



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

**STATICKÝ PŘEPOČET OCELOVÉHO MOSTNÍHO
PROVIZORIA ŽM 30**

STATIC VERIFICATION OF STEEL TEMPORARY BRIDGE ŽM 30

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Lucie Tomčíková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. MARCELA KARMAZÍNOVÁ, CSc.

BRNO 2018



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav kovových a dřevěných konstrukcí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Lucie Tomčíková
Název	Statický přepoččet ocelového mostního provizoria ŽM 30
Vedoucí práce	prof. Ing. Marcela Karmazínová, CSc.
Datum zadání	30. 11. 2017
Datum odevzdání	25. 5. 2018

V Brně dne 30. 11. 2017

prof. Ing. Marcela Karmazínová, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

1. Katalog provizoria ŽM 30 z roku 1971 (dispoziční a konstrukční řešení, průřezy, geometrické parametry, zatěžovací účinky apod.)
2. Výsledky zatěžovacích zkoušek varianty provizoria o rozpětí $L = 18$ m provedených na pracovišti v roce 2011
3. Literatura podle doporučení vedoucí bakalářské práce

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Vypracujte statický přepočet nosné ocelové konstrukce vojenského mostního provizoria ŽM 30 s plnostěnnými hlavními nosníky proměnné výšky. Statický přepočet konstrukce zpracujte podle aktuálně platných evropských norem pro varianty provizoria o rozpětí $l = 18$ m a $L = 30$ m. Dále proveďte porovnání výsledků statického přepočtu s původním statickým výpočtem a s výsledky zatěžovacích zkoušek varianty provizoria o rozpětí $L = 18$ realizovaných na pracovišti v minulosti. V rámci řešení vypracujte technickou zprávu, statický výpočet a výkresovou dokumentaci v rozsahu podle pokynů vedoucí diplomové práce.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

prof. Ing. Marcela Karmazínová, CSc.
Vedoucí bakalářské práce

POPISNÝ SOUBOR ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Vedoucí práce	prof. Ing. Marcela Karmazínová, CSc.
Autor práce	Lucie Tomčíková
Škola	Vysoké učení technické v Brně
Fakulta	Stavební
Ústav	Ústav kovových a dřevěných konstrukcí
Studijní obor	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Název práce	Statický přepoččet ocelového mostního provizoria ŽM 30
Název práce v anglickém jazyce	Static verification of steel temporary bridge ŽM 30
Typ práce	Bakalářská práce
Přidělovaný titul	Bc.
Jazyk práce	Čeština
Datový formát elektronické verze	PDF
Abstrakt práce	Náplní bakalářské práce je statický přepoččet dvou variant ocelového mostního provizoria ŽM 30, první varianta má rozpětí 18 m, druhá varianta rozpětí 30 m. Cílem výpočtu varianty o rozpětí 18 m je také porovnání s výsledky zatěžovací zkoušky provedené na mostním provizoriu. Ocelová konstrukce je vyrobena z oceli pevnostní třídy S490. Výpočty jsou zpracovány podle platných normativů ČSN EN.
Abstrakt práce v anglickém jazyce	The content of the bachelor thesis is static verification of a steel temporary bridge ŽM 30, the span of the first version is 18 m, the span of the second version is 30 m. The first version also contains a comparison with the results of load test performed on the temporary

bridge. Steel construction is made of steel strength class S490. The calculations are made according to valid norms ČSN EN.

Klíčová slova Ocelová konstrukce, mostní provizorium, železniční, LM71, zatížení, hlavní nosník, statický přepočet, posouzení

Klíčová slova v anglickém jazyce Steel construction, temporary bridge, railway, LM71, load, main beam, static verification, evaluation

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Lucie Tomčíková *Statický přepočet ocelového mostního provizoria ŽM 30*. Brno, 2018. 19 s., 82 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav kovových a dřevěných konstrukcí. Vedoucí práce prof. Ing. Marcela Karmazínová, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 24.5. 2018

Lucie Tomčíková
autor práce

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 24. 5. 2018

Lucie Tomčíková
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala paní prof. Ing. Marcele Karmazínové, CSc. za odborné vedení, ochotně poskytnuté rady a odborné jednání při konzultacích.

Lucie Tomčíková

OBSAH PRÁCE

01	Titulní list
02	Zadání VŠKP
03	Abstrakt, klíčová slova
04	Bibliografická citace VŠKP
05	Prohlášení o původnosti práce
06	Prohlášení o shodě listinné a elektronické VŠKP
07	Poděkování
08	Obsah práce, seznam příloh
09	Technická zpráva
10	Seznam použité literatury
11	Seznam použitých zkratk a symbolů

SEZNAM PŘÍLOH

P1	Statický výpočet
P2	Výstup z programu – 18 m
P3	Výstup z programu – 30 m
P4	Výkresová dokumentace



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

**STATICKÝ PŘEPOČET OCELOVÉHO MOSTNÍHO
PROVIZORIA ŽM 30**

STATIC VERIFICATION OF STEEL TEMPORARY BRIDGE ŽM 30

TECHNICKÁ ZPRÁVA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Lucie Tomčíková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. MARCELA KARMAZÍNOVÁ, CSc.

BRNO 2018

Obsah

1	Všeobecné informace.....	3
2	Použité normativní dokumenty	3
3	Použitý materiál.....	3
4	Zatížení konstrukce.....	3
4.1	Zatížení stálé – vlastní tíha	4
4.2	Proměnné zatížení	4
4.3	Model zatížení LM71	4
4.4	Boční ráz	4
4.5	Rozjezdové a brzdné síly	4
5	Konstrukční řešení.....	5
5.1	Hlavní nosníky.....	5
5.1.1	Rozpětí mostu 18 m	5
5.1.2	Rozpětí mostu 30 m	5
5.2	Příčné ztužení.....	5
5.3	Vodorovné ztužení	5
5.4	Ložiska.....	5
5.5	Vozovka.....	6
6	Povrchová úprava konstrukce.....	6
7	Montáž a výroba.....	6
8	Statické řešení	6
9	Výkaz materiálu	6

1 Všeobecné informace

Cílem práce je přepočítat nosné ocelové konstrukce železničního mostu ŽBM 30 z roku 1971 dle stávajících norem a porovnání s výsledky zatěžovací zkoušky provedené na mostním provizoriu o rozpětí 18 m. Konstrukce je z bainitické oceli, slouží k obnově mostních polí do rozpětí 30 m. Most je jednokolejný, s horní mostovkou a se 2 plnostěnnými hlavními nosníky. Jedná se o posouzení jednostěnného 18 m mostu a dvoustěnného, zesíleného mostu o rozpětí 30 m. Výpočet vnitřních sil byl proveden pomocí softwaru RFEM a výpočty jsou zpracovány podle platných norem ČSN EN.

2 Použité normativní dokumenty

ČSN EN 1990	Zásady navrhování konstrukcí
ČSN EN 1991-1-1	Zatížení konstrukcí. Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
ČSN EN 1991-1-4	Zatížení konstrukcí. Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem
ČSN EN 1991-2	Zatížení konstrukcí. Část 2: Zatížení mostů dopravou
ČSN EN 1993-1-5	Navrhování ocelových konstrukcí. Část 1-5: Boulení stěn
ČSN EN 1993-2	Navrhování ocelových konstrukcí. Část 2: Ocelové mosty

3 Použitý materiál

Hlavní nosné díly mostu jsou vyrobeny z konstrukční vysokopevnostní chrommolybdenové oceli S490, která by měla odpovídat oceli S490

4 Zatížení konstrukce

Nosná ocelová konstrukce vychází z reálných rozměrů železničního mostu ŽBM 30. Statická analýza konstrukce byla provedena metodou konečných prvků v programu RFEM 5.12.02. Do modelu bylo ručně vloženo vypočítané zatížení. Softwarem byly na základě zadaných parametrů vypočítány hodnoty vnitřních sil a deformací.

4.1 Zatížení stálé – vlastní tíha

Vlastní tíha konstrukce byla automaticky vygenerována pomocí softwaru RFEM 5.12.02.

4.2 Proměnné zatížení

Jelikož se jedná o mostní provizorium, které může být použito v kterékoliv větrové oblasti, bylo zatížení větrem na mosty vypočítáno pro větrovou oblast V, kdy základní rychlost větru $v_{b,0} = 36,0$ m/s. Zatížení větrem bylo vygenerováno programem RFEM 5.12.02, vodorovné účinky pomocí funkce zatížení na plochu a svislé účinky pomocí funkce zatížení na linii.

4.3 Model zatížení LM71

Zatěžovací model LM71 znázorňuje zatížení od běžné kolejové dopravy. Zatěžovací model je tvořen spojitým zatížením o charakteristické hodnotě 80 kN/m a čtyřmi osamělými silami o charakteristické hodnotě 250 kN. Zatížení je přenásobené dynamickým součinitelem Φ pro dané rozpětí a klasifikačním součinitelem $\alpha = 1,21$. Pro přepočet nosných prvků mostních objektů starších 30 let je součinitel zatížení LM71 $\gamma_{F,LM71} = 1,3$.

4.4 Boční ráz

Boční ráz se uvažuje jako osamělá síla působící kolmo na osu koleje, v programu RFEM 5.12.02 byl modelován jako spojitě zatížení na linii v úrovni temene kolejnice. Vychází z charakteristické hodnoty $Q_S = 100$ kN vynásobené součinitelem $\alpha = 1,21$.

4.5 Rozjezdové a brzdné síly

Rozjezdové a brzdné síly působí v podélném směru koleje v úrovni temene kolejnic. V programu jsou znázorněny jako spojitě zatížení na linii v úrovni temene kolejnic. Charakteristická hodnota rozjezdových sil je 33 kN/m a brzdných sil 20 kN/m. Charakteristické hodnoty rozjezdových a brzdných sil musí splňovat následující podmínky:

Rozjezdová síla:	$Q_{lak} = 33 \times L_{a,b} \leq 1\,000$ kN
Pro $L_{a,b} = 18$ m:	$Q_{lak} = 33 \times 18 = 594$ kN $\leq 1\,000$ kN
Pro $L_{a,b} = 30$ m:	$Q_{lak} = 33 \times 30 = 990$ kN $\leq 1\,000$ kN
Brzdná síla:	$Q_{lbk} = 20 \times L_{a,b} \leq 6\,000$ kN
Pro $L_{a,b} = 18$ m:	$Q_{lbk} = 20 \times 18 = 360$ kN $\leq 6\,000$ kN
Pro $L_{a,b} = 30$ m:	$Q_{lbk} = 20 \times 30 = 600$ kN $\leq 6\,000$ kN

5 Konstrukční řešení

5.1 Hlavní nosníky

Hlavní nosníky jsou tvořeny z koncových trámů délky 6 m a základních trámů rovněž délky 6 m. Hlavní nosníky jsou plnostěnné, spojení horná pásnice je zajištěno čtyřmi šrouby v čelních stykových deskách a dolní pásnice se spojují hřebenovými zámky s roubíky. Výška hlavních nosníků u obou druhů mostů je v místě uložení na ložiska 900 mm.

5.1.1 Rozpětí mostu 18 m

Pro rozpětí mostu 18 m byl na jeden hlavní nosník použit jeden základní trámec, výška uprostřed mostu je 1824 mm.

5.1.2 Rozpětí mostu 30 m

Pro rozpětí 30 m byly použity na jeden hlavní nosník 3 základní trámce zesílené připojením nosníku výšky 1010 mm k dolní pásnici, celková výška uprostřed mostu je 2834 mm. Pro rozpětí 30 m se používají dvoustěnné mosty, jejichž stěny jsou spojeny tuhými spojkami stěn, připojenými ke svislým výztuhám.

5.2 Příčné ztužení

Dvě krajní ztužidla jsou plnostěnná, ostatní ztužidla jsou složena ze dvou vodorovných rozpěr a dvou příček a jsou montovaná vždy na obou koncích základního 6 m trámce.

5.3 Vodorovné ztužení

Vodorovné ztužení je tvořeno větrovým nosníkem o průřezu obráceného T a nachází se v úrovni horních pásnic hlavních nosníků. Slouží k zajištění mostu proti ohybu účinkem vodorovných sil.

5.4 Ložiska

Ložiska jsou pevná a pohyblivá (kluzná) a jsou upevněna ke spodní pásnici každé stěny nosníku v krajní vodorovné části.

5.5 Vozovka

Rozchod koleje je 1435 mm a kolejnice s podkladnicemi a s pružnými podložkami se upevňují přímo na hlavní nosníky.

6 Povrchová úprava konstrukce

Je nutné dbát na ochranu proti korozi, součásti jsou vyrobeny z tenkých plechů, tudíž hrozí větší nebezpečí oslabení nosných prvků. Ochrana proti korozi je provedena jednovrstvým základním olejovým a trojvrstvým syntetickým krycím nátěrem. Otvory a čepy jsou chráněny proti korozi vazelínou.

7 Montáž a výroba

Stavba mostu se provádí v několika etapách, jelikož se jedná o mostní provizorium a jeden z účelů tohoto mostu je i rychlá montáž, tak první etapa probíhá ještě na montážní základně, kde se smontuje mostní konstrukce. V druhé etapě se naloží a přepraví k místu překážky. Ve třetí etapě se uloží mostní konstrukce na ložiska a v závěrečné čtvrté etapě se montuje svršek na mostě a probíhají dokončovací práce.

Součásti mostu jsou předem vyrobeny a uskladněny na skládkách v dostatečném množství.

8 Statické řešení

Byl vytvořen 3D model konstrukce v programu RFEM 5.12.02 a byl proveden výpočet vnitřních sil a deformací pomocí přídatného modulu RF-STEEL a ruční výpočty pro porovnání dle platných norem.

9 Výkaz materiálu

Výkaz materiálu byl vypočten programem RFEM 5.12.02. Celková hmotnost konstrukce je 8 681,4 kg, plocha je 123,49 m² a objem 1,106 m³.

Seznam použité literatury

1. ČSN EN 1990 *Zásady navrhování konstrukcí* – Praha: Český normalizační institut, 2004
2. ČSN EN 1991-1-1 *Zatížení konstrukcí – část 1-1: obecná zatížení – objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. Praha: Český normalizační institut, 2004
3. ČSN EN 1991-1-4 *Zatížení konstrukcí – část 1-4: obecná zatížení – zatížení větrem*. Praha: Český normalizační institut, 2007
4. ČSN EN 1991-2 *Zatížení konstrukcí – část 2: Zatížení mostů dopravou*. Praha: Český normalizační institut, 2005
5. ČSN EN 1993-1-1 *Navrhování ocelových konstrukcí – část 1-1: obecná pravidla pro navrhování konstrukcí pozemních staveb*. Praha: Český normalizační institut, 2006
6. ČSN EN 1993-1-5 *Navrhování ocelových konstrukcí – část 1-5: boulení stěn*. Praha: Český normalizační institut, 2008
7. ČSN EN 1993-1-8 *Navrhování ocelových konstrukcí – část 1-8: navrhování styčnicků*. Praha: Český normalizační institut, 2006
8. ČSN EN 1993-2 *Navrhování ocelových konstrukcí – část 2: ocelové mosty*. Praha: Český normalizační institut, 2008
9. LORENZ, Karel. *Navrhování nosných konstrukcí*. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2015. ISBN 978-80-87438-65-7.
10. Federální ministerstvo dopravy – velitelství železničního vojska. *Železniční most ŽBM 30*. Praha, 1971
11. Prof. Ing. KARMAZÍNOVÁ, Marcela, CSC., Prof. Ing. MELCHER, Jindřich, DrSc., Ing. PILGR, Milan, Ph.D. a Ing. ŠTRBA, Michal. *Zatěžovací zkoušky mostního provizoria ŽBM*. Brno, 2011
12. Dlubal Software s.r.o., *RFEM 5 – popis programu*. Praha, 2012

Seznam použitých zkratk a symbolů

Velká písmena

$A_{c,eff}$	účinná plocha průřezu
$A_{ref,x}$	referenční plocha
C	součinitel zatížení větrem pro mosty
E	Youngův modul pružnosti
$F_{b,Rd}$	návrhová únosnost čepu v otláčení
$F_{v,Ed}$	návrhová smyková síla v čepu
$F_{v,Rd}$	návrhová únosnost čepu ve stříhu
F_w	zatížení větrem na vlak
G	modul pružnosti ve smyku
$I_{y,eff}$	účinný moment setrvačnosti k ose y
$I_{z,eff}$	účinný moment setrvačnosti k ose z
L	rozpětí mostu
$L_{a,b}$	rozpětí mostu
L_ϕ	rozpětí mostu
$M_{c,Rd}$	návrhová únosnost v ohybu
M_{Ed}	návrhový ohybový moment
M_q	moment od zatížení LM71
M_w	moment od zatížení větrem na vlak
P_w	přítížení na jeden nosník
$W_{y,eff}$	účinný pružný průřezový modul

Malé písmena

b	šířka konstrukce
b_{eff}	účinná šířka pro pružné smykové ochabnutí
c	šířka pásnice
C_{dir}	součinitel směru
C_{season}	součinitel ročního období
d	průřez čepu
d_0	průměr otvoru čepu
d_{tot}	hloubka konstrukce

f_u	mez pevnosti
f_{up}	mez pevnosti čepu
f_y	mez kluzu
f_{yp}	mez kluzu čepu
h	výška vlaku
k_σ	součinitel kritického napětí
t	tloušťka stojiny
t_f	tloušťka pásnice
v_b	základní rychlost větru
$v_{b,0}$	výchozí hodnota základní rychlosti větru
w	průhyb

Velká řecká písmena

Φ	dynamický součinitel
--------	----------------------

Malá řecká písmena

α	klasifikační součinitel
γ_{M0}	součinitel únosnosti průřezů kterékoliv třídy
γ_{M1}	součinitel průřezů při posuzování stability prutů
γ_{M2}	součinitel průřezů při porušení oslabeného průřezu v tahu
ε	součinitel závisející na f_y
$\bar{\lambda}_p$	poměrná štíhlost
ρ	měrná hustota větru
σ	napětí
ψ	poměr napětí