“ (CIRCOLARE 2. 2. 2009, n. 617 Istruzioni per l'applicazione delle „Nuove norme tecniche per le costruzioni“ di cui al decreto ministeriale 14. 1. 2008.)

Dále se v Itálii, Francii ale i v dalších zemích uplatňují standardy UIC zasahující do oblasti vysokorychlostních železnic, zejména se jedná o:

- UIC-776-2 Požadavky pro navrhování železničních mostů plynoucí z interakce mostu, koleje a vlaku
- UIC 774-3 Doporučení pro výpočet interakce kolej/most

Navrhování mostních objektů na VRT v Německu se kromě eurokódů doplněných o národní přílohy reflektující obsah původních DIN řídí předpisem německých železnic (DB) Ril 804 (Richtlinie 804), posouzení únosnosti stávajících konstrukcí starších 6 let řeší předpis Ril 805. Provádění železničních mostů v Německu je obsahem předpisu DBS 918 005.

Podobně je tomu i v Rakousku, kde kromě EN 1991-2 upravuje zatížení železničních mostů směrnice B45 a navrhování mostních objektů na železnici se řídí podle předpisů rakouských drah (ÖBB), kterými jsou zejména:

- Planungsgrundsätze für Eisenbahnbrücken 2008/12/01 – Zásady navrhování železničních mostů
- Richtlinie für die dynamische Berechnung von Eisenbahnbrücken 2011/02/01 – Nařízení pro dynamické posouzení železničních mostů

Ani Španělsko, kde je běžnou praxí, že nový návrh musí vyhovět národním normám pro železniční mosty (např. předpis **IAPF** – Zatížení na železničních mostech, 1972; předpis **RPX** – Norma pro spřažené mosty, 1995) a zároveň musí splňovat parametry Eurokódů, není z pohledu návrhových standardů výjimkou.

2 KONSTRUKCE MOSTŮ NA VRT

2.1 PROSTOROVÉ USPOŘÁDÁNÍ MOSTŮ

Základním rozdílem v prostorovém uspořádání mostů pro VRT je nárůst šířky mostní konstrukce ve srovnání s mosty na konvenční železnici. Rozdíl vyplývá z potřeby širšího kolejového lože s větší osovou vzdáleností kolejí (na VRT běžně 4,5 - 5,0 m oproti 4,0 m na konvenčních tratích), což má opodstatnění zejména v odlišné aerodynamice vysokorychlostních vlaků. Tento rozdíl se přirozeně projeví na vícekolejných konstrukcích, které jsou nicméně ve stávající evropské síti VRT běžné.

TSI pro interoperabilitu (vyd. 18. 11. 2014), čl. 4.2.3.2 uvádí následující minimální osové vzdálenosti kolejí po standardní rozchod UIC (1435 mm) v závislosti na traťové rychlosti:

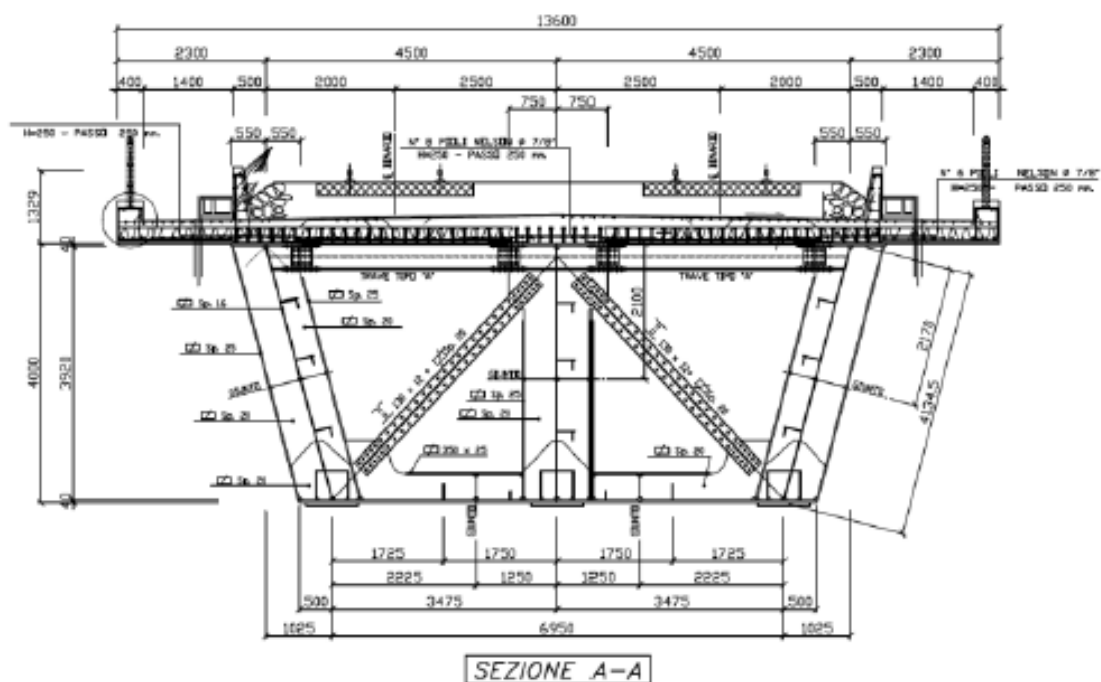
Max. dovolená rychlost [km/h]	Min. osová vzdálenost kolejí [mm]
$160 < v \leq 200$	3800
$200 < v \leq 250$	4000
$250 < v \leq 300$	4200
$v > 300$	4500

Ve zkoumaných zemích se uplatní minimální osové vzdálenosti kolejí uvedené v následujícím přehledu:

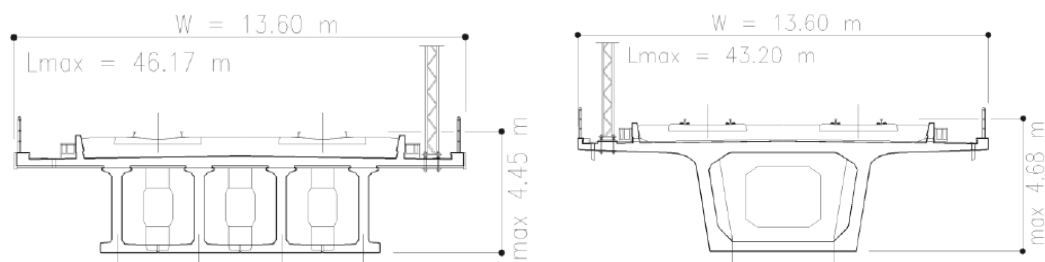
Stát	Rychlost [km/h]	Osová vzdálenost kolejí [mm]	Předpis
DE	< 200	4000	
	< 300	4500	
ES	< 140	3800	* dle IFI 2016
	140 - 200	4000	
	200 - 250	4300	
	250 - 350	4700	

FR	≤ 220	4200	*dle IN 3278 (2006)
	> 220	4800	
IT	< 350	4500	
AT	< 160	4700	
	< 250	4700	

Navíc je šířka konstrukcí ovlivněna i odlišnými nároky na umístění kabelovodů (ty běžně nejsou umístěny v prostoru kolejového lože jako u konvenčních železničních tratí, ale po stranách vedle něj) a na revizní chodníky, jejichž šířka a bezpečnostní odstup od průjezdného profilu vlaku mají rovněž specifické rozměry plynoucí z odlišných aerodynamických poměrů v blízkosti projíždějícího VR vlaku. Tyto parametry potom ovlivňují šířku i u jednokolejných mostů.



Obr. 1 Typický příčný řez ocelobetonovou mostní konstrukcí pro VRT



Obr.2 Typické příčné řezy betonovými mostními konstrukcemi na VRT

2.2 KONSTRUKČNÍ USPOŘÁDÁNÍ MOSTŮ

2.2.1 KONSTRUKČNÍ UPOŘÁDÁNÍ MOSTŮ V EVROPĚ

Specifické návrhové požadavky ovlivňují celkové dimenze mostů pro VRT. Nároky na tuhost mostních konstrukcí jsou na VRT větší než na konvenční železnici, konstrukce na VRT jsou proto zřetelně masivnější. Vzhledem k vysoké návrhové rychlosti na VRT (mnohdy více než 300 km/h) jsou požadavky na deformace a dynamické charakteristiky konstrukcí, plynoucí z nároků na komfort jízdy a na udržení geometrické polohy koleje, mnohem přísnější než u objektů na konvenční železnici.

Proto jsou VRT často vedené na mostních estakádách, které se skládají z řetězce prostých nosníků nebo využívají statické schéma spojitého nosníku, ev. řady spojitých nosníků. Tyto estakády i běžné mosty kratších rozpětí mají nosnou konstrukci betonovou (nezřídka z předpjatého betonu) nebo spřaženou ocelobetonovou, přičemž je využíváno všech běžných tvarových variant průřezů od deskových mostů přes dvou- či vícečetné trámy až po komorové nosníky (tvořené jednou či dvěma komorami). Výjimkou nejsou však ani další technická a tvarová řešení mostů na VRT, jako příhradové nosníky, obloukové mosty s horní i dolní mostovkou či dokonce visuté mosty.



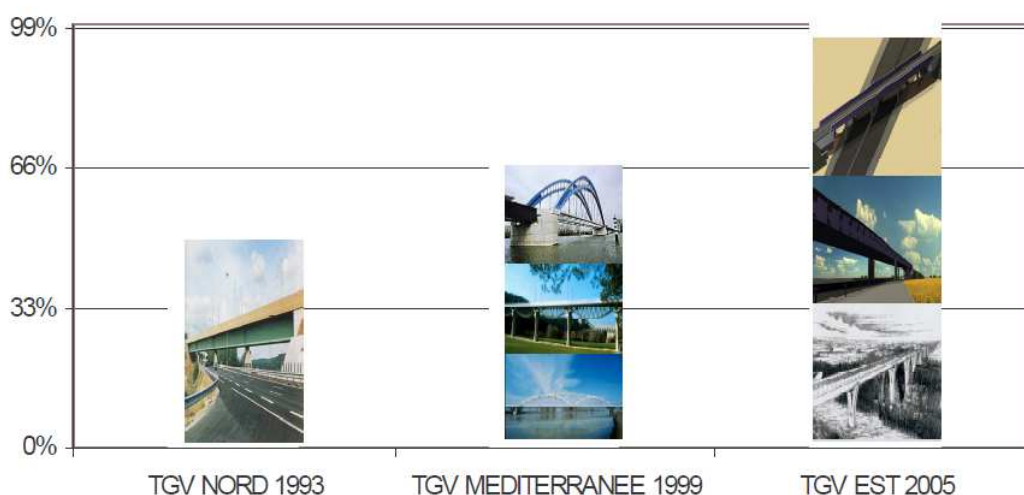
Obr. 3 Unikátní konstrukce 400 m dlouhého visutého mostu s mostovkou z předpjatého betonu překračující řeku Pád na VRT Milano – Bologna (IT)

Mezi přístupy k navrhování mostů na VRT v jednotlivých evropských zemích jsou značné rozdíly, počínaje výběrem použitého materiálu. Zejména ve **/FR/**, ale i v **/IT/** a **/ES/** je ve značné míře používána ocel jako hlavní konstrukční materiál, naproti tomu v Německu a Rakousku se tradičně staví převážně betonové mostní objekty, zejména s využitím předpjatého betonu.

2.2.2 KONSTRUKČNÍ UPOŘÁDÁNÍ SPŘAŽENÝCH OCELOBETONOVÝCH MOSTŮ

FRANCIE

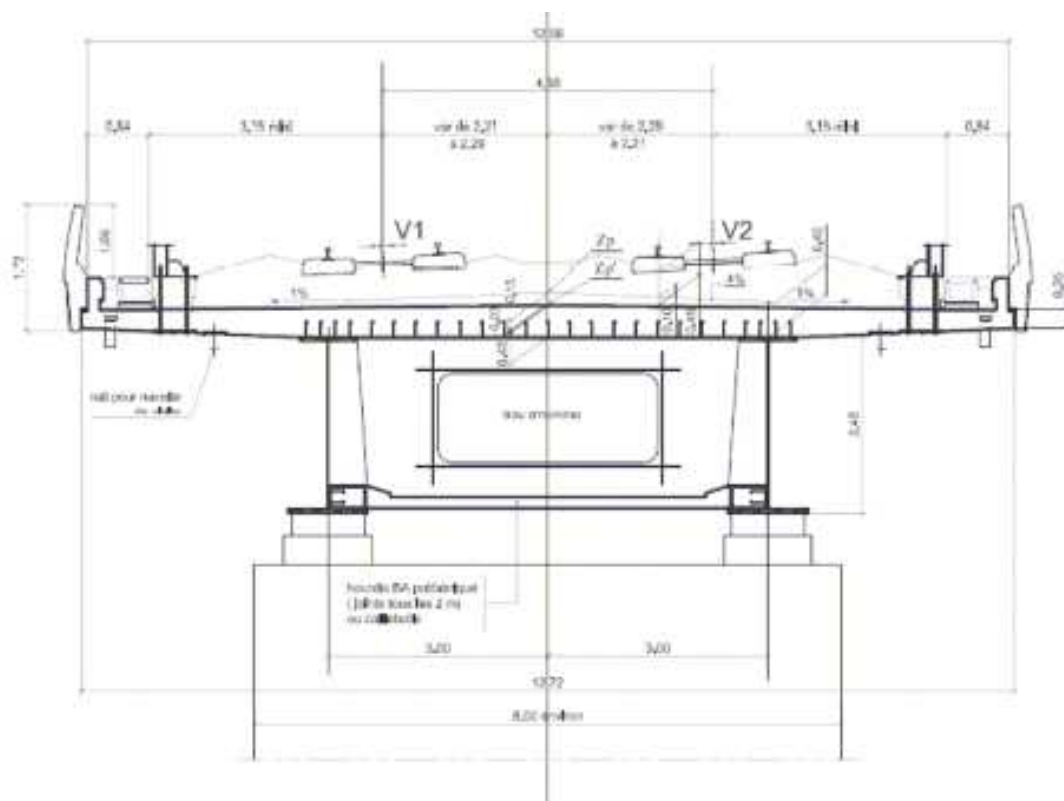
Ve Francii je trend používání oceli při výstavbě mostů VRT v současnosti nejvýraznější. Údaj z roku 2008 uvádí, že více než 80% mostů středních rozpětí (tj. 30 – 60 m) na VRT je spřažených ocelobetonových. Tendence využívání oceli je přitom v posledních desetiletích stoupající, jak dokazuje jednoduchý graf srovnávající zastoupení ocelových mostních konstrukcí na různých francouzských vysokorychlostních traťových linkách.



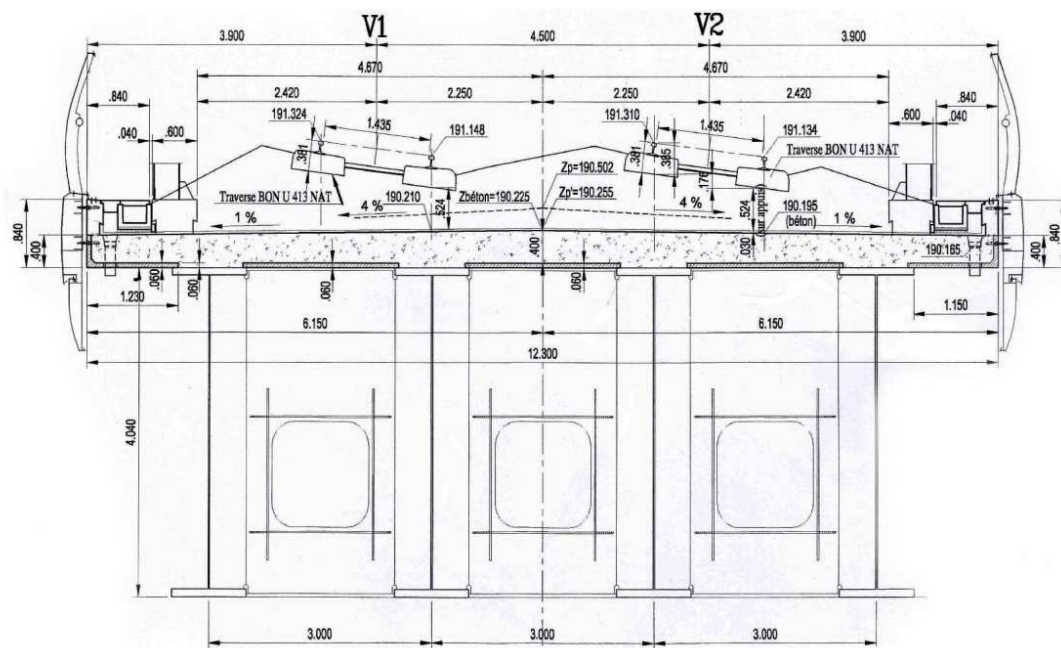
Obrázek 4: Procentuální zastoupení ocelových konstrukcí mostů VRT na linkách TGV (FR)

Důvodem obliby těchto konstrukcí je větší rychlost výstavby a z ní plynoucí ekonomická úspora, mnohdy jejich uplatnění vychází také z nutnosti zachování provozu na nově přemostňovaných komunikacích v hustě osídleném území. Nejčastěji se jedná o trémové spřažené mosty tvořené betonovou deskou mostovky a dvěma nebo čtyřmi podpírajícími ocelovými nosníky, případně jednou či dvěma ocelovými komorami. Často jsou mosty tohoto typu doplněné o dolní betonovou deskou mostovky, která pomáhá zvýšit tuhost konstrukce na úroveň potřebnou pro zajištění jejího dynamického chování odpovídajícího požadavkům provozu VRT.

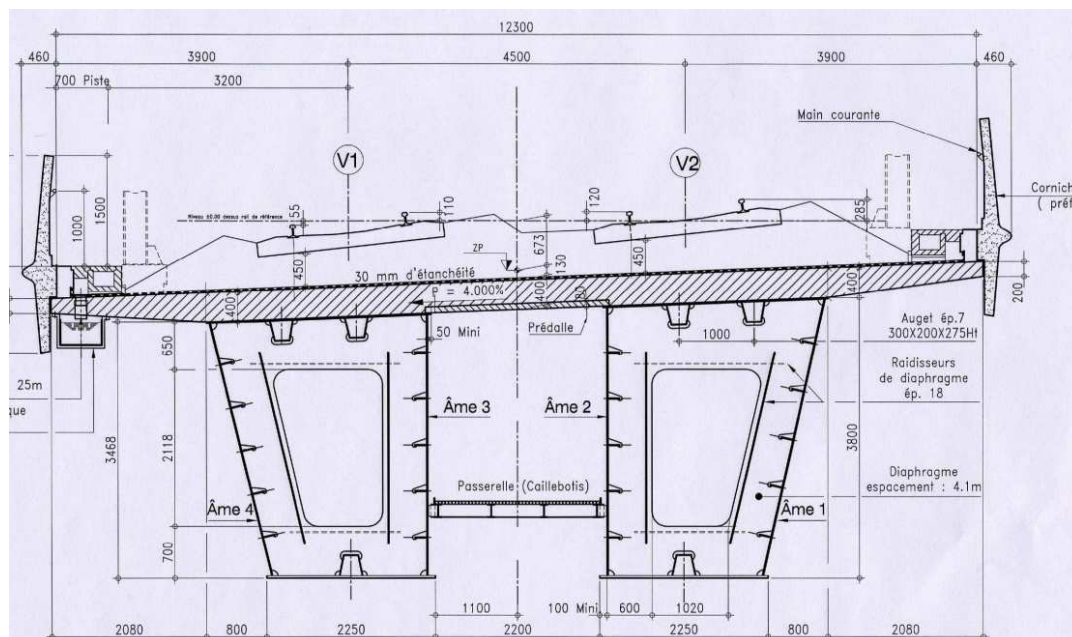
Obr. 4a,b: Příčný řez a pohled na typický dvoutrámový ocelobetonový most s dolní ztužující betonovou deskou na VRT (Essômes-sur-Marne), rozpětí 26-35-26 m)



Obrázek 5a,b: Typický příčný řez čtyřtrámového spřaženého ocelobetonového mostu a pohled na most (Viaduc du canal de la Moselle [FR], rozpětí 54,8+82,2+55,0 m)

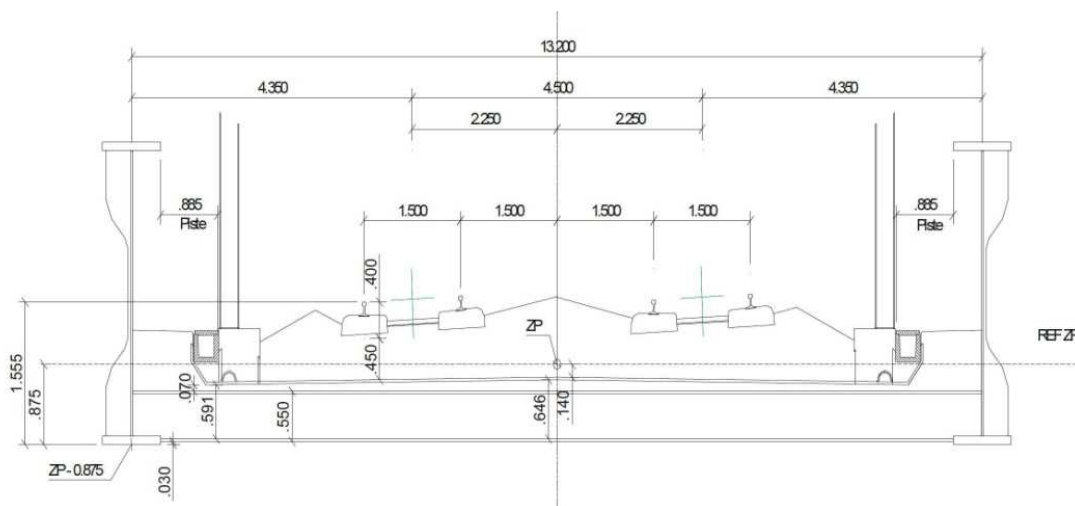


Obrázek 6a,b: Typický příčný řez dvoukomorového spřaženého ocelobetonového mostu a pohled na most (Jaulny viaduct, FR, rozpětí 60,5-4x73,8-65,6-57,4 m)

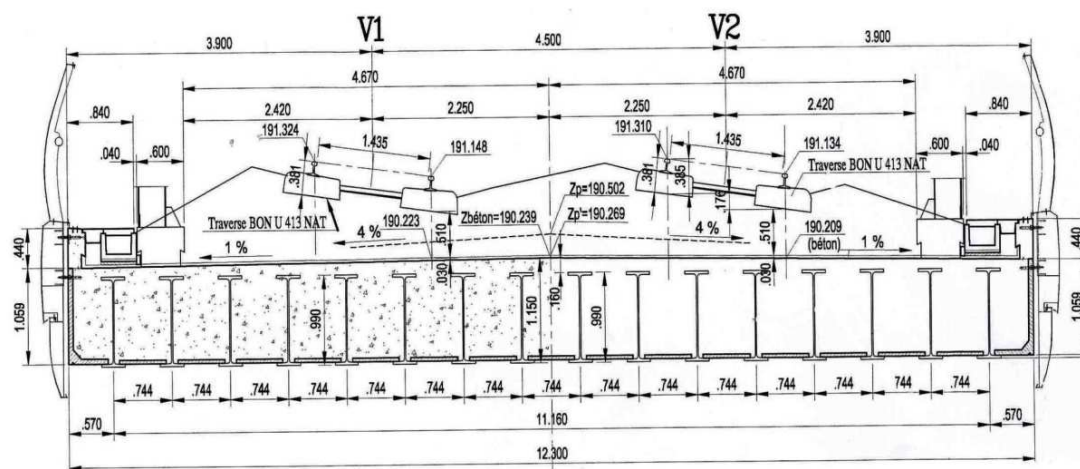


Dále jsou ve **/FR/** využívány ocelové trámové mosty s dolní příčně vyztuženou mostovkou, mosty se zabetonovanými nosníky (pro kratší rozpětí), příhradové nosníky a Langerovy trámy. V posledních letech se ve **/FR/** stále častěji staví spřažené ocelobetonové mosty na VRT i pro mosty delších rozpětí než 60 m.

Obrázek 7a,b: Typický příčný řez trámového ocelového mostu s dolní mostovkou a pohled na most (Orxois Viaduct [FR], max. rozpětí 42,57 m, délka 165 m)



Obr. 8 Typický příčný řez mostu se zabetonovanými ocelovými nosníky (typický pro rozpětí okolo 25 m)



Obr. 9 Most na VRT přes dálnici A7 u Bonpas (FR) – Langerův trám (rozpětí 124 m)



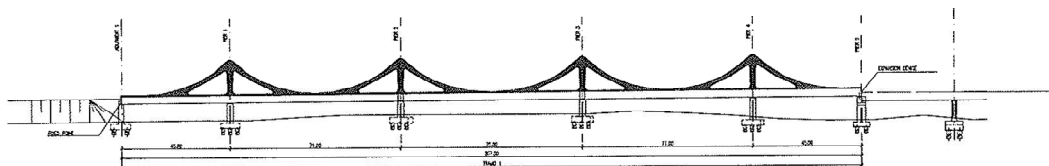
ITÁLIE



Obr. 10 Most na VRT Bologna – Verona přes řeku Pád (IT) – příhradové nosníky

Srovnatelné typy konstrukcí jsou používány také v /IT/ a /ES/, nicméně jejich výskyt na VRT není tak častý jako ve /FR/. U mostů středních rozpětí (40-60m), které jsou na VRT vůbec nejčastější, v /IT/ a /ES/ jednoznačně převažují betonové mosty. Ocelové konstrukce se v těchto jihoevropských zemích častěji uplatní při přemostování delších rozpětí či v případě obtížných stavebních podmínek (viz výše), jaké byly důvodem např. pro stavbu atypické spřažené konstrukce mostu Llinars Viaduct (viz obr. 11).

ŠPANĚLSKO

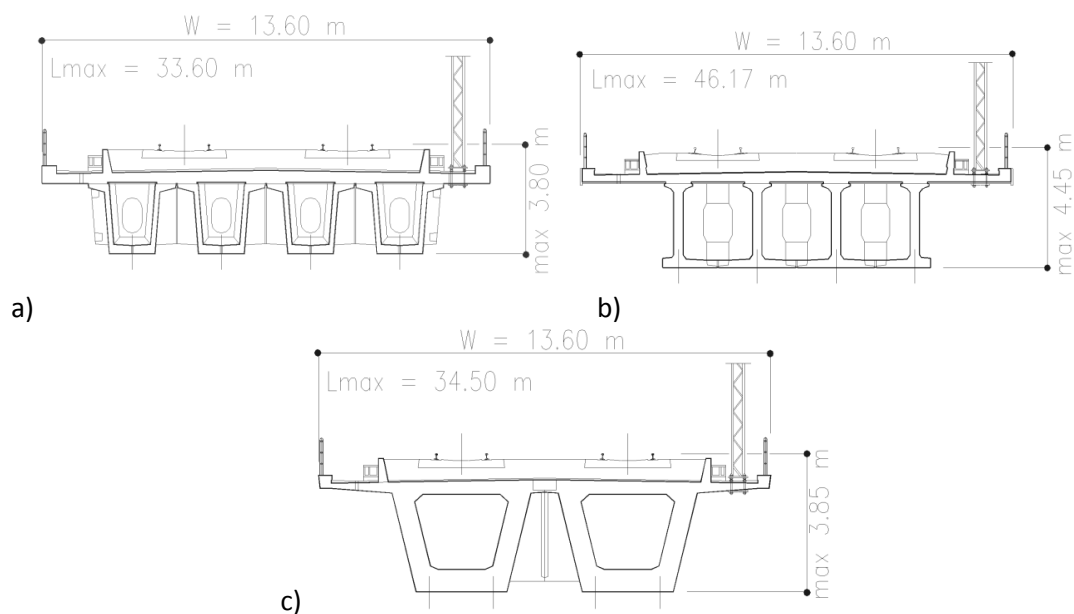


Obr. 11 Fotografie a schéma mostu Llinars Viaduct přes dálnici AP-7 na VRT Madrid-Zaragoza-Barcelona-Francie, rozpětí 45-71-75-71-45 m

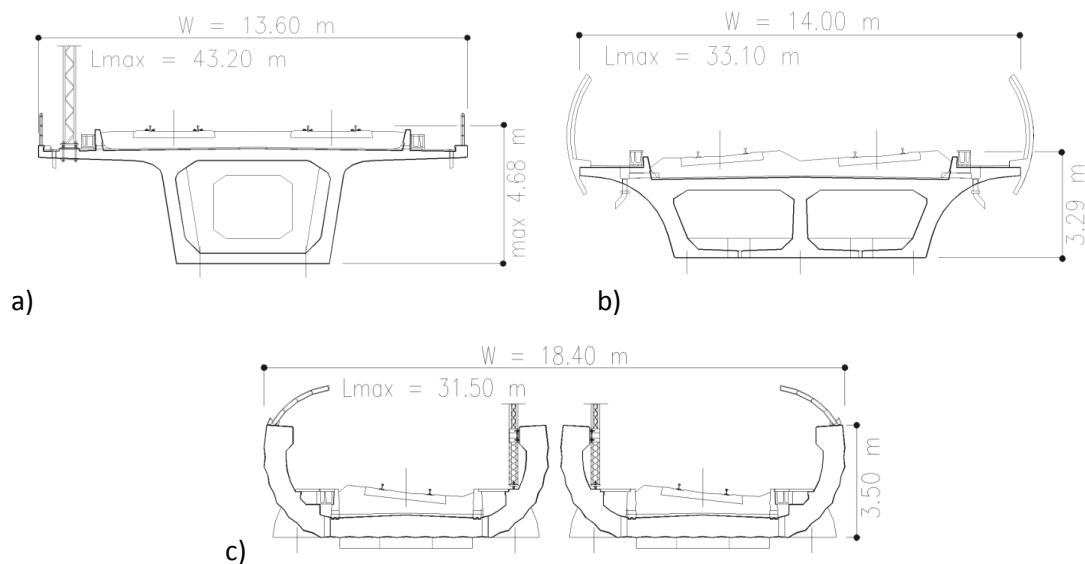
2.2.3 KONSTRUKČNÍ UPOŘÁDÁNÍ BETONOVÝCH MOSTŮ

ITÁLIE

Nejběžnějším konstrukčním řešením na VRT v /IT/ jsou předem předpjaté betonové trámy o rozpětí okolo 30 m spřažené s dodatečně přepínanou monolitickou betonovou deskou.



Obr. 12 Nejběžnější průřezy předem předpjatých betonových mostů používané na italských VRT a) 4 prefabrikované V nosníky, b) 4 prefa I nosníky spojené monolitickou horní a dolní deskou, c) 2 prefa V nosníky



Obr. 13 Nejběžnější průřezy dodatečně předpjatých betonových mostů na italských VRT: a) jednokomorový, b) dvoukomorový nosník, c) mostovky tvaru „Omega“

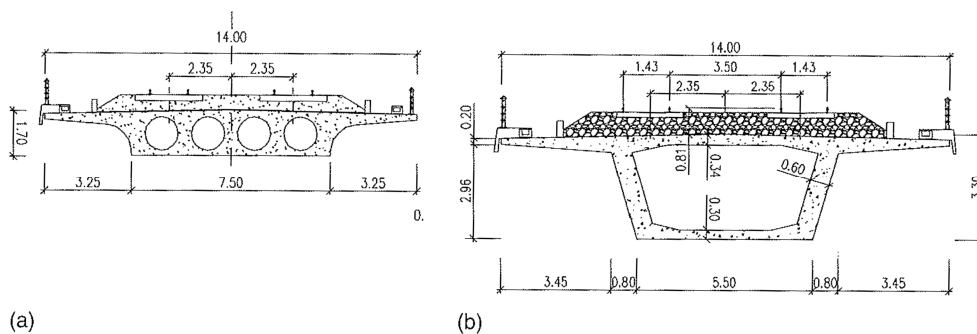
Dlouhé železniční estakády jsou v tomto případě složeny z prostě podepřených polí, což umožňuje vytvářet dlouhá přemostění bez nutnosti použití dilatačního zařízení v koleji. Nejběžnější tvarové varianty prefabrikovaných nosníků jsou na obr. 12. Pro delší rozpětí se uplatní dodatečně předpínané na místě betonované nosníky (viz obr. 13).



Obr. 14 Železniční estakáda s mostovkou průřezu Omega - „Modena Viaduct“ na VRT Milan-Bologna (IT)

ŠPANĚLSKO

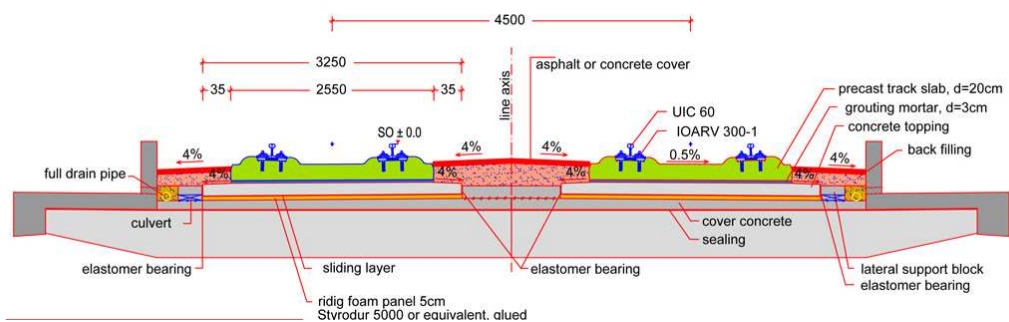
V /ES/ jsou proti tomu nejčastěji používané dodatečně předpjaté betonové průřezy, pro rozpětí 20 – 35 m ve tvaru vylehčené betonové desky (Obr. 15a) a pro rozpětí 30-60 m ve tvaru jednokomorového nosníku (Obr. 15b).



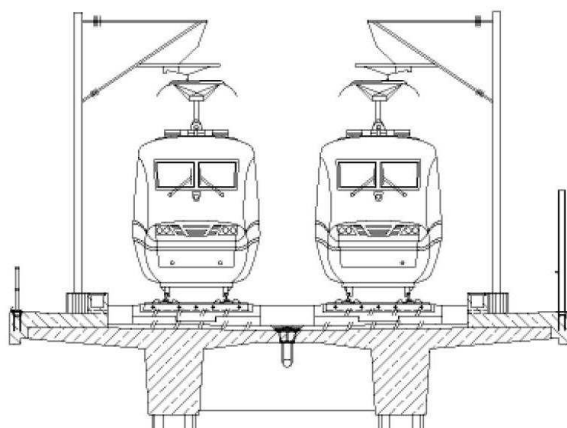
Obr.15 Nejběžnější průřezy betonových mostů používané na španělských VRT

NĚMECKO, RAKOUSKO

Také v /DE/ a /AT/ na VRT mosty z předpjatého betonu a výrazně převažují nad mosty ocelobetonovými. Z hlediska statického působení se jedná většinou o prosté nebo spojitě nosníky, ve velké míře se zvláště v /DE/ staví také integrální a semi-integrální mosty (viz obr. 19). Také zde je nejběžnějším mostním průřezem komorový nosník, dále pak dvoutrám a deskový nosník (viz obr. 16 -18).



Obr. 16 Příčný řez deskového betonového mostu běžný pro krátká přemostění na VRT v DE



Obr. 17 Příčný řez dvoutrámového betonového mostu běžný na německých VRT



Obr. 18 Soustava prostých komorových předpjatých nosníků – Geraltalbrücke (DE)



Obr. 19 Integrální most z předpjatého betonu – Unstruttalbrücke (DE)

MOSTY KRÁTKÝCH ROZPĚTÍ V EVROPĚ

Samostatnou kapitolou výčtu typických mostních konstrukcí budovaných na VRT v Evropě jsou krátké mosty. Mostní objekty krátkých rozpětí jsou i na VRT, stejně jako na konvenční železnici, zdaleka nejčastější. Tyto objekty zpravidla zajišťují kontinuitu komunikací nižšího významu přetnutých trasou VRT, jakými jsou např. lesní a polní cesty, cyklostezky, chodníky (v tom případě se jedná o podchody), migrační trasy zvěře a menší vodoteče (proto sem řadíme i propustky). U mostů velmi krátkých rozpětí (tj. zhruba do 15 m) bývá ve sledovaných evropských zemích prosazován totožný konstrukční přístup, kdy je většina těchto objektů řešena jako železobetonové rámové konstrukce. U mostů do rozpětí max. cca 10 m se jedná většinou o uzavřené rámové konstrukce, pro delší rozpětí se častěji uplatní otevřené rámové konstrukce, řešené jako integrální nebo dvoukloubové s ložisky.



Obr. 20 Betonové rámové mosty – vlevo uzavřený, vpravo otevřený dvoukloubový

Ve většině případů, kde to prostorové podmínky umožňují, jsou krátké rámové mosty řešeny jako přesypané. Výška přesypávky se liší v závislosti na prostorových poměrech. Minimální výška přesypávky, aby bylo možné mostní objekt označit jako přesypaný, je 0,7 m ve /FR/, ev. 0,6 m v /DE/. Obecně platí, že přesypávka zvyšuje vlastní hmotu mostní konstrukce a tím zvyšuje její vlastní útlum, což příznivě ovlivňuje odezvu na dynamické zatížení a tomu odpovídá i četnost přesypaných mostů krátkých rozpětí postavených na VRT

ve sledovaných zemích. Nelze však opomenout, že mosty krátkých rozpětí jsou na dynamické zatížení velice citlivé právě kvůli nízké vlastní hmotnosti (vztaženo k velikosti budících sil), a proto je nezbytně nutné důkladné posouzení jejich dynamického chování. EN 1991-2 Zatížení konstrukcí – Část 2: Zatížení mostů pro mostní objekty s rozpětím do 7,0 m předepisuje použití zvláštního zatěžovacího schématu HSLM-B.



Obr. 21a,b Příklad přesýpaného betonového rámového propustku z prefabrikátů postaveného na VRT ve /FR/

Speciální případem betonových rámových mostních konstrukcí jsou rámové estakády z předpjatého betonu (viz obr. 22) používané pro mimoúrovňové křížení VRT pod malým úhlem s jinou železniční tratí, odbočnou větví VRT nebo s dálnicí (viz obr. 23). Výhodou tvarově jednoduchých masivních konstrukcí je jejich prostorová tuhost, která eliminuje komplikace pramenící z nerovnoměrného zatížení šikmo převáděnou železniční tratí.



Obr. 22 Rámová mostní konstrukce z předpjatého betonu na křížení VRT s odbočnou větví, Saut-de-mouton de La Couronne /FR/

Objekty tohoto typu jsou stavěny na VRT ve všech sledovaných evropských zemích. Nezřídka bývá k optickému vylehčení těchto masivních objektů v méně namáhaných částech využito otvorů ve stěnách, případně nahrazení stěny řadou sloupů tvořících galerii. Jedno z možných řešení dokládá obr. 23.



Obr. 23 Rámová mostní konstrukce z předpjatého betonu na křížení budoucí VRT s dálnicí, Saut-de-mouton de Port-de-Piles /FR/

2.3 NOSNÁ KONSTRUKCE

2.3.1 HLAVNÍ NOSNÁ KONSTRUKCE

Materiálové složení, tvarové i statické uspořádání nosné konstrukce stávajících mostů na evropských VRT má mnoho variant. Jejich široká škála byla popsána v předchozí kapitole 2.2. Obecně se dá říci, že návrh mostů na VRT se nevymyká běžnému principu hledání nejjednoduššího a nejekonomičtějšího řešení. Tam, kde to podmínky dovolují, jsou proto voleny takové typy nosných konstrukcí, které umožňují vysoký stupeň prefabrikace z důvodu urychlení výstavby. U mostních konstrukcí na VRT je také zřejmá snaha o zkrácení dilatační délky nosné konstrukce na takové úseky, které nevyžadují použití kolejového dilatačního zařízení (KDZ).

2.3.2 LOŽISKA

Se statickým schématem převážné většiny mostů na VRT, jímž je prostý, případně spojitý nosník, souvisí potřeba použití mostních ložisek. Ta se koncepčně neliší od ložisek

používaných u mostů na konvenční železnici. Odlišují se, zvláště u mostů dlouhých rozpětí, dimenzemi, které vychází z potřeby přenášení vodorovných sil vyvolaných zejména brzdnými a akceleračními silami od projíždějícího vlaku a teplotním zatížením.

Ve sledovaných zemích převažuje použití hrncových ložisek ve srovnání s ostatními typy. Jejich obliba vychází z minimálních požadavků na schopnost pootočení ložiska, protože dovolené hodnoty průhybu nosné konstrukce (až 1/3000 rozpětí) a tedy i pootočení koncového průřezu jsou na VRT velmi přísné. Výjimkou je v tomto ohledu Itálie, kde jsou ve velké míře používána kalotová ložiska umožňující větší rozsah pootočení. S výhodou se jich používá při stavbě mostů z prefabrikovaných předpjatých nosníků, které jsou v IT velmi populární, k rektifikaci výrobních tolerancí těchto nosníků přímo na stavbě bez nutnosti dočasného podpírání nosné konstrukce.

2.3.3 MOSTNÍ ZÁVĚRY

Mostní závěry osazované na mostech na VRT se neliší od běžně používaných na konvenční železnici. Při využití statického schématu řetězce prostých nosníků nebo spojitých nosníků je jejich instalace nevyhnutelná. U mostů dlouhých rozpětí jsou kladeny zvýšené nároky jak na mostní závěry, které musí umožňovat dostatečný rozsah dilatačního posunu, tak na dilataci koleje, která musí být u ocelových mostů delších 60 m a u betonových a spřažených mostů delších než 90 m vybavena KDZ, které má vysoké nároky na údržbu. Omezením dilatačních pohybů celé mostní konstrukce lze snížit nároky na instalaci KDZ i mostních závěrů. Nejbohatší zkušenosti jsou s touto problematikou v DE a AT, kde jsou často navrhovány integrální a semi-integrální mosty, které vylučují osazení mostních závěrů i ložisek na mostě.

2.4 SPODNÍ STAVBA

Požadavky na spodní stavbu mostů VRT úzce souvisí se statickým schématem konkrétní konstrukce, nijak se ovšem nevymykají běžným zvyklostem aplikovaným při návrhu konvenčních železničních mostů. Rozdílem jsou striktní požadavky na dovolené deformace konstrukce a její dynamické chování, které ovlivňují nejen návrh nosné konstrukce, ale také spodní stavbu. S obecnou nutností navrhovat pro VRT konstrukce o vyšší tuhosti souvisí mohutnější dimenze spodní stavby mostů VRT, které je mnohdy na první pohled odlišují od běžných železničních mostů. Návrhové principy se ovšem nemění.

U integrálních a semi-integrálních mostů je třeba zajistit potřebný deformační rozsah spodní stavby, aby byla zajištěna spolehlivá funkce konstrukce. Spodní stavba takových objektů se poté vyznačuje charakteristickou štíhlostí. Naproti tomu u běžných konstrukcí založených na schématu prostých a spojitých nosníků je nutné, aby spodní stavba byla schopná přenést značné vodorovné síly, které se z nosné konstrukce převádějí přes pevná ložiska. Na dlouhých mostních estakádách často bývají v takových případech pevná ložiska umístěna na tzv. brzdných pilířích, které se svou konstrukcí i dimenzemi liší od ostatních pilířů podpírajících nosnou konstrukci pomocí pohyblivých ložisek.



Obr. 24 Brzdné pilíře na estakádě Gänsebachthalbrücke (DE)

Opěry mostů VRT musí analogicky splňovat přísnější parametry tuhosti a dovolených deformací. Zvláště citlivá na správný návrh a omezení deformací je přechodová oblast z mostu na širokou trať. Řešení se často neobjede bez masivní přechodové desky.

2.5 MOSTNÍ VYBAVENÍ A PŘÍSLUŠENSTVÍ

Mosty VRT nekladou zvláštní nároky na vybavení, jako je zábradlí, PHS, revizní lávky apod., a mohou být proto navrhovány dle zvyklostí zavedených pro běžné železniční mosty. Zmínit lze v tomto případě pouze jiné nároky na umístění zábradlí a PHS v návaznosti na odlišné hodnoty bezpečnostních odstupů a rozměrů revizních chodníků. Odlišné může být také umístění kabelovodů na mostě (v zahraničí běžně po stranách kolejového lože). Z důvodu zajištění nepřístupnosti trati cizím osobám je třeba dbát na důsledné napojení na oplocení širé trati na mostní objekt a jeho vybavení (PHS, případně oplocení koncových částí mostu apod.). Specifika mostních závěrů na VRT byla popsána v kapitole 2.3.3.

2.6 MONITORING A ÚDRŽBA

Na sledování správného chování a funkce mostních konstrukcí na VRT musí být kladeny zvýšené nároky v porovnání s mosty na konvenční železnici. Tomu by měla odpovídat kritéria zatěžovacích zkoušek, koncepce prohlídek těchto mostních objektů i případné požadavky na instalaci stálých monitorovacích zařízení. Nově stanovená kritéria pro VRT je třeba zahrnout do stávajícího systému předpisů a kvantifikovat, jakým způsobem se promítnou do nákladů na údržbu v průběhu životnosti mostu.

Údržbové práce železničních mostů se dělí na pravidelné a nepravidelné. Pravidelné údržbové práce se převážně týkají železničního svršku a jsou závislé na přepravených

hrubých tunách. Dále to mohou být drobné práce nepřímě spojené s mostní konstrukcí jako například údržba zeleně, trakčního vedení nebo zabezpečovacího zařízení. Jako takové by měly být pro všechny typy mostů se stejnými okrajovými podmínkami v dané oblasti totožné a proto nemají vliv při porovnávání jednotlivých variant.

Nepravidelné údržbové práce se týkají konstrukčních částí daného mostu a dají se rozdělit do následujících kategorií s přibližnou délkou intervalu pro výměnu či údržbu.

Údržbová práce	Interval
Sanace betonových částí nosné konstrukce	50-100
Sanace spodní stavby	50-100
Výměna ložisek	50
Protikorozi ochrana nosné konstrukce	35
Protikorozi ochrana mostního vybavení	35
Sanace či výměna betonových říms/žlabů	35
Výměna mostních závěrů	35
Výměna izolace mostovky	35
Výměna odvodnění	35

Při výměně vstupují do celoživotních nákladů náklady na odstranění, likvidaci/uskladnění a pořízení nové položky (např. protikorozi ochrana, kde její vrstvy často spadají mezi nebezpečné odpady a náklady na likvidaci či uskladnění jsou vysoké). Dále je třeba vzít v úvahu vedlejší náklady spojené s uzavřením mostu nebo omezením dopravy v době údržbových prací, což klade nároky na schopnost odhadnout rozsah a délku prací.

3 ZATÍŽENÍ MOSTŮ

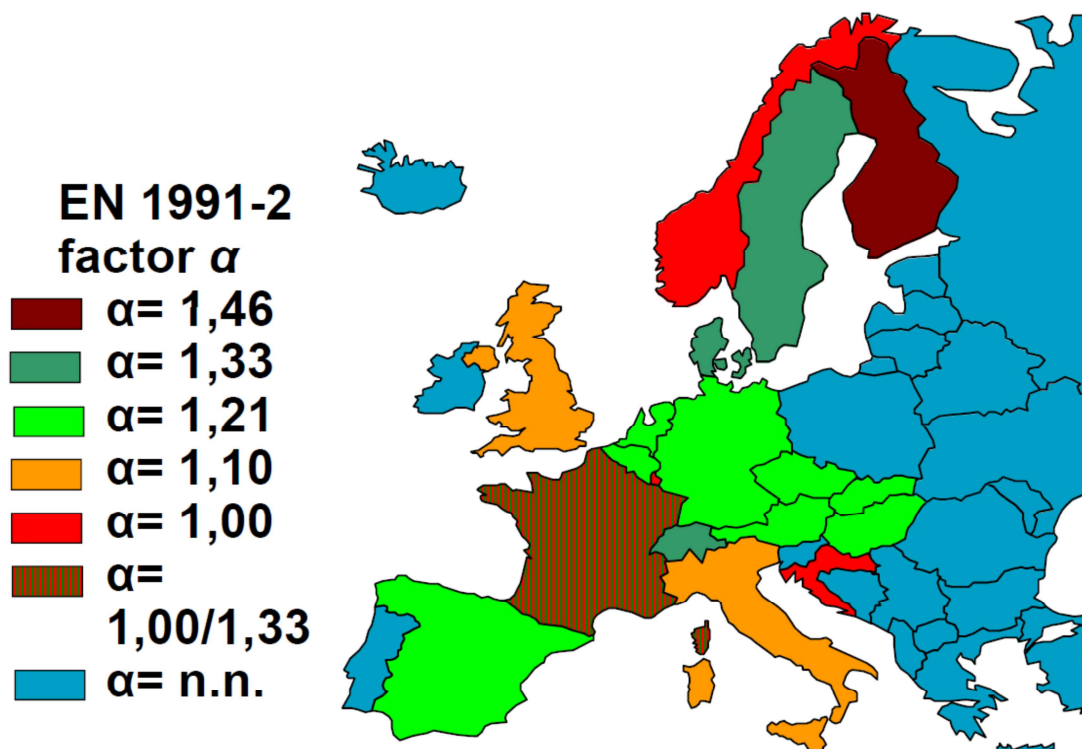
3.1 STÁLÁ ZATÍŽENÍ

Výpočet zatížení mostních konstrukcí na VRT se řídí stejnými pravidly jako při navrhování běžných železničních mostů. Způsob stanovení stálých zatížení nevybočuje ze zavedených postupů popsaných v EN 1991-1, kde jedinou odlišností může znamenat vyjádření zatížení kolejovým ložem v případě použití pevné jízdní dráhy (PJD). To musí být stanoveno na základě přesných rozměrů PJD, zároveň zde však dochází k eliminaci nepřesnosti a často nadsazené vlastní hmotnosti kolejového lože plynoucí z nejasných rozměrů šterkového lože.

3.2 ZATÍŽENÍ MOSTŮ DOPRAVOU

Výpočet zatížení mostů dopravou se řídí normou EN 1991-2. Stanovení statických zatížení se metodicky v zásadě neliší od běžné praxe používané při určování zatížení mostů na konvenčních železničních tratích. Při návrhu mostů na VRT, u nichž je vyloučena těžká nákladní doprava, se nepočítá se zatížením soupravou těžkého nákladního vlaku (SW0/SW2). Příkladem jsou konstrukce navrhované např. na VRT ve Francii a Španělsku. Uvažuje se zde pouze se statickým zatěžovacím modelem UIC 71, klasifikovaným příslušným

koeficientem α . Ke stanovení hodnoty klasifikačního součinitele přitom panují v Evropě rozdílné přístupy, které nejlépe ilustruje mapa na obrázku č. 25 a přehledná tabulka č. 2.



Obr. 25 Hodnoty klasifikačního součinitele α používané v Evropě

Obecně nelze očekávat, že by se vyloučení těžkých vlakových souprav nákladní dopravy z provozu na VRT, tzn. snížení návrhových nápravových sil, projevilo na dimenzích příčného řezu mostních konstrukcí. Takové omezení se pozitivně projeví zvětšením dovoleného podélného sklonu trati (např. ve Francii na tratích LGV až na 40‰), což může v důsledku zmenšit délku nutných přemostění nebo jejich potřebu v některých případech vyloučit a tím snížit investiční náklady.

Stát	Klasifikační součinitel α			Předpis	Poznámka
	LM71	SW/0	SW/2		
DE	1,00 0,83 1,21	1,00	1,00	Ril 804.21101 (4) DIN EN 1991-2 DB - Neues zum Regelwerk - Der EC /Anwendung für Eisenbahnbrücken/	posouzení stávajících mostů čistě vysokorychlostní nápravová síla 25 t (smíšený porvoz)
IT	1,10	1,10	1,00	RFI DTC INC PO SP IFS 001 A - 1.4.1.1	
ES	1,21 1,21 0,91	1,21		EN 1991-2 IAPF-07, čl. 2.3.1.1 IAPF-07, čl. 2.3.1.1	VRT - pouze LM71 standardní a iberijský rozchod (1668) metrický rozchod (1000)
FR	1,33 viz tab. 1,00 viz tab.	x viz tab.	x viz tab.	IN-3278 Annexe 4 (sec. 6) IN-3278 Annexe 4 (sec. 6)	mezinárodní tratě SW-odlišně pro vertikální a horizontální síly
AT	1,21	1,21	1,00	NA EN 1991-2	brzdě síly LM71 a SW/0 klasifikované

Tab. 2 Hodnoty klasifikačního součinitele α v Evropě

	Počet kolejí	Statické schéma	$0 \leq L \leq 30$ m	$30 \text{ m} \leq L \leq 45$ m	$L > 45$ m
$\alpha_{SW,v}$ (vertikální síly)	1	prostý nosník	$1 + 0,13 L$	$1,39 - 0,007 (L-30)$	1,285
		spojitý nosník	$1,15 + 0,010 L$	$1,45 - 0,010 (L-30)$	1,3
	2	prostý nosník	$1,0 + 0,007 L$	$1,21 - 0,005 (L-30)$	1,125
		spojitý nosník	$1,1 + 0,003 L$	$1,19 - 0,005 (L-30)$	1,125
$\alpha_{SW,h}$ (horizontální síly)	1	prostý nosník	$1 + 0,015 L$	1,45	1,3
		spojitý nosník	$1,15 + 0,010 L$	1,45	1,3
	2	prostý nosník	1,2	1,2	1,125
		spojitý nosník			

Tab. 3 Hodnoty klasifikačního součinitele α uplatňované ve Francii

Rozdílné pojetí než u konstrukcí pro konvenční železnici je při návrhu VRT uplatňováno v případě stanovení dynamického zatížení, které má pro zjištění vlivu pojezdu vysokorychlostním vlakem na konstrukci hlavní význam a zpravidla je limitujícím zatížením pro stanovení dimenzí mostní konstrukce. V případě dynamického zatížení mostů na VRT již není možné stanovit jej kvazistatickými metodami, tj. násobením efektů statických zatížení dynamickým součinitelem odrážejícím dynamické vlastnosti konstrukce. Tyto metody totiž nejsou schopné spolehlivě předpovědět rezonanční vlivy vysokorychlostních vlaků na konstrukci. Jak EN 1991-2 tak její národní přílohy a také specifické národní předpisy věnují se této problematice reflektují potřebu provedení dynamické analýzy. Ta je předepsána jak pro obecné modely vysokorychlostních vlaků (HSLM-A, HSLM-B), tak pro konkrétní skutečné vlaky provozované na příslušných tratích. V koncepci evropských norem je však v současnosti možné sledovat snahu o zjednodušení. Příkladem je definování tzv. MU tříd normou EN 15-528, tedy tříd jednotek osobních vozů, které vycházejí z reálných vysokorychlostních vlaků používaných v současnosti. Vedle toho jsou patrné tendence na základě dosavadních zkušeností zobecnit požadavky a omezit nutnost provádění dynamické analýzy.

Stát	Dynamický součinitel	Platnost	Požadavky na dyn analýzu	Dynamická analýza
DE	$\phi_3 \geq 1,5$ (Ril.804.2101)		> 200 km/h	
IT	ϕ_2, ϕ_3 dle EN 1991-2		do 350 km/h	HSLM + skuteč. vlaky
ES	ϕ_2, ϕ_3 dle EN 1991-2	<220km/h	> 220 km/h	HSLM + skuteč. vlaky
FR	ϕ_2, ϕ_3 dle EN 1991-2	ϕ_2 pro všechny mosty	> 200 km/h	
AT	ϕ_2, ϕ_3 dle EN 1991-2	LM71, SW/0+2	> 200 km/h	HSLM

Tab. 4 Použití dynamického součinitele ϕ v Evropě

Další problematikou řešenou v rámci zatížení dopravou je interakce koleje (vlaku) a mostní konstrukce. Vzhledem k tomu, že se nejedná o pružný a lineární problém, vede posouzení k využití přímých integračních metod namísto klasické modální analýzy při zjišťování dynamického chování konstrukce.

3.3 KLIMATICKÁ ZATÍŽENÍ

Určení klimatických zatížení, tj. zatížení rovnoměrnou i nerovnoměrnou teplotou, větrem a sněhem, se řídí zavedenými principy dle požadavků příslušných kapitol Eurokódu 1, shodně jako u běžných železničních mostů.

3.4 MIMOŘÁDNÁ ZATÍŽENÍ

Posouzení mimořádných zatížení mostů na VRT kopíruje požadavky, jaké musí splňovat běžné železniční mosty (viz EC1).

4 NÁVRH MOSTŮ VRT

4.1 NÁVRHOVÝ PŘÍSTUP

Specifická citlivost mostních konstrukcí VRT na jednotlivé druhy zatížení, jak bylo popsáno v předchozí kapitole, vede k použití odlišného přístupu při jejich navrhování. Posouzení dynamického chování konstrukce zde nabývá zásadního významu na rozdíl od železničních mostů na tratích s návrhovou rychlostí do max. 200 km/h. Striktní limity dovoleného přetvoření konstrukce z důvodu zajištění cestovního komfortu, udržení geometrické polohy koleje (v případě mostů se štěrkovým ložem) a požadavky na dynamické charakteristiky ovlivňují návrhový proces do té míry, že mezní stav použitelnosti je rozhodující pro stanovení dimenzí konstrukce.

4.2 MEZNÍ STAVY ÚNOSTNOSTI

Byť je dodržení kritérií mezního stavu únosnosti nezbytnou součástí posouzení mostů na VRT, neočekává se jeho rozhodující význam pro provozní stav konstrukce. Stanovení dimenzí dílčích částí konstrukce však mohou ovlivnit požadavky na jejich stabilitu či odolnost vůči mimořádným zatížením. Naproti tomu při návrhu procesu výstavby lze očekávat majoritní význam posouzení únosnosti v jednotlivých výstavbových stádiích.

4.3 MEZNÍ STAV ÚNAVY

Pro provoz na železnici je charakteristické, že hmotnost běžně provozovaných vlaků dosahuje hodnot blízkých maximu, na něž jsou konstrukce navrhovány, a frekvence provozu po celou dobu životnosti znamená značný počet kritických zatěžovacích cyklů. Proto posouzení mezního stavu únavy hraje u mostních objektů na železnici zásadní roli. Dynamické zatížení vysokorychlostními vlaky navíc způsobuje vysoký rozkmit napětí v porovnání se zatížením konvenčními vlaky. U mostů na VRT je však poměr vlastní tíhy a provozního zatížení odlišný ve prospěch vlastní tíhy podstatně tužší konstrukce dimenzované tak, aby odolala značnému dynamickému zatížení při vyvození minimálních

deformací. Z toho důvodu se očekává, že posouzení mezního stavu únavy nebude u mostních konstrukcí na VRT mít rozhodující vliv.

4.4 MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI

Hodnoty dovolených deformací mostů na VRT jsou z výše uvedených důvodů významně omezené ve srovnání s mosty na konvenčních tratích. Tolerovaný průhyb nosné konstrukce je omezen na 1/3000 rozpětí, což proti hodnotě 1/600.L platné pro rychlosti do 120 km/h znamená podstatné zvýšení nároků na tuhost konstrukce. V podobných intencích se pohybují i přísnější limity pro zkroucení mostovky a ohybovou tuhost kolejového lože. K tomu je třeba přičíst již zmíněné vysoké dynamické namáhání konstrukce. Jednak zde máme konstrukci citlivou na rezonance od vysokou rychlostí projíždějícího vlaku, které mohou způsobit nadměrné vertikální zrychlení konstrukce, jež by při překročení hodnoty 0,35.g mohlo vést k oddělení kolejového lože od mostovky či ke ztrátě kontaktu projíždějícího vlaku s kolejí. Rezonanční chování konstrukcí na VRT není možné spolehlivě stanovit bez provedení podrobné dynamické analýzy. Navíc zde dochází vlivem pohybů kolejového lože k posílení vlivu statických zatížení, což se negativně projeví na propojení koleje a kolejového lože a ovlivňuje interakci koleje a mostní konstrukce. V tomto případě je předmětem řešení složitá nelineární problematika. Na tomto místě je vhodné uvést, že i vodorovné deformace od brzdných a akceleračních sil od vlakové soupravy je u mostů VRT nutno omezit.

Všechny uvedené vlivy je nutné vzít v úvahu při posouzení konstrukce v mezním stavu použitelnosti. Dodržení požadovaných parametrů je u mostů VRT rozhodující pro jejich celkové posouzení.

5 ZDROJE

- [1] ČSN EN 1991-2 ed. 2 – Eurokód: Zatížení konstrukcí – Část 2: Zatížení mostů dopravou, Praha: ÚNMZ, 2015
- [2] ČSN EN 1990 ed. 2 - Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí, příloha A2 - Použití pro mosty, Praha: ÚNMZ, 2015
- [3] ČSN EN 15528 - Železniční aplikace - Traťové třídy zatížení pro určení vztahu mezi dovoleným zatížením infrastruktury a maximálním zatížením vozidly, Praha: ÚNMZ, 2016
- [4] *Richtlinie 804 – Eisenbahnbrücken (und sonstige Ingenieurbauwerke) planen, bauen und instand halten*, Frankfurt am Main: DB Netz AG, 2012
- [5] *Richtlinie 804.9020 – Rahmenplanung Talbrücken*, München: DB AG, 2003
- [6] *IN 3278 - Référentiel Technique pour la réalisation des LGV*, Paris: RFF/SNCF, 2006
- [7] RFI DTC INC PO SP IFS 001 A - *SPECIFICA PER LA PROGETTAZIONE E L'ESECUZIONE DEI PONTI FERROVIARI E DI ALTRE OPERE MINORI SOTTO BINARIO*, Roma: RFI, 2011
- [8] RFI DTC INC PO SP IFS 002 A - *SPECIFICA PER LA PROGETTAZIONE E L'ESECUZIONE DI CAVALCAVIA E PASSERELLE PEDONALI SULLA SEDE FERROVIARIA*, Roma: RFI, 2011
- [9] RFI DTC INC PO SP IFS 003 A - *SPECIFICA PER LA VERIFICA A FATICA DEI PONTI FERROVIARI*, Roma: RFI, 2011

- [10] EVANGELISTA, Luigi, Dott. Ingg. Presentation of the specification for the design and implementation of railway bridges and other minor under-track works, *Ingenieria Ferroviaria*, 10/2012, s. 785-801
- [11] IAPF 07 - Instrucción de acciones a considerar en puentes de ferrocarril, España: Centro de Publicaciones - Secretaría General Técnica - Ministerio de Fomento, 2010
- [12] Planungsgrundsätze für Eisenbahnbrücken, Wien: ÖBB Infrastruktur Bau Aktiengesellschaft, 2008
- [13] Richtlinie für die dynamische Berechnung von Eisenbahnbrücken, Wien: ÖBB Infrastruktur Bau Aktiengesellschaft, 2011
- [14] Technische Richtlinien für Eisenbahnbrücken Bahnüberbrückungen und verwandte Bauwerke, Wien: ÖBB Infrastruktur Bau Aktiengesellschaft, 2005
- [15] UIC Code 776-2 ed. 2: Design requirements for rail-bridges based on interaction phenomena between train, track and bridge, Paris: UIC, 2009
- [16] PFEIFER, Rolf H. a MÖLTER, Tristan M. Handbuch Eisenbahnbrücken – Grundsätze für Planung und Konstruktion sowie Hinweise auf Bauverfahren, Hamburg: DVV Media Group GmbH / Eurailpress, 2008
- [17] BURJAN, Adam, Mostní konstrukce pro vysokorychlostní tratě, Praha, 2015, Bakalářská práce, ČVUT, Fakulta stavební
- [18] CALCADA, Rui, RAIMUNDO, Delgado a CAMPOS e MATOS, António, Bridges for High-speed Railways, Leiden (NL): CRC Press/Balkema, 2008
- [19] HOORPAH, W. Dr. Steel Bridges for High-speed Railways in Europe, ISSS '06 Korea, 2006
- [20] TSCHUMI, Marcel Dr. h.c., 2006 Seminar ' Bridge Design with Eurocodes', JRC-Ispra, 1-1 Oct 2012
- [21] HANSWILLE, G. Univ.-Prof. Dr. Ing., Kapitel 15.3 – Einwirkungen auf Brücken, Bergische Universität Wuppertal, 2013. Dostupné z: [http://www.stahlbau.uni-wuppertal.de/fileadmin/bauing/stahlbau/Downloads/Lehrunterlagen/Br%C3%BCkenbau/Kapitel_15.3_und_15.4_-_Br%C3%BCkenbau_Einwirkungen_2013-06-14.pdf]
- [22] CANTIENI R. & kolektiv, Ambient testing and model updating of a filler beam bridge for high-speed trains, 7th European Conference on Structural Dynamics EURODYN 2008, Southampton. Dostupné z: [http://www.svibs.com/solutions/literature/2008_3.pdf]
- [23] ANICOTTE, Céline, Dynamic behaviour of railway bridges under multiple units, Paris: UIC, 2015
- [24] ANICOTTE, Céline, Dynamic study of railway bridges under new reference load models for multiple units, Paris: UIC, 2015
- [25] Eisenbahnüberführung Gänsebachthalbrücke, Leipzig: DB Netz AG, 2009. Dostupné z: [www.vde8.de]
- [26] DAVAINÉ, Laurence, Etat de l'art des ponts métalliques et mixtes en France, Conference Paris, 24 Oct 2012. Dostupné z: [https://www.cticm.com/sites/default/files/01_Id_etat_de_lart_pont_mixtes.pdf]
- [27] MARIONI, Agostino, Bearing Systems for High Speed Railway Bridges, Sixth World Congress on Joints, Bearings and Seismic Systems for Concrete Structures Halifax (Canada), 17-21 September 2006

- [28] FRANTZ, Gilles, CEZARD, Christophe, *Viaduc de la Savoureuse*, Journée AFGC – 27/11/2008. Dostupné z:
[http://www.est.cerema.fr/IMG/pdf/05_Gilles_Frantz_cle12d6fc.pdf]
- [29] FELTRIN, G. a GSELL, D. , *Guideline for estimating structural damping of railway bridges - Background document D5.2-S2*, Project Sustainable Bridges - Assessment for Future Traffic Demands and Longer Lives, 2007. Dostupné z:
[<https://www.scribd.com/document/163126306/20120302-100952-1390-SB5-2-S2>]
- [30] ÖSTLUND, Johan, *Soil-structure interaction of endframes for high-speed railway bridges*, Stockholm (Sweden), 2016, Degree Project in Civil Engineering and Urban Management, KTH Royal Institute of Technology
- [31] MATO, Francisco Millanes a kol., *Development of steel and composite solutions for viaducts on Spanish high speed railway lines*, Hormigón y acero, enero-marzo 2011. Dostupné z: [www.e-ache.com]
- [32] GUERRERO, Belén, *La alta velocidad llega a León*, Via Libre, Septiembre 2015, s. 4-28
- [33] Kolektiv autorů, COMBRI-HANDBUCH BRÜCKEN, Teil I. + II., Projekt COMBRI RFS-CR-03018, Universität Stuttgart, 2008
- [34] <https://structurae.net/structures/bridges-and-viaducts/high-speed-rail-bridges/list>
- [35] <http://www.cfcsl.com/puentes/>
- [36] <http://e-ache.com/modules/smartsection/item.php?itemid=118>
- [37] <http://www.midilibre.fr/2015/03/02/ligne-a-grande-vitesse-le-contournement-de-nimes-vu-du-ciel,1130444.php>
- [38] https://en.wikipedia.org/wiki/High-speed_rail_in_Europe