

UNIVERZITA PARDUBICE
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2015

Tomáš Vtípil

Univerzita Pardubice

Dopravní fakulta Jana Pernera

Návrh mostového jeřábu

Tomáš Vtípil

Bakalářská práce

2015

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Tomáš Vtípil**
Osobní číslo: **D11457**
Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**
Studijní obor: **Dopravní prostředky: Silniční vozidla**
Název tématu: **Návrh mostového jeřábu**
Zadávací katedra: **Katedra dopravních prostředků a diagnostiky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Práci zaměřte na návrh mostového jeřábu pro zatížení $m = 13\,500$ kg. Proveďte konstrukční návrh mostu a návrh koncepce jeřábové kočky. Zpracujte odpovídající výkresovou dokumentaci. Pro vyhodnocení pevnosti a únavy použijte současné poznatky vědy a techniky. 1.

Úvod

2. Popis stávajících konstrukcí mostových jeřábů a jeřábových koček.
3. Stanovení vstupních parametrů zatížení.
4. Konstrukční návrh, výpočet pevnosti a únavy mostu jeřábu.
5. Návrh koncepce jeřábové kočky.
6. Závěr.

Rozsah grafických prací: podle pokynů vedoucího práce

Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran textu a přílohy

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

[1] ČSN EN 1993-1 (dříve ČSN 731401). Navrhování ocelových konstrukcí. Česká technická norma. Český normalizační institut, 1998. [2] Shigley, J., E., Mischke, Ch., R., Budynas, R., G. Konstruování strojních součástí. Nakladatelství VUTIUM, VUT Brno, 2010. ISBN 978-80-214-2629-0. [3] Gajdůšek, J., Škopán, M.: Teorie Dopravních a manipulačních zařízení. skripta VUT Brno, 1988. [4] Remta, F., Kupka, L., Dražan, F.: Jeřáby, 2., přeprac. a dopln. vyd., SNTL Praha, 1975.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Tomek, Ph.D.**
Katedra mechaniky, materiálů a částí strojů

Datum zadání bakalářské práce: **21. února 2014**

Termín odevzdání bakalářské práce: **31. května 2014**

prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.
děkan

L.S.

doc. Ing. Miroslav Tesař, CSc.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 21. února 2014

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 25. 5. 2015

Tomáš Vtípil

Poděkování

Chtěl bych velmi poděkovat své rodině za podporu a pomoc při tvorbě této práce. Dále bych chtěl poděkovat p. Ing. Zbyňku Myškovi a p. Ing. Vladimíru Moravcovi za konzultace, poskytnuté materiály a pomoc při výpočtech. Též firma NOPO s.r.o, která se zabývá i výrobou mostových jeřábů, mi poskytla materiály, z kterých jsem mohl čerpat. Na závěr bych chtěl poděkovat svému vedoucímu p. Ing. Petru Tomkovi, Ph.D., který vedl mou bakalářskou práci a poskytl mi mnoho cenných rad při tvorbě.

V Chrudimi dne 25.5.2015

Tomáš Vtípil

ANOTACE

Práce je věnována popisu konstrukcí mostového jeřábu se zaměřením na návrh mostového jeřábu pro nosnost 13 500 kg a dalšímu stručnému popisu jeřábů, se kterými se můžeme setkat. Zabývá se hlavně konstrukcí mostu tohoto jeřábu v závislosti na nosnosti a rozpětí jeřábu a též správného výběru kladkostroje od různých výrobců. Dále se zaměřuje na popis konstrukcí jeřábových koček. Tato práce obsahuje i pevnostní a únavové výpočty pro správné navržení mostů mostových jeřábů dle příslušné normy ČSN 27 0103.

KLÍČOVÁ SLOVA

jeřáb, most, jeřábová kočka, kladkostroj, nosnost

TITLE

Design of bridge crane

ANNOTATION

The work deals with the description of the constructions of the bridge crane with a focus on a plan of the bridge crane with load 13,500 kg and other short description of cranes which we can meet. It deals with the main construction of this crane in dependence on the load and span of crane and also the right choice of block and tackle from various producers. It focuses on the description of the constructions of the bridge trolleys, too. This work also includes strength and fatigue calculations for the right design of bridges of the bridge cranes, according to standard ČSN 27 0103.

KEYWORDS

crane, bridge, bridge trolley, block and tackles, load

OBSAH

ÚVOD.....	- 16 -
1 JEŘÁBY - VŠEOBECNĚ	- 17 -
2 DRUHY JEDNOTLIVÝCH JEŘÁBŮ	- 17 -
2.1 JEŘÁBY PORTÁLOVÉ	- 17 -
2.2 JEŘÁBY POLOPORTÁLOVÉ	- 18 -
2.3 JEŘÁBY SLOUPOVÉ	- 19 -
2.4 JEŘÁBY VĚŽOVÉ.....	- 20 -
2.5 JEŘÁBY LANOVÉ	- 21 -
2.6 KONZOLOVÉ JEŘÁBY	- 22 -
2.7 MOSTOVÉ JEŘÁBY	- 22 -
2.7.1 JEŘÁBOVÁ KOČKA MOSTOVÉHO JEŘÁBU	- 24 -
3 DRUHY PROVOZU JEŘÁBU DLE NORMY ČSN 27 0103 - OZNAČENÍ A CHARAKTERISTIKA PROVOZU	- 24 -
4 STANOVENÍ PARAMETRŮ PRO VÝPOČTY	- 25 -
5 VÝPOČET MOSTU MOSTOVÉHO JEŘÁBU	- 27 -
5.1 Výpočet sil zatěžující most (nosník) mostového jeřábu	- 27 -
5.2 Výpočet síly zatěžující most (nosník) od vlastní hmotnosti mostu.....	- 28 -
5.3 Výpočet maximálních ohybových momentů působících na most.....	- 28 -
5.4 Výpočet jednotlivých normálových napětí	- 28 -
5.5 Výpočet lokálního napětí pásnice	- 29 -
5.5.1 Výpočet poměru vzdáleností působivé síly.....	- 30 -
5.5.2 Výpočet největšího zatížení od jednoho kola jeřábové kočky.....	- 30 -
5.5.3 Výpočet součinitelů α_{xi}	- 30 -
5.5.4 Výpočet lokálního napětí spodní pásnice u válcovaného profilu HEB 700 ..	- 30 -
5.6 Výpočet výsledného maximálního napětí působící na most (nosník) jeřábu.....	- 30 -
5.7 Výpočet dovoleného napětí dle normy ČSN 73 1401	- 31 -
5.7.1 Výpočet dovoleného napětí pro materiál jakosti 11 373	- 31 -
5.7.2 Výpočet dovoleného napětí pro materiál jakosti 11 523	- 31 -
5.8 Porovnání výsledného maximálního napětí působící na most jeřábu s dovoleným napětím (jakost materiálu 11 373).....	- 32 -
5.9 Výpočet jednotlivých průhybů od působících sil na most jeřábu	- 32 -
5.9.1 Výpočet výsledného průhybu	- 33 -
5.9.2 Výpočet dovoleného průhybu mostu dle normy ČSN 27 0103	- 33 -
5.9.3 Porovnání výsledného průhybu mostu jeřábu s dovoleným průhybem	- 34 -
6 VÝPOČET SVAŘOVANÉHO MOSTU (NOSNÍKU - SVAŘOVANÉHO TUBUSU) MOSTOVÉHO JEŘÁBU	- 34 -

6.1	Návrh svařovaného mostu.....	- 35 -
6.1.1	Stanovení obsahů průřezů jednotlivých pásnic.....	- 36 -
6.1.2	Výpočet celkové výšky svařovaného nosníku	- 36 -
6.1.3	Výpočet celkové hmotnosti svařovaného mostu	- 36 -
6.1.4	Výpočet vzdálenosti těžiště z_T od počátku souřadnicového systému.....	- 37 -
6.1.4.1	Výpočet výsledné vzdálenosti těžiště z_T	- 37 -
6.1.5	Výpočet kvadratického momentu J_y k ose y'	- 37 -
6.1.5.1	Výpočet výsledného kvadratického momentu J_y	- 38 -
6.1.6	Výpočet modulů průřezů v ohybu ke krajním vláknům nosníku.....	- 38 -
6.2	Výpočet sil zatěžujících svařovaný most (nosník) mostového jeřábu	- 38 -
6.3	Výpočet síly zatěžující most (nosník) od vlastní hmotnosti mostu.....	- 39 -
6.4	Výpočet maximálních ohybových momentů působících na svařovaný most	- 39 -
6.5	Výpočet jednotlivých normálových napětí k hornímu krajnímu vlákně mostu.....	- 39 -
6.5.1	Výsledné maximální napětí k hornímu krajnímu vlákně svař. mostu	- 40 -
6.6	Výpočet jednotlivých normálových napětí k dolnímu krajnímu vlákně mostu	- 40 -
6.7	Výpočet lokálního napětí pásnice svařovaného mostu	- 40 -
6.7.1	Výpočet lokálního napětí spodní pásnice u svařovaného mostu	- 41 -
6.7.2	Výpočet největšího zatížení od jednoho kola jeřábové kočky.....	- 41 -
6.7.3	Výpočet součinitelů α_{xi}	- 42 -
6.7.4	Výpočet lokálního napětí	- 42 -
6.8	Výsledné maximální napětí k dolnímu krajnímu vlákně svařovaného mostu	- 42 -
6.9	Výpočet dovoleného napětí dle normy ČSN 73 1401.....	- 42 -
6.9.1	Výpočet dovoleného napětí pro materiál jakosti 11 373	- 43 -
6.9.2	Výpočet dovoleného napětí pro materiál jakosti 11 523	- 43 -
6.10	Porovnání výsledného maximálního napětí k hornímu vlákně s dovoleným napětím (jakost materiálu 11 373).....	- 43 -
6.11	Porovnání výsledného maximálního napětí k dolnímu vlákně s dovoleným napětím (jakost materiálu 11 373).....	- 43 -
6.12	Výpočet jednotlivých průhybů od působících sil na svařovaný most jeřábu	- 43 -
6.12.1	Výpočet výsledného průhybu	- 45 -
6.12.2	Výpočet dovoleného průhybu svařovaného mostu dle normy ČSN 27 0103	- 45 -
6.12.3	Porovnání výsledného průhybu mostu jeřábu s dovoleným průhybem	- 45 -
7	KONTROLA SVARŮ SVAŘOVANÉHO MOSTU	- 45 -
7.1	HORNÍ PÁSNICE	- 46 -
7.1.1	Výpočet napětí v místě svaru u horní pásnice	- 46 -
7.1.2	Výpočet napětí působící ve středu horní pásnice.....	- 46 -
7.1.3	Výpočet síly působící ve středu rozpětí horní pásnice	- 47 -

7.1.4	Výpočet smykového napětí v 1/2 V svaru	- 47 -
7.1.5	Výpočet celkového napětí v 1/2 V svaru	- 48 -
7.1.6	Porovnání výsledného celkového napětí ve svaru horní pásnice s dovoleným napětím.....	- 48 -
7.2	SPODNÍ PÁSNICE.....	- 48 -
7.2.1	Výpočet napětí v místě svaru u dolní pásnice.....	- 48 -
7.2.2	Výpočet napětí působící ve středu dolní pásnice.....	- 49 -
7.2.3	Výpočet síly působící ve středu rozpětí dolní pásnice.....	- 49 -
7.2.4	Výpočet smykového napětí v 1/2 V svaru	- 49 -
7.2.5	Výpočet napětí působící od kola kladkostroje na svar u spodní pásnice.....	- 50 -
7.2.6	Výpočet celkového napětí ve svaru u dolní pásnice	- 51 -
7.2.7	Porovnání výsledného celkového napětí ve svaru dolní pásnice s dovoleným napětím.....	- 51 -
8	VÝPOČET ÚNOSNOSTI PŘI ÚNAVĚ - SVAŘOVANÝ NOSNÍK (MOST).....	- 51 -
8.1	HORNÍ PÁSNICE	- 52 -
8.1.1	Výpočet poměru mezních napětí	- 52 -
8.1.1.1	Výpočet maximálních ohybových momentů působících na svař. most.....	- 52 -
8.1.1.2	Výpočet napětí σ_{\min} a σ_{\max}	- 52 -
8.1.1.2.1	Poměr mezních napětí	- 53 -
8.1.2	Výpočet výpočtové pevnosti při únavě $R_{fat(x)}$ v závislosti na poměru mezních napětí a maximální výpočtové pevnosti při únavě zákl. materiálu $R_{fat(-1)}$	- 53 -
8.1.2.1	Stanovení výpočtové pevnosti.....	- 53 -
8.1.3	Porovnání maximální výpočtové pevnosti při únavě s celkovým napětím ...	- 54 -
8.2	DOLNÍ PÁSNICE.....	- 54 -
8.2.1	Výpočet poměru mezních napětí	- 54 -
8.2.1.1	Výpočet maximálních ohybových momentů působících na svař. most.....	- 54 -
8.2.1.2	Výpočet největšího zatížení od jednoho kola jeřábové kočky	- 54 -
8.2.1.2.1	Výpočet lokálního napětí.....	- 55 -
8.2.1.3	Výpočet napětí σ_{\min} a σ_{\max}	- 55 -
8.2.1.3.1	Poměr mezních napětí	- 55 -
8.2.2	Výpočet výpočtové pevnosti při únavě $R_{fat(x)}$ v závislosti na poměru mezních napětí a maximální výpočtové pevnosti při únavě zákl. materiálu $R_{fat(-1)}$	- 55 -
8.2.2.1	Stanovení výpočtové pevnosti.....	- 56 -
8.2.3	Porovnání maximální výpočtové pevnosti při únavě s celkovým napětím ...	- 56 -
9	ZÁVĚR	- 57 -
10	POUŽITÁ LITERATURA	- 58 -
11	PŘÍLOHY	- 59 -

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK

Obrázek 1	Portálový jeřáb GIGA	18
Obrázek 2	Poloportálový jeřáb GIGA	19
Obrázek 3	Sloupový jeřáb s otočí 360°	19
Obrázek 4	Sloupový jeřáb s otočí 270°	19
Obrázek 5	Stavební věžový pojízdný jeřáb s otočnou věží	20
Obrázek 6	Lanový kabelový jeřáb	21
Obrázek 7	Konzolový otočný jeřáb JASS	22
Obrázek 8	Mostový jeřáb GIGA s podvěsným kladkostrojem.....	23
Obrázek 9	Kladkostroj STAHL SHR6 - nosnost 16 000 kg.....	24
Obrázek 10	Válcovaný profil HEB - lokální napětí pásnice	29
Obrázek 11	Svařovaný nosník (most) - MJ 13,5t - 7 m.....	34
Obrázek 12	Svařovaný nosník (most) - lokální napětí pásnice	41
Tabulka 1	Technické parametry mostového jeřábu	25
Tabulka 2	Parametry válcovaných profilů HEB	26
Tabulka 3	Jmenovité hodnoty pevnostních veličin konstrukčních ocelí.....	31
Tabulka 4	Parametry pásnic pro svařovaný most (nosník) mostového jeřábu.....	35

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK

L	rozpětí mostového jeřábu	[m]
$m_{bř}$	hmotnost jmenovitého břemene	[kg]
m_{jk}	hmotnost kladkostroje (jeřábové kočky)	[kg]
m_{HEB}	hmotnost 1 m válcovaného profilu HEB	[kg/m]
g	tíhové zrychlení	[m/s ⁻²]
γ_g	součinitel zatížení od vlastních hmotností	
γ_{lo}	součinitel zatížení od jmenovitého břemene	
δ_h	dynamický součinitel zdvihový (zatížení od svislých setrvačných sil)	
δ_t	dynamický součinitel pojezdový (zatížení od dynamických sil při pojíždění jeřábu)	
$F_{bř}$	síla od působení jmenovitého břemene	[N]
F_{jk}	síla od působení kladkostroje (jeřábové kočky)	[N]
q_{HEB}	spojité zatížení od vlastní hmotnosti mostu (nosníku)	[N/m]
$M_{o_{maxbř}}; M_{obř}$	maximální ohybový moment od působení síly jmenovitého břemene [Nm]	
$M_{o_{maxjk}}; M_{ojk}$	maximální ohybový moment od působení síly jeřábové kočky	[Nm]
$M_{o_{maxHEB}}$	maximální ohybový moment od působení spojitého zatížení vlastní hmotnosti mostu válcovaného profilu HEB	[Nm]
W_{oy}	modul průřezu v ohybu v ose y válcovaného profilu HEB	[mm ³]
$\sigma_{bř}; \sigma_{bř1}'; \sigma_{bř2}'$	normálové napětí od působení jmenovitého břemene	[MPa]
$\sigma_{jk}; \sigma_{jk1}'; \sigma_{jk2}'$	normálové napětí od působení jeřábové kočky	[MPa]
σ_{HEB}	normálové napětí od působení spojitého zatížení vlastní hmotnosti mostu	[MPa]
$F_1; F_2; F_{12}; F_2'$	síla největšího zatížení od jednoho kola jeřábové kočky	[N]
t_g	tloušťka spodní pásnice válcovaného profilu HEB	[mm]

$\alpha_{x0}; \alpha_{x1}; \alpha_{x2}$	součinitelé pro výpočet lokálního napětí; indexy (0,1,2) označují vlákno spodní pásnice	
$\lambda_1; \lambda_2$	poměr vzdáleností působíště síly od okraje pojížděné spodní pásnice k její volné šířce	
l_{pk}	vzdálenost působíště síly od okraje pojížděné spodní pásnice	[mm]
b	šířka válcovaného profilu HEB	[mm]
t_s	tloušťka stojiny válcovaného profilu HEB	[mm]
$\sigma_{loc1}; \sigma_{loc2}; \sigma_{loc2}'$	lokální napětí spodní pásnice mostu (nosníku)	[MPa]
σ_1	výsledné maximální napětí válcovaného profilu HEB	[MPa]
γ_M	součinitel spolehlivosti materiálu	
Re	mez kluzu daného materiálu	[MPa]
Rm	mez pevnosti daného materiálu	[MPa]
σ_{DOV1}	dovolené napětí pro materiál jakosti 11 373	[MPa]
σ_{DOV2}	dovolené napětí pro materiál jakosti 11 523	[MPa]
E	modul pružnosti pro ocel	[MPa]
$y_{bř}$	průhyb válc. profilu HEB od působení síly jmenovitého břemene	[mm]
y_{jk}	průhyb válc. profilu HEB od působení síly jeřábové kočky	[mm]
y_{HEB}	průhyb válc. profilu od působení spojitého zatížení vlastní hmotnosti mostu	[mm]
y_{max1}	výsledný průhyb mostu (nosníku) válcovaného profilu HEB	[mm]
y_{DOV}	dovolený průhyb mostu	[mm]
B_1	šířka horní pásnice	[mm]
t_1	tloušťka horní pásnice	[mm]
B_2	šířka dolní pásnice	[mm]
t_2	tloušťka dolní pásnice	[mm]
B_3	výška levé bočnice	[mm]

t_3	tloušťka levé bočnice	[mm]
B_4	výška pravé bočnice	[mm]
t_4	tloušťka pravé bočnice	[mm]
S_1	obsah průřezu plochy horní pásnice	[mm ²]
S_2	obsah průřezu plochy spodní pásnice	[mm ²]
S_3	obsah průřezu plochy levé bočnice	[mm ²]
S_4	obsah průřezu plochy pravé bočnice	[mm ²]
H	celková výška svařovaného mostu (nosníku)	[mm]
ρ	hustota oceli	[kg/m ³]
m_1	hmotnost horní pásnice	[kg]
m_2	hmotnost spodní pásnice	[kg]
m_{34}	hmotnost levé nebo pravé bočnice	[kg]
m_{sn}	celková hmotnost svařovaného mostu (nosníku)	[kg]
m_{sn}'	hmotnost 1 m svařovaného mostu	[kg]
Z_{T1}	vzdálenost těžiště horní pásnice od počátku souřadnicového systému [mm]	
Z_{T2}	vzdálenost těžiště spodní pásnice od počátku souřadnicového systému [mm]	
Z_{T3}	vzdálenost těžiště levé bočnice od počátku souřadnicového systému [mm]	
Z_{T4}	vzdálenost těžiště pravé bočnice od počátku souřadnicového systému [mm]	
Z_T	vzdálenost těžiště svařovaného mostu od počátku souřadnicového systému [mm]	
$J_{y'1}$	kvadratický moment horní pásnice k posunuté ose y'	[mm ⁴]
$J_{y'2}$	kvadratický moment dolní pásnice k posunuté ose y'	[mm ⁴]
$J_{y'3}$	kvadratický moment levé bočnice k posunuté ose y'	[mm ⁴]

$J_{y'4}$	kvadratický moment pravé bočnice k posunuté ose y'	$[\text{mm}^4]$
$J_{y'}$	výsledný kvadratický moment svařovaného mostu k posunuté ose y'	$[\text{mm}^4]$
$W_{oy'1}$	modul průřezu v ohybu k hornímu krajnímu vláknu svařovaného mostu	$[\text{mm}^3]$
$W_{oy'2}$	modul průřezu v ohybu ke spodnímu krajnímu vláknu svařovaného mostu	$[\text{mm}^3]$
$q_{sn'}$	spojité zatížení od vlastní hmotnosti svařovaného mostu	$[\text{N/m}]$
$M_{0maxsn'}; M_{0sn'}$	maximální ohybový moment od působení spojitého zatížení vlastní hmotnosti svařovaného mostu	$[\text{Nm}]$
$\sigma_{sn1}'; \sigma_{sn2}'$	normálové napětí od působení spojitého zatížení svařovaného mostu	$[\text{MPa}]$
$l_{šk}$	šířka určená pro kolo kladkostroje (jeřábové kočky)	$[\text{mm}]$
σ_1'	výsledné maximální napětí k hornímu vláknu svařovaného mostu	$[\text{MPa}]$
σ_2'	výsledné maximální napětí k dolnímu vláknu svařovaného mostu	$[\text{MPa}]$
$y_{bř}'$	průhyb svařovaného mostu od působení síly jmenovitého břemene	$[\text{mm}]$
y_{jk}'	průhyb svařovaného mostu od působení síly kladkostroje	$[\text{mm}]$
y_{sn}	průhyb svařovaného mostu od působení spojitého zatížení vlastní hmotnosti mostu	$[\text{mm}]$
y_{max2}	výsledný průhyb svařovaného mostu	$[\text{mm}]$
σ_{1SH}'	normálové napětí působící v místě svaru u horní pásnice	$[\text{MPa}]$
σ_{1SHT}'	normálové napětí působící ve středu horní pásnice	$[\text{MPa}]$
F_{1SHT}'	síla působící ve středu rozpětí horní pásnice	$[\text{N}]$
F_{1SHT}''	síla, kterou přenáší dva svary u horní pásnice na 1 mm délky ramene svařovaného mostu	$[\text{N}]$

$F_{1SHTsvar}$	síla přenášená jedním svarem u horní pásnice na 1 mm délky ramene svařovaného mostu [N]	
$\tau_{1SHTsvar}$	smykové napětí ve svaru u horní pásnice	[MPa]
S_{svar}	obsah průřezu svaru	[mm ²]
σ_{REDSHT}	celkové napětí působící ve svaru u horní pásnice	[MPa]
σ_{2SD}'	normálové napětí působící v místě svaru u dolní pásnice	[MPa]
σ_{2SDT}'	normálové napětí působící ve středu rozpětí dolní pásnice	[MPa]
F_{2SDT}'	síla působící ve středu rozpětí dolní pásnice	[N]
F_{2SDT}''	síla, kterou přenášejí dva svary u dolní pásnice na 1 mm délky ramene svařovaného mostu [N]	
$F_{2SDTsvar}$	síla přenášená jedním svarem u dolní pásnice na 1 mm délky ramene svařovaného mostu [N]	
$\tau_{2SDTsvar}$	smykové napětí ve svaru u dolní pásnice	[MPa]
l_{Dsvar}	délka svaru u dolní pásnice přenášející sílu od jednoho kola kladkostroje [mm]	
σ_{Dsvar}	normálové napětí ve svaru u dolní pásnice od působení jednoho kola kladkostroje (jeřábové kočky) [MPa]	
σ_{RESDST}	celkové napětí působící ve svaru u dolní pásnice	[MPa]
$\sigma_{min1}; \sigma_{min2}$	minimální normálové napětí od působení kladkostroje a vlastní hmotnosti svařovaného mostu [MPa]	
$\sigma_{max1}; \sigma_{max2}$	maximální normálové napětí od působení všech ohybových momentů [MPa]	
$\chi_1; \chi_2$	poměr mezních napětí	
$R_{fat(-1)}$	základní maximální výpočtová pevnost materiálu při únavě	[MPa]
$R_{fat,p(\chi_1)}$	výpočtová pevnost materiálu při únavě vyvolané tlakem	[MPa]
$R_{fat,t(\chi_2)}$	výpočtová pevnost materiálu při únavě vyvolané tahem	[MPa]

ÚVOD

Jeřáby jsou všeobecně technická zařízení, která slouží k manipulaci různých břemen (materiál, svařence) převážně ve směru pohybu svislém. U mostových jeřábů se jedná o manipulaci ve směru pohybu svislém a též podélném. Výška manipulace s břemeny je dána pracovním prostředím, kde tyto jeřáby využíváme. Tato manipulační výška se může pohybovat v rozmezí desítek i stovek metrů, obvykle ale mostové jeřáby nepracují ve velkých výškách. Vždy byly a jsou nedílnou součástí výrobních hal, továren nebo součástí specializovaných pracovišť.

Tato bakalářská práce bude věnována převážně mostovým jeřábům z hlediska konstrukce a jejich následného využití a též jeřábovým kočkám, které tvoří důležitou součást těchto jeřábů. Další část práce bude věnována pevnostním a únavovým výpočtům při konstruování samotného mostu u jednonosíkového mostového jeřábu.

1 JEŘÁBY - VŠEOBECNĚ

Jeřáby všeobecně slouží ke zvedání břemen různých hmotností a následně jejich přemísťování ve vymezeném prostoru (manipulační prostor může mít například tvar obdélníku, kruhu, kruhové výseče či jen úsečky atd.). Jeřáby jsou rozlišeny na několik druhů, kde hlavním znakem je tvar konstrukce, který je patrný na první pohled a pracovní prostor, který je limitován právě jejich konstrukčním provedením.

Mezi základní parametry pro konstruování mostových jeřábů patří:

- typ jeřábu – dle umístění jeřábové kočky (**viz. str. 24**)
- typ provozu – montážní hala, slévárna, sklad sypkých hmot, výbušné prostředí
- nosnost jeřábu – např. 5t, 8t, 12,5t, 16t atd.
- rozpětí jeřábu – např. 7m, 12m, 20m atd.
- výška zdvihu
- pracovní rychlost pojezdu jeřábu
- pracovní rychlost pojezdu a zdvihu jeřábové kočky

Jednotlivé druhy jeřábů:

- mostové
- portálové a poloportálové
- sloupové, věžové
- konzolové
- lanové
- silniční, kolejové a plovoucí

2 DRUHY JEDNOTLIVÝCH JEŘÁBŮ

2.1 JEŘÁBY PORTÁLOVÉ

Vymezená manipulační plocha těchto jeřábů má tvar obdélníku a tudíž tento druh jeřábů má podobné využití jako dále zmiňované mostové jeřáby. Podstatná odlišnost od mostových jeřábů spočívá v umístění kolejových drah jeřábů. Portálové jeřáby mají kolejové dráhy umístěny na zemi, nikoli ve výšce, což samozřejmě zjednodušuje jakoukoliv údržbu nebo opravu podélného pojezdu.

U portálových jeřábů je možnost rozšiřovat manipulační prostor, když je prodloužen samotný most tohoto jeřábu přes rozteč kolejové dráhy podélného pojezdu, což patří k velikým výhodám. Toto prodloužení může být provedeno na levém, pravém nebo dokonce i na obou koncích mostu, pokud to dovoluje prostor, kde se tento jeřáb pohybuje.

Z konstrukčního hlediska se na výrobu samotných mostů portálových jeřábů používají válcované profily (např. HEB), svařované nosníky nebo příhradové konstrukce. Vše zmiňované se dá použít i na výrobu podpěr, správný výběr konstrukce samozřejmě záleží na nosnosti jeřábu. Provedení mostů portálových jeřábů může být jednonosníkové nebo dvounosníkové, což se projeví na umístění jeřábové kočky, která se pohybuje po dolní (podvěsná jeřábová kočka) nebo po horní straně mostu v případě dvounosníkových jeřábů.

Vedle kolejových drah podélného pojezdu se využívají i podvozky kolové a poté lze tímto portálovým jeřábem i zatáčet a pojíždět do všech směrů. Portálové jeřáby se většinou využívají v přístavech pro přemísťování materiálů a kontejnerů.

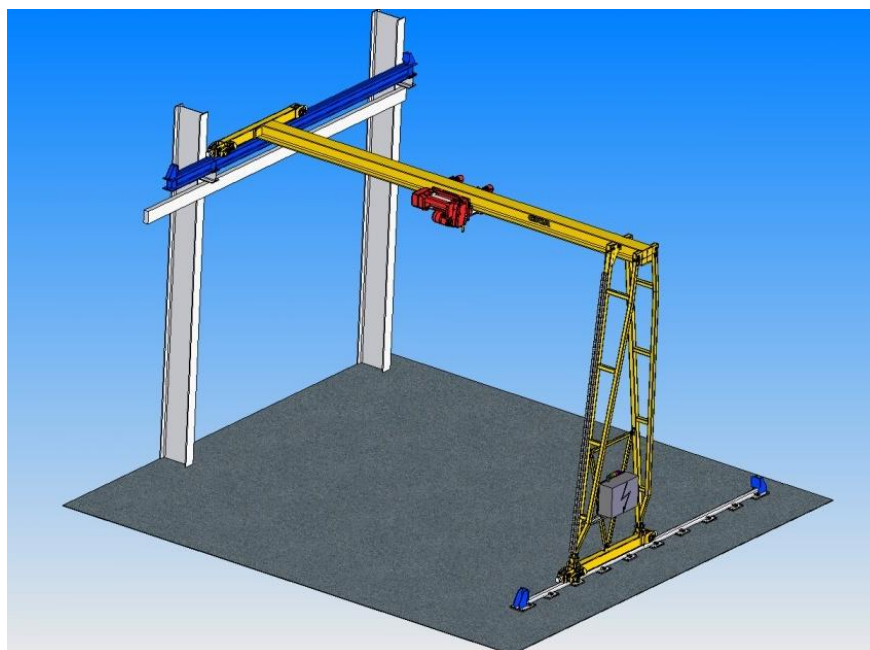


Obrázek 1 - Portálový jeřáb GIGA [4]

2.2 JEŘÁBY POLOPORTÁLOVÉ

Kombinací konstrukcí mostových a portálových jeřábů vznikají jeřáby poloportálové. Hlavním znakem je podélný pojezd tohoto jeřábu, který je na jedné straně umístěn na zemi jako u portálových jeřábů a na druhé straně je umístěn ve výšce jako u mostových jeřábů. Manipulační plochou je opět tvar obdélníku, který se může rozšířit prodloužením mostu ve směru kolmém k podélnému pojezdu umístěného na zemi. Zde se nachází podpěra jeřábu.

Konstrukce těchto jeřábů je stejná jako v případě mostových a portálových jeřábů, což platí i pro použití materiálů. Taktéž provedení mostů může být jednonosníkové a dvounosníkové.



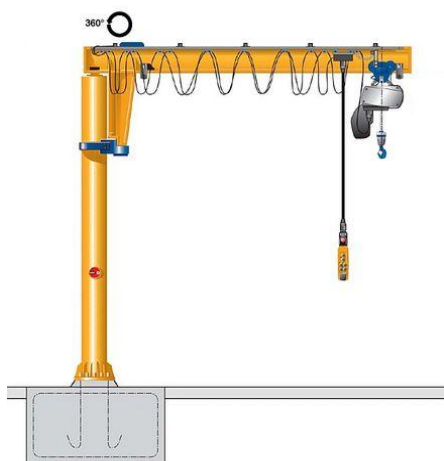
Obrázek 2 - Poloportálový jeřáb GIGA [4]

Poloportálové jeřáby se například využívají podél výrobních hal jako obsluha vybudovaného venkovního skladu pro skladování materiálů a výrobků. Výjimkou není ani použití uvnitř výrobních komplexů.

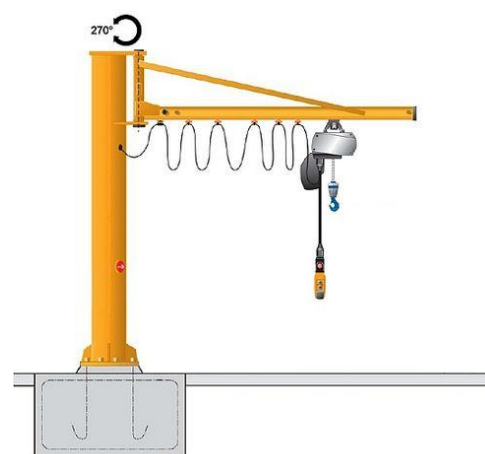
2.3 JEŘÁBY SLOUPOVÉ

Charakteristickým znakem sloupových jeřábů je svislá konstrukce ocelového sloupu, na který je upevněn most jeřábu, který může být otočný nebo jen částečně otočný, což záleží na samotné konstrukci a jeho umístění na sloupu. Manipulační plochu tedy tvoří kruhové mezikruží (v případě otočení jeřábu o 360°) nebo výseč z mezikruží dle již zmiňovaného konstrukčního provedení (ve většině případech se vyrábějí s úhlem otočení 270°).

Most tohoto jeřábu je vyráběn z válcovaných profilů např. I nebo HEB a po spodní pásnici se pohybuje kladkostroj.



Obrázek 3 - Sloupový jeřáb s otočí 360° [5]



Obrázek 4 - Sloupový jeřáb s otočí 270° [5]

2.4 JEŘÁBY VĚŽOVÉ

Věžové jeřáby jsou nejčastěji známé jako jeřáby stavební a právě v tomto odvětví mají obrovské využití z technologického hlediska. Součástí věžových jeřábů může být i jeřábová kočka se zvedacím zařízením (kladkostroj) nebo se o zdvih břemene stará pouze výložník s kladnicí a navíjecí bubny umístěné v dolní části jeřábu. Ty zajišťují zdvih jak výložníku tak i kladnice s břemenem.

Provedení konstrukce podvozku může být nepojízdné (pevné) nebo naopak pojízdné (pohyb umožněn po kolejích). Manipulační plocha tedy závisí na podvozkovém provedení, kdy může jít o mezikruží (pokud se jedná o pevnou ukotvenou konstrukci) nebo se může docílit pracovní plochy oválného tvaru (pokud se jedná o kolejový podvozek).



Obrázek 5 - Stavební věžový pojízdný jeřáb s otočnou věží

Věžové jeřáby se používají například při stavbách výškových budov, kde je otoč jeřábu umístěna přímo na výložníku, který se poté může otáčet. Samotná věž je nepohyblivá. V dalším případě se do věže jeřábu mohou vkládat patřičné segmenty pro zvětšení výšky

jeřábu. Věž a následně vkládané segmenty jsou ukotveny k samotné stavbě. Délka výložníku je závislá na půdorysu celé stavby kvůli celkové obsluze stavby.

2.5 JEŘÁBY LANOVÉ

Jeřáby lanové jsou též nazývány jako jeřáby kabelové dle starší literatury. Základním prvkem je jeřábová kočka pohybující se po laně, které se nazývá lano pojezdové (neboli nosné). Tyto lana jsou namáhána značnými silami.

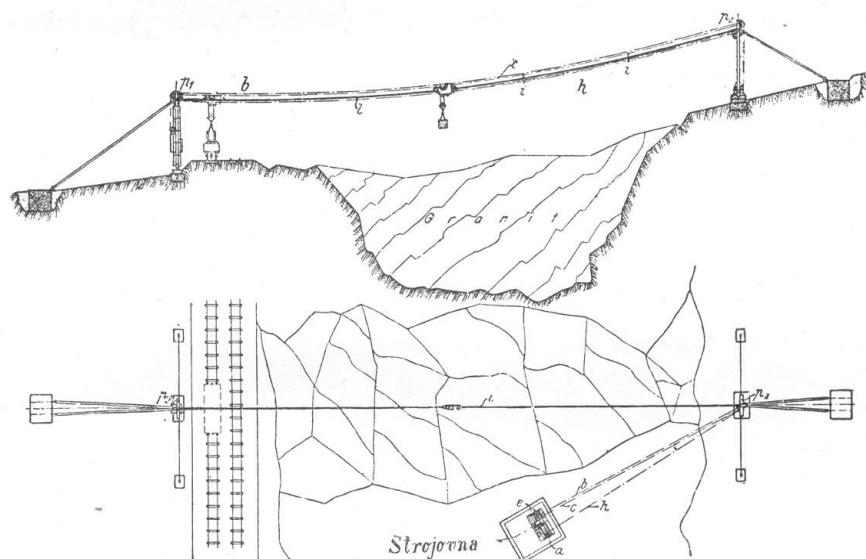
Konstrukce se výrazně podobá konstrukcím lanovek. Naproti sobě jsou umístěny dvě podpěry, které zároveň udávají pojezdovou rozteč jeřábu a mohou být od sebe vzdáleny i stovky metrů.

Lanové jeřáby se dělí na dvě základní skupiny (dle pohybu jeřábových podpěr):

- lanové jeřáby pojízdné
- lanové jeřáby nepojízdné (pevné)

Veliké vzdálenosti umístění podpěr se používají u nepojízdných lanových jeřábů, kdy ukotvení obou podpěr vyžaduje mimořádně masivní základy doplněné o kotvící lana, což neumožňuje pohyb jako u pojízdných lanových jeřábů. Manipulační plochou těchto nepojízdných jeřábů je teoreticky úsečka. Podpěry pojízdných lanových jeřábů patří mezi mimořádně složité konstrukce pojezdu. Pohyb je poté umožněn rovnoběžně nebo v oblouku. Manipulační plochou je tedy úsečka, obdélník nebo vějířovitý tvar.

Z technologického hlediska se lanové jeřáby využívají například pro zdvih břemen v jámových lomech nebo při stavbě přehradních hrází.



Obr. 529. Kabelový jeřáb v Kunathových žulových lomech u Demitz a Thumitz poblíž Budišína v Sasku.¹⁾

Obrázek 6 - Lanový (kabelový) jeřáb

2.6 KONZOLOVÉ JEŘÁBY

Konzolové jeřáby se většinou vyskytují v různých dílnách a využívají se jako jednoduché otočné jeřáby. Otoč ramene jeřábu je zkonstruována pro ruční nebo elektrické ovládání. Na rameni konzolového jeřábu je umístěn kladkostroj, který zajišťuje zdvih a manipulaci s břemenem.

Manipulační plochou konzolového jeřábu je kruhová výseč, která má úhel menší než 180° . Tyto jeřáby se většinou vyskytují v místech, kde se očekává častá nutnost zdvihu břemen a následná manipulace.



Obrázek 7 - Konzolový otočný jeřáb JASS

2.7 MOSTOVÉ JEŘÁBY

Nejrozšířenějším typem mezi jeřáby jsou jeřáby mostové. Pohyb ve vodorovném podélném směru zajišťuje pojezd celého jeřábu a pohyb ve vodorovném příčném směru zajišťuje pohyb kočky se zdvihacím zařízením po mostu jeřábu. Pohyb ve svislém směru je zajištěn odvíjením lana z lanového bubnu nebo řetězu ze zásobníku přes řetězovku. Vždy musí být spojeny s nějakou podpůrnou konstrukcí, které mohou být součástí stavby haly, kde má být daný mostový jeřáb umístěn.

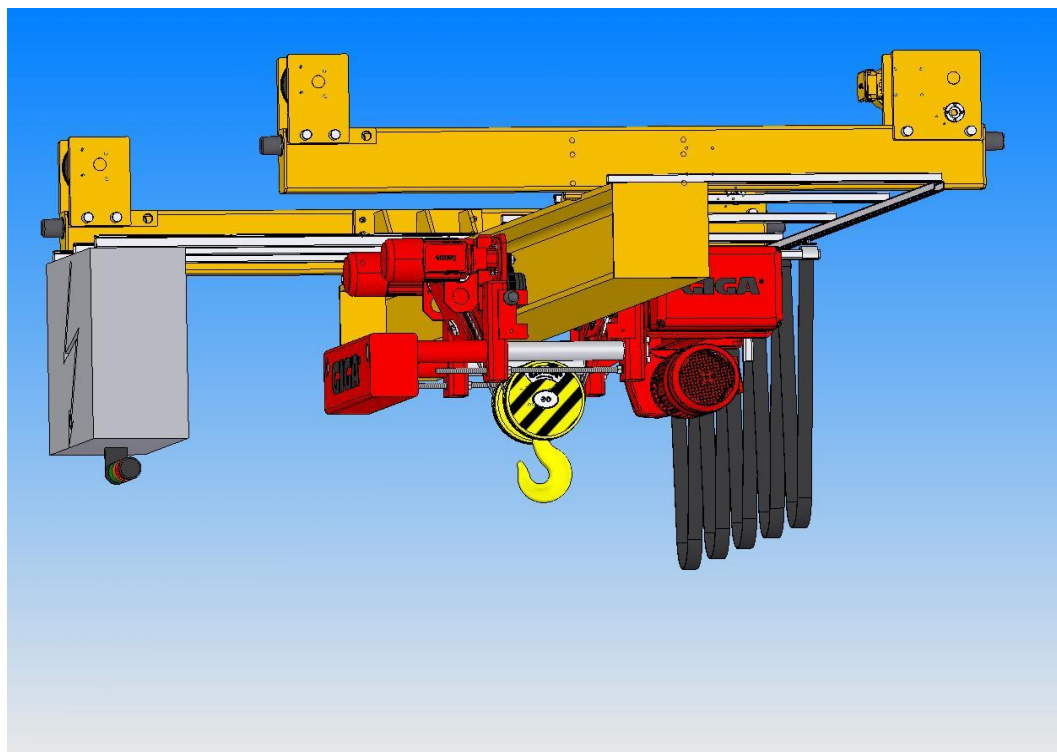
Mostové jeřáby jsou rozlišeny na venkovní (skladiště, depa) a jeřáby umístěné uvnitř hal či továren. Venkovní jeřáby se liší od vnitřních elektrickou výzbrojí. Jedná se o jiný stupeň krytí, označovaný jako IP. Toto krytí nám ukazuje stupeň odolnosti vůči vlhku, vodě a dalším vnějším vlivům. Samozřejmě pak i některými odlišnostmi v konstrukci pohonů a všeobecně všech pohyblivých součástí. Jedná se o různé stupně krytování a mazání. Naopak

vnitřní mostové jeřáby nepotřebují takové krytí, pokud nepracují v provozu se zvýšeným výskytem vlhkosti (např. myčky strojů, pračky součástí). Většinou potřebují určité krytí proti prašnosti. Určitým specifikem jsou mostové jeřáby pracující ve výbušném prostředí. Tyto jeřáby mají potom odlišnosti v použitých materiálech a elektrickém vyzbrojení. Nesmí být dopuštěno, aby došlo k odskočení jiskry (např. kola mají bronzové nálitky, u kterých nedojde k jiskření mezi kolem a kolejnicí).

Pomocí mostových jeřábů je možno obsloužit celé továrny s několika výrobními loděmi (= výrobní haly). Výrobní loď spojuje loď sběrná, kde je mostový jeřáb ve větší výšce než jeřáby uvnitř výrobních lodí.

Dle konstrukce samotného mostu mostových jeřábů jsou jeřáby jednonosníkové a dvounosníkové. Mosty jsou vždy spojeny s příčnicí s pojezdem. Z hlediska typu mostu a jeho provedení jsou vyráběny z válcovaných profilů (např. HEB) nebo dále mohou být složeny (svařeny) ze dvou profilů (např. 2x U; 2x HEB). Dalším specifickým provedením mostu může být most svařovaný jako tubus, kde jednotlivými prvky jsou pásnice nebo plechy. Mosty příhradové patří mezi další konstrukce mostů.

Pro malé nosnosti a malé rozpětí jeřábů se používají spíše mosty vyrobeny z válcovaných profilů (např. HEB). U jeřábů s velkou nosností a velkým rozpětím se mosty používají jako tubusy svařované z pásnic, které se pájí z plechů. V těchto případech je důležité, aby byl materiál zaručeně svařitelný (např. 11 373; 11 523).



Obrázek 8 - Mostový jeřáb GIGA s podvěsným kladkostrojem

2.7.1 JEŘÁBOVÁ KOČKA MOSTOVÉHO JEŘÁBU

Další důležitou součástí jeřábu je kočka, jejíž součástí je zdvihací zařízení (buben), pohon bubnu, převodovka a brzda. Každý druh kočky má své specifické využití.

Druhy koček dělíme na:

- horní
- podvěsné
- boční

Pro jeřáby s velkou nosností a dostatkem prostoru nad mostem jeřábu se používají jeřábové kočky horní, které jezdí po horní straně mostu jeřábu. Do hal, kde je nízký strop a je zapotřebí, co nejvyššího využití prostoru pod jeřábem pro zdvih břemen, je zvolena jeřábová kočka s bočním pojezdem. Bohužel boční kočky nemají takovou nosnost jako kočky horní či podvěsné. Naopak v halách, kde je málo prostoru nad mostem jeřábu a je dostatek místa pod jeřábem se používají kočky podvěsné.



Obrázek 9 - Kladkostroj STAHL SHR6 - nosnost 16 000 kg

3 DRUHY PROVOZU JEŘÁBU DLE NORMY ČSN 27 0103 - OZNAČENÍ A CHARAKTERISTIKA PROVOZU

D1 - jeřáby, které slouží k občasnému přemísťování stejných břemen známé hmotnosti

- jeřáby v provozech, kde se může vyskytnout břemeno vyšší hmotnosti, než je nosnost jeřábu
 - jeřáby s ručním pohonem zdvihu
- D2** - jeřáby v provozech s malou pravděpodobností náhodného přetížení
- jeřáby v provozech, kde hmotnost břemen je rozdílná, ale snadno určitelná, a dopravují se jednotlivě
- D3** - jeřáby v provozech s větší pravděpodobností přetížení
- D4** - jeřáby v provozech, kde je obtížné zjištění přesné hmotnosti břemena nebo může nastat nekontrolovatelné zvětšení zdvihací síly zachycením břemena

4 STANOVENÍ PARAMETRŮ PRO VÝPOČTY

Pro návrh samotného mostu mostového jeřábu o nosnosti 13,5t je zvolen kladkostroj od firmy Stahl. Kladkostroje určené přímo pro jeřáby o nosnosti 13,5t neexistují, jelikož dle katalogů existují kladkostroje o nosnosti 12,5t a poté až 16t. Nejlépe vyhovoval kladkostroj o nosnosti 16t, který bez problémů zvládne i stanovenou hodnotu nosnosti 13,5t. Jedná se o podvěsný typ SHR 6040-12 4/1 L2. Zároveň je umožněno zvedat břemena i o vyšší hmotnosti, pokud je plně využita limitní nosnost zvoleného kladkostroje. Hmotnost samotného kladkostroje činí 1393 kg, což bude jeden z mnoha důležitých parametrů pro následující pevnostní výpočty. Síla od hmotnosti kladkostroje působí na rameni mostu $L/2$. Maximální ohybový moment od působení této síly bude násoben součinitelem zatížení od vlastních hmotností γ_g (hodnota 1,1) a dynamickým součinitelem pojezdovým δ_t (zatížení od dynamických sil při pojíždění jeřábu - hodnota 1,1) dle ČSN 27 0103.

Tabulka 1 - Technické parametry mostového jeřábu

TECHNICKÉ PARAMETRY	
	<i>MJ 13,5t/ 7m; 12m; 20m MJ 16t/ 7m; 12m; 20m</i>
MOSTOVÝ JEŘÁB, POPIS	
<i>Nosnost</i>	13 500 kg
<i>Nosnost 2</i>	16 000 kg
<i>Zdvih kladkostroje</i>	8,5 m
<i>Rychlost zdvihu</i>	3,1 m/min
<i>Rychlost pojezdu kladkostroje</i>	20 m/min
<i>Vzdálenost působíště síly kola kladkostroje</i>	23 mm
<i>Provedení kladkostroje</i>	lanový
<i>Hmotnost kladkostroje</i>	1 393 kg
<i>Počet kladkostrojů</i>	1
Rozpětí jeřábu:	7 m
	12 m
	20 m
ÚČEL, POUŽITÍ	
<i>Zdvihová třída</i>	2 H
<i>Druh provozu</i>	2 D
<i>Provozní skupina</i>	4 J

Jako maximální hmotnosti břemen jsou uvažovány hodnoty 13,5t dle zadání této práce a 16t pokud jsou plně využity možnosti vybraného daného kladkostroje. Při výpočtu maximálního ohybového momentu od maximální síly tíhy břemene budou započítávány i součinitelé zatížení od jmenovitého břemene γ_{10} (hodnota 1,3) a dynamický součinitel zdvihový δ_h (zatížení od svislých setrvačných sil - hodnota 1,23) dle normy ČSN 27 0103. Maximální síla od tíhy břemene bude působit na rameni nosníku (mostu) $L/2$, tedy v místě působení největšího ohybového momentu.

Výpočty budou též zaměřeny na porovnání mostů mostových jeřábů, které se budou lišit samotnou konstrukcí. Mosty (nosníky), na které budou aplikovány výpočty, budou vyrobeny z válcovaných profilů HEB různých velikostí nebo se bude jednat o svařované nosníky (neboli tubusy) svařované z pásnic nebo plechů.

Dalším důležitým parametrem u následujících výpočtů bude rozpětí mostu mostového jeřábu. Budou porovnávány zvolené hodnoty 7 m, 12 m a 20 m.. Změna rozpětí mostu jeřábu bude patrná nejen při výpočtech průhybů, ale i v ostatních výpočtech, kde bude důležitým parametrem vlastní hmotnost samotného mostu. Při výpočtu maximálního ohybového momentu bude uvažována síla od tíhy mostu jako spojitě zatížení mostu. Výsledný maximální ohybový moment bude rozšířen o součinitelé zatížení od vlastních hmotností γ_g (hodnota 1,1) a dynamického součinitele pojezdového δ_t (zatížení od dynamických sil při pojezdění jeřábu - hodnota 1,1) dle již zmíněné normy ČSN 07 0103. Pro výpočet největší síly od tíhy samotného mostu bude potřeba zjistit hmotnost mostu, která je u válcovaných profilů HEB dána v tabulce materiálů a hmotnost svařovaných nosníků bude zjištěna patričným výpočtem. Pro výpočty byly zvoleny jakosti materiálů 11373 a 11523.

Tabulka 2 - Parametry válcovaných profilů HEB

Typ profilu	hmotnost [kg/m]	J_y [mm ⁴]	W_{oy} [mm ³]	t_s [mm]	t_g [mm]	b [mm]
HEB650	231	2,11E+09	6,48E+06	16	31	300
HEB700	247	2,57E+09	7,34E+06	17	32	300
HEB800	269	3,59E+09	8,98E+06	17,5	33	300
HEB900	298	4,94E+09	1,10E+07	18,5	35	300
HEB1000	322	6,45E+09	1,29E+07	19	36	300

5 VÝPOČET MOSTU MOSTOVÉHO JEŘÁBU

MJ 13,5t/ 7 m (Mostový jeřáb o nosnosti 13,5t a rozpětí 7 m)

– pro výrobu mostu byl zvolen válcovaný profil **HEB 700** z materiálu o jakosti 11 373

Parametry:

$$L = 7 \text{ m} = 7\,000 \text{ mm}$$

$$m_{bř} = 13,5 \text{ t} = 13\,500 \text{ kg}$$

$$m_{jk} = 1393 \text{ kg}$$

$$m_{HEB} = 247 \text{ kg/m}$$

$$g = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

Součinitelé bezpečnosti dle normy ČSN 27 0103:

$\gamma_g = 1,1$ - součinitel zatížení od vlastních hmotností

$\gamma_{lo} = 1,3$ - součinitel zatížení od jmenovitého břemene

$\delta_h = 1,23$ - dynamický součinitel zdvihový (zatížení od svislých setrvačných sil)

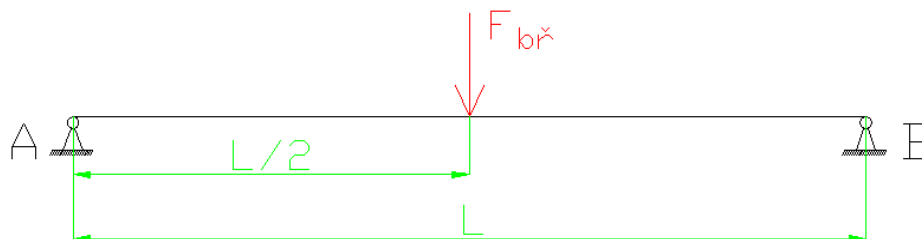
$\delta_t = 1,1$ - dynamický součinitel pojezdový (zatížení od dynamických sil při pojíždění jeřábu)

5.1 Výpočet sil zatěžující most (nosník) mostového jeřábu

Výpočet sil od působení jmenovitého břemene a jeřábové kočky.

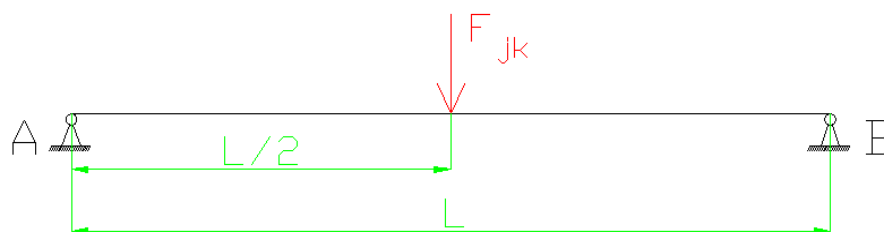
Síla od jmenovitého břemene:

$$F_{bř} = m_{bř} \cdot g = 13\,500 \cdot 10 = 135\,000 \text{ N}$$



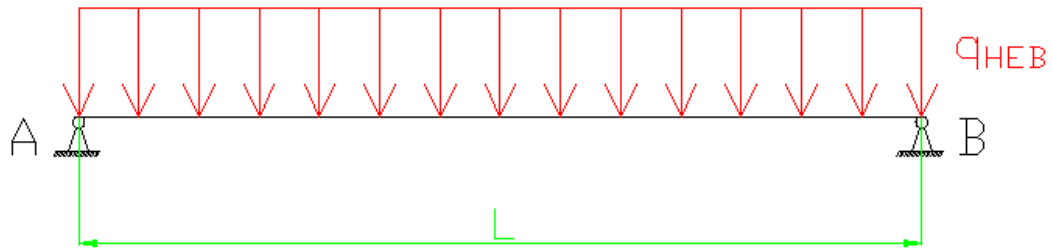
Síla od jeřábové kočky:

$$F_{jk} = m_{jk} \cdot g = 1393 \cdot 10 = 13\,930 \text{ N}$$



5.2 Výpočet síly zatěžující most (nosník) od vlastní hmotnosti mostu

$$q_{HEB} = m_{HEB} \cdot g = 247 \cdot 10 = 2\,470 \text{ N/m}$$



5.3 Výpočet maximálních ohybových momentů působících na most

Při výpočtech ohybových momentů budou započítány příslušné součinitelé bezpečnosti (zatížení od vlastních hmotností, zatížení od jmenovitého břemene, dynamický součinitel zdvihový a dynamický součinitel pojezdový - viz. str.27).

Vzorec pro výpočet ohybového momentu od působení síly na rameni $L/2$:

$$M_o = \frac{F \cdot L}{4}$$

Vzorec pro výpočet ohybového momentu od působení spojitěho zatížení:

$$M_o = \frac{q \cdot L^2}{8}$$

Působení síly od jmenovitého břemene:

$$M_{o_{maxbř}} = \frac{F_{bř} \cdot L \cdot \gamma_{lo} \cdot \delta_h}{4} = \frac{135\,000 \cdot 7 \cdot 1,3 \cdot 1,23}{4} = 377\,763,75 \text{ Nm}$$

Působení síly od jeřábové kočky:

$$M_{o_{maxjk}} = \frac{F_{jk} \cdot L \cdot \gamma_g \cdot \delta_t}{4} = \frac{13\,930 \cdot 7 \cdot 1,1 \cdot 1,1}{4} = 29\,496,78 \text{ Nm}$$

Působení spojitěho zatížení od vlastní hmotnosti mostu:

$$M_{o_{maxHEB}} = \frac{q_{HEB} \cdot L^2 \cdot \gamma_g \cdot \delta_t}{8} = \frac{2\,470 \cdot 7^2 \cdot 1,1 \cdot 1,1}{8} = 18\,305,79 \text{ Nm}$$

5.4 Výpočet jednotlivých normálových napětí

Při výpočtech je použit modul průřezu v ohybu W_{oy} v ose y pro válcovaný profil HEB 700.

Normálové napětí od působení jmenovitého břemene:

$$\sigma_{bř} = \frac{M_{o_{maxbř}}}{W_{oy}} = \frac{377\,763,75 \cdot 1000}{7,34 \cdot 10^6} = 51,47 \text{ MPa}$$

Normálové napětí od působení jeřábové kočky:

$$\sigma_{jk} = \frac{M_{o_{maxjk}}}{W_{oy}} = \frac{29\,496,78 \cdot 1000}{7,34 \cdot 10^6} = 4,02 \text{ MPa}$$

Normálové napětí od vlastní hmotnosti samotného mostu jeřábu:

$$\sigma_{HEB} = \frac{M_{o_{maxHEB}}}{W_{oy}} = \frac{18\,305,79 \cdot 1000}{7,34 \cdot 10^6} = 2,49 \text{ MPa}$$

5.5 Výpočet lokálního napětí pásnice

Výpočet bude proveden dle normy ČSN 27 0103. [norma ČSN 27 0103 - str. 61]

Lokální napětí spodní pásnice (příruby) nosníku (mostu) vzniká při poježdění podvěsné jeřábové kočky (kladkostroje). Při poježdění zatížených kol jeřábové kočky po spodní pásnici nosníku, nastává lokální ohyb pásnice, vyvolávající v ní normálová napětí, které lze určit na základě následujících vztahů.

Lokální napětí spodní pásnice v rovině xz, tedy ve směru podélné osy nosníku se vypočítá dle vztahu:

$$\sigma_{loc1} = \alpha_{xi} \cdot \frac{F}{t_g^2} [\text{MPa}]$$

Použité symboly ve vzorcích:

F - největší výpočtové zatížení jednoho kola jeřábové kočky včetně svislých dynamických účinků [N]

t_g - teoretická tloušťka spodní pásnice v místě působení síly F [mm]

α_{xi} - součinitelé, jejichž indexy i (0, 1, 2) označují vlákno pásnice, v němž je počítáno dané napětí σ_{loc1}

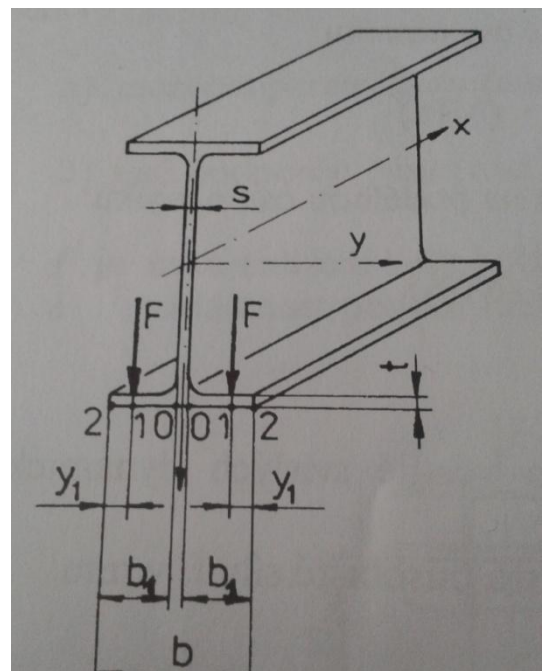
Součinitelé α_{xi} se vypočítají z následujících rovnic (předpoklad pro poježdění spodní pásnice bez úkosu) [norma ČSN 27 0103 - str. 61]:

$$\alpha_{x0} = 0,05 - 0,58 \cdot \lambda_1 + 0,148 \cdot e^{3,015 \cdot \lambda_1}$$

$$\alpha_{x1} = 2,23 - 1,49 \cdot \lambda_1 + 1,39 \cdot e^{-18,33 \cdot \lambda_1}$$

$$\alpha_{x2} = 0,73 - 1,58 \cdot \lambda_1 + 2,91 \cdot e^{-6 \cdot \lambda_1}$$

λ₁ - poměr vzdáleností působení síly od okraje poježděné spodní pásnice k její volné šířce



Obrázek 10 - Válcovaný profil HEB - lokální napětí pásnice

5.5.1 Výpočet poměru vzdáleností působitě síly

Poměr vzdáleností působitě síly od okraje pojižděné spodní pásnice k její volné šířce:

$$\lambda_1 = \frac{l_{pk}}{\frac{(b - t_s)}{2}} = \frac{23}{\frac{(300 - 17)}{2}} = 0,163$$

l_{pk} - vzdálenost působitě síly kola kladkostroje od okraje spodní pásnice [mm]

b - šířka válcovaného profilu HEB [mm]

t_s - tloušťka stojiny válcovaného profilu HEB [mm]

5.5.2 Výpočet největšího zatížení od jednoho kola jeřábové kočky

Budou započteny součinitelé bezpečnosti (zatížení od vlastních hmotností, zatížení od jmenovitého břemene, dynamický součinitel zdvihový a dynamický součinitel pojezdový - viz. str. 27):

$$F_1 = \frac{(F_{bř} \cdot \gamma_{lo} \cdot \delta_h + F_{jk} \cdot \gamma_g \cdot \delta_t)}{4} = \frac{(135\,000 \cdot 1,3 \cdot 1,23 + 13\,930 \cdot 1,1 \cdot 1,1)}{4} \\ = 58\,180,08 \text{ N}$$

5.5.3 Výpočet součinitelů α_{xi}

$$\alpha_{x0} = 0,05 - 0,58 \cdot \lambda_1 + 0,148 \cdot e^{3,015 \cdot \lambda_1} = 0,05 - 0,58 \cdot 0,163 + 0,148 \cdot e^{3,015 \cdot 0,163} \\ = 0,197$$

$$\alpha_{x1} = 2,23 - 1,49 \cdot \lambda_1 + 1,39 \cdot e^{-18,33 \cdot \lambda_1} = 2,23 - 1,49 \cdot 0,163 + 1,39 \cdot e^{-18,33 \cdot 0,163} \\ = 2,057$$

$$\alpha_{x2} = 0,73 - 1,58 \cdot \lambda_1 + 2,91 \cdot e^{-6 \cdot \lambda_1} = 0,73 - 1,58 \cdot 0,163 + 2,91 \cdot e^{-6 \cdot 0,163} = 1,567$$

5.5.4 Výpočet lokálního napětí spodní pásnice u válcovaného profilu HEB 700

Pro výpočet bude vybrána největší hodnota vypočteného součinitele α_{xi} z předešlého výpočtu.

$$\sigma_{loc1} = \alpha_{x1} \cdot \frac{F_1}{t_g^2} = 2,057 \cdot \frac{58\,180,08}{32^2} = 116,87 \text{ MPa}$$

5.6 Výpočet výsledného maximálního napětí působící na most (nosník) jeřábu

Maximální výsledné napětí je součtem všech vypočítaných napětí:

$$\sigma_1 = \sigma_{bř} + \sigma_{jk} + \sigma_{HEB} + \sigma_{loc1} = 51,47 + 4,02 + 2,49 + 116,87 = 174,85 \text{ MPa}$$

5.7 Výpočet dovoleného napětí dle normy ČSN 73 1401

Vypočtené maximální napětí bude porovnáváno s dovoleným napětím, kdy hodnota maximálního napětí musí být menší nebo rovna hodnotě dovoleného napětí, aby výpočet vyhovoval pevnostním požadavkům.

Tabulka 3 - Jmenovité hodnoty pevnostních veličin konstrukčních ocelí

Pevnostní třída oceli podle ČSN EN 10025+A1	Tloušťka t [mm]			
	t ≤ 40		40 < t ≤ 100	
	Re [MPa]	Rm [MPa]	Re [MPa]	Rm [MPa]
S235	235	360	215	340
S355	355	510	335	490

Jmenovité hodnoty meze kluzu Re a pevnosti v tahu Rm za tepla válcovaných hutních výrobků z oceli pevnostních tříd S235 a S355 podle normy ČSN EN 10025+A1 jsou uvedeny v tabulce [viz. **Tabulka 3**].

Dále bude použit dílčí součinitel spolehlivosti materiálu γ_M pro konečný výpočet dovoleného napětí. Hodnota tohoto součinitele je pro pevnostní třídy oceli podle ČSN EN 10025+A1 stejná [norma ČSN 73 1401 str.25].

pevnostní třída oceli **S235** - $\gamma_M = 1,15$ - součinitel spolehlivosti materiálu
pevnostní třída oceli **S355** - $\gamma_M = 1,15$ - součinitel spolehlivosti materiálu

5.7.1 Výpočet dovoleného napětí pro materiál jakosti 11 373

$$\sigma_{DOV1} = \frac{Re}{\gamma_M} = \frac{235}{1,15} = 204 \text{ MPa}$$

Re - mez kluzu [MPa]

γ_M - součinitel spolehlivosti

5.7.2 Výpočet dovoleného napětí pro materiál jakosti 11 523

$$\sigma_{DOV2} = \frac{Re}{\gamma_M} = \frac{355}{1,15} = 308 \text{ MPa}$$

Re - mez kluzu [MPa]

γ_M - součinitel spolehlivosti

5.8 Porovnání výsledného maximálního napětí působící na most jeřábu s dovoleným napětím (jakost materiálu 11 373)

Výsledné maximální napětí musí být menší nebo rovno hodnotě dovoleného napětí.

$$\sigma_1 \leq \sigma_{D0V1}$$

$$174,85 \text{ MPa} \leq 204 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

5.9 Výpočet jednotlivých průhybů od působících sil na most jeřábu

$E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$ - hodnota modulu pružnosti pro ocel

$L = 7 \text{ m} = 7\,000 \text{ mm}$ - rozpětí mostového jeřábu

Jednotlivé výpočty průhybů od působení sil budou počítány dle následujících vzorců

- pokud bude síla působit na rameni mostu $L/2$:

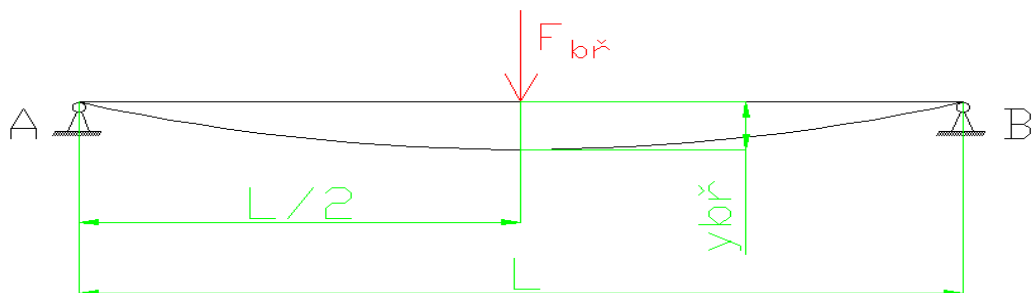
$$y_{max} = \frac{F \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot J_y}$$

- pokud se bude jednat o spojitě zatížení mostu:

$$y_{max} = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot J_y}$$

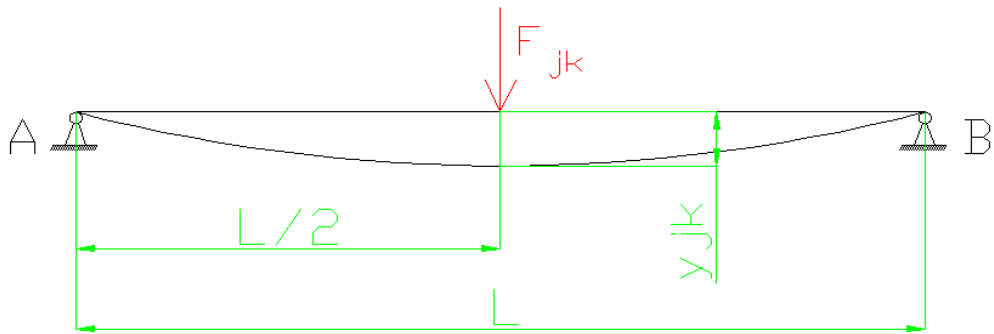
Působení síly od jmenovitého břemene:

$$y_{bř} = \frac{F_{bř} \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot J_y} = \frac{135\,000 \cdot 7\,000^3}{48 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 2,57 \cdot 10^9} = 1,79 \text{ mm}$$



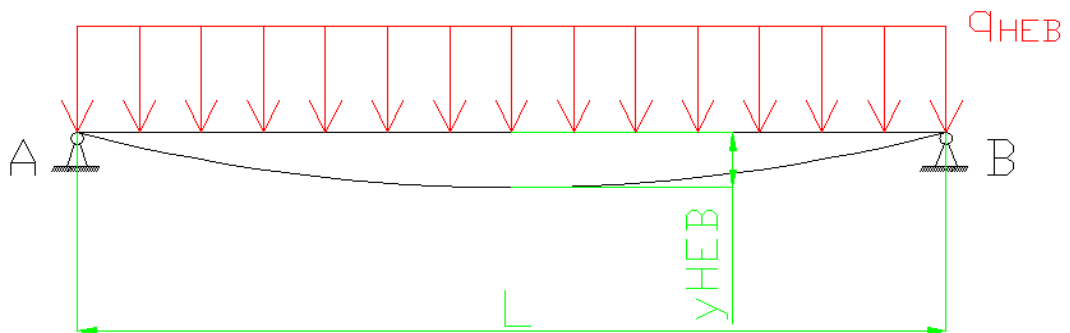
Působení síly od jeřábové kočky:

$$y_{jk} = \frac{F_{jk} \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot J_y} = \frac{13\,930 \cdot 7\,000^3}{48 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 2,57 \cdot 10^9} = 0,18 \text{ mm}$$



Spojité zatížení od vlastní hmotnosti mostu:

$$y_{HEB} = \frac{5 \cdot q_{HEB} \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot J_y} = \frac{5 \cdot \frac{2470}{1000} \cdot 7\,000^4}{384 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 2,57 \cdot 10^9} = 0,14 \text{ mm}$$



5.9.1 Výpočet výsledného průhybu

Výsledný průhyb je součtem všech vypočtených průhybů:

$$y_{max1} = y_{bř} + y_{jk} + y_{HEB} = 2,11 \text{ mm}$$

5.9.2 Výpočet dovoleného průhybu mostu dle normy ČSN 27 0103

S hodnotou dovoleného průhybu bude porovnávána hodnota vypočteného výsledného průhybu, která musí být menší.

Jelikož se jedná o elektrický mostový jeřáb s jedním hlavním nosníkem, po němž pojíždí jeřábová kočka po spodní pásnici, bude hodnota dovoleného průhybu: (maximální hodnota podílu rozpětí a průhybu) [norma ČSN 27 0103 - str.67]

$$y_{DOV} = \frac{L}{500} \text{ [mm]}$$

$$y_{DOV} = \frac{7000}{500} = 14 \text{ mm}$$

L - rozpětí mostového jeřábu [mm]

5.9.3 Porovnání výsledného průhybu mostu jeřábu s dovoleným průhybem

Hodnota výsledného průhybu musí být menší než hodnota vypočteného dovoleného průhybu mostu.

$$y_{max1} < y_{DOV}$$

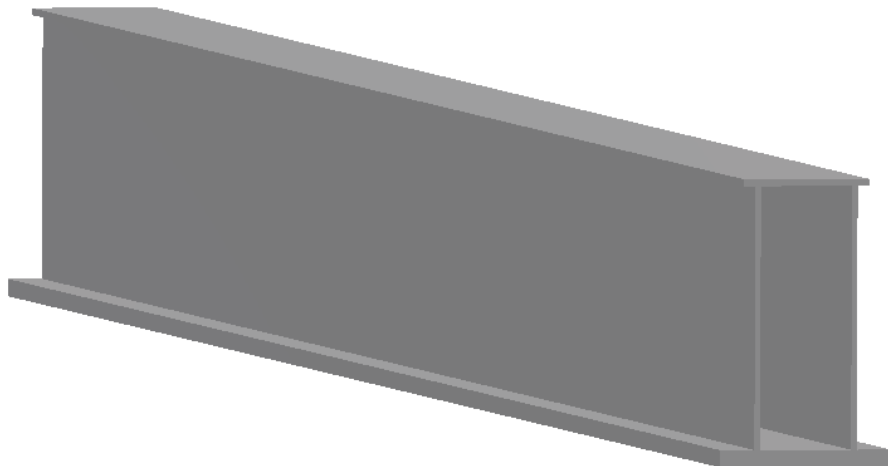
$$2,11 \text{ mm} < 14 \text{ mm}$$

VYHOVUJE

6 VÝPOČET SVAŘOVANÉHO MOSTU (NOSNÍKU - SVAŘOVANÉHO TUBUSU) MOSTOVÉHO JEŘÁBU

MJ 13,5t/ 7 m (Mostový jeřáb o nosnosti 13,5t a rozpětí 7 m)

– pro výrobu svařovaného mostu byly zvoleny pásnice z materiálu jakosti 11 373



Obrázek 11 - Svařovaný nosník (most) - MJ 13,5t - 7 m

Parametry:

$$L = 7 \text{ m} = 7\,000 \text{ mm}$$

$$m_{bř} = 13,5 \text{ t} = 13\,500 \text{ kg}$$

$$m_{jk} = 1393 \text{ kg}$$

$$g = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

Součinitelé bezpečnosti dle normy ČSN 27 0103:

$$\gamma_g = 1,1 - \text{součinitel zatížení od vlastních hmotností}$$

$$\gamma_{lo} = 1,3 - \text{součinitel zatížení od jmenovitého břemene}$$

$$\delta_h = 1,23 - \text{dynamický součinitel zdvihový (zatížení od svislých setrvačných sil)}$$

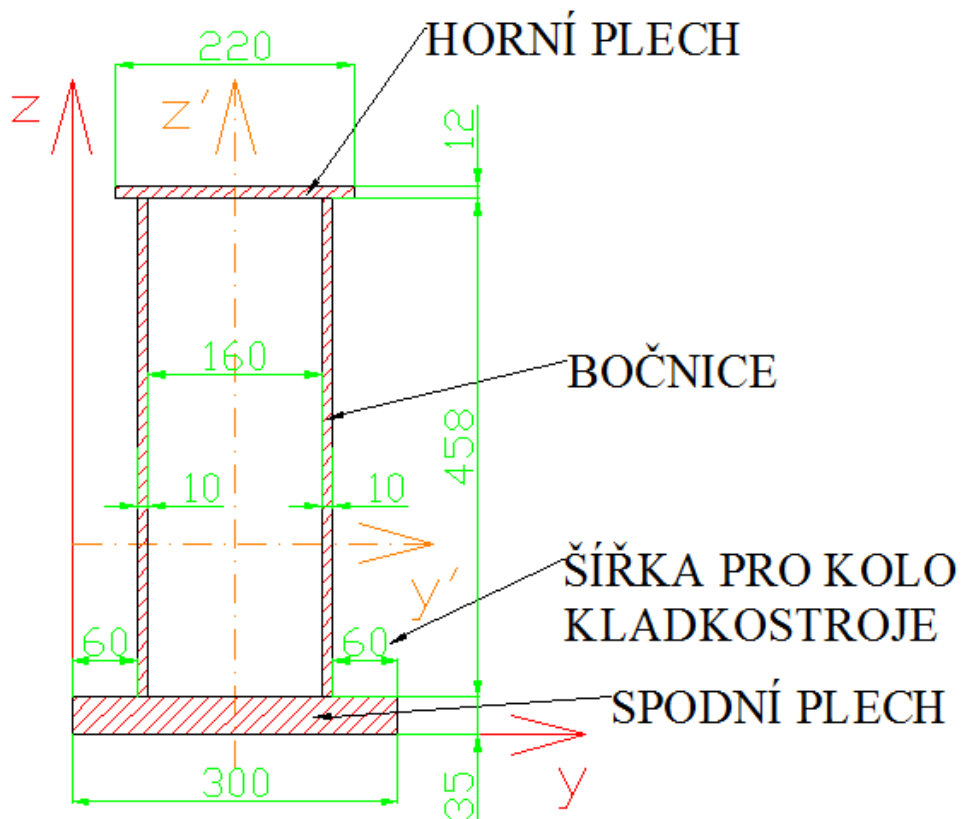
$$\delta_t = 1,1 - \text{dynamický součinitel pojezdový (zatížení od dynamických sil při poježdění jeřábu)}$$

6.1 Návrh svařovaného mostu

- svařovaný most se skládá z jedné horní pásnice, jedné spodní pásnice a dvou bočnic
- všechny tyto pásnice mají charakteristickou šířku B [mm] a tloušťku t [mm], délka je dána rozpětím jeřábu

Tabulka 4 - Parametry pásnic pro svařovaný most (nosník) mostového jeřábu

PÁSNICE (PLECHY)	t [mm]	B [mm]	Počet pásnic
Horní pásnice	12	220	1
Spodní pásnice	35	300	1
Bočnice	10	458	2
Šířka pro kolo kladkostroje		60	



Horní pásnice: $B_1 = 220 \text{ mm} = 0,22 \text{ m}$
 $t_1 = 12 \text{ mm} = 0,012 \text{ m}$

Spodní pásnice: $B_2 = 300 \text{ mm} = 0,3 \text{ m}$

$$t_2 = 35 \text{ mm} = 0,035 \text{ m}$$

Bočnice: $B_3 = 458 \text{ mm} = 0,458 \text{ m}$

$$t_3 = 10 \text{ mm} = 0,01 \text{ m}$$

$$B_4 = 458 \text{ mm} = 0,458 \text{ m}$$

$$t_4 = 10 \text{ mm} = 0,01 \text{ m}$$

6.1.1 Stanovení obsahů průřezů jednotlivých pásnic

$$S_1 = B_1 \cdot t_1 = 220 \cdot 12 = 2\,640 \text{ mm}^2$$

$$S_2 = B_2 \cdot t_2 = 300 \cdot 35 = 10\,500 \text{ mm}^2$$

$$S_3 = B_3 \cdot t_3 = 458 \cdot 10 = 4\,580 \text{ mm}^2$$

$$S_4 = B_4 \cdot t_4 = 458 \cdot 10 = 4\,580 \text{ mm}^2$$

6.1.2 Výpočet celkové výšky svařovaného nosníku

$$H = t_1 + t_2 + B_3 = 12 + 35 + 458 = 505 \text{ mm}$$

6.1.3 Výpočet celkové hmotnosti svařovaného mostu

Pro výpočet hmotností jednotlivých pásnic budou použity veličiny objemu a hustoty dle následujícího vzorce. Hustota oceli je $\rho = 7\,850 \text{ kg/m}^3$.

$$m = \rho \cdot V \text{ [kg]}$$

Hmotnost horní pásnice:

$$m_1 = \rho \cdot V_1 = \rho \cdot (L \cdot B_1 \cdot t_1) = 7\,850 \cdot (7 \cdot 0,220 \cdot 0,012) = 145,07 \text{ kg}$$

Hmotnost spodní pásnice:

$$m_2 = \rho \cdot V_2 = \rho \cdot (L \cdot B_2 \cdot t_2) = 7\,850 \cdot (7 \cdot 0,3 \cdot 0,035) = 577 \text{ kg}$$

Hmotnost bočnice (obě bočnice mají stejnou hmotnost a rozměry):

$$m_{34} = \rho \cdot V_{34} = \rho \cdot (L \cdot B_3 \cdot t_3) = 7\,850 \cdot (7 \cdot 0,458 \cdot 0,010) = 251,67 \text{ kg}$$

Výsledná hodnota hmotnosti celého svařovaného mostu (součet hmotností všech pásnic):

$$m_{sn} = m_1 + m_2 + m_{34} \cdot 2 = 145,07 + 577 + 251,67 \cdot 2 = 1\,225,41 \text{ kg}$$

Hmotnost 1 m svařovaného mostu:

$$m_{snl} = \frac{m_{sn}}{L} = \frac{1\,225,41}{7} = 175,06 \text{ kg/m}$$

6.1.4 Výpočet vzdálenosti těžiště z_T od počátku souřadnicového systému

Nejprve bude určena vzdálenost těžišť jednotlivých pásnic od počátku souřadnicového systému ve směru osy z :

$$z_{T1} = t_2 + B_3 + \frac{t_1}{2} = 35 + 458 + \frac{12}{2} = 499 \text{ mm}$$

$$z_{T2} = \frac{t_2}{2} = \frac{35}{2} = 17,5 \text{ mm}$$

$$z_{T3} = t_2 + \frac{B_3}{2} = 35 + \frac{458}{2} = 264 \text{ mm}$$

$$z_{T4} = t_2 + \frac{B_3}{2} = 35 + \frac{458}{2} = 264 \text{ mm}$$

6.1.4.1 Výpočet výsledné vzdálenosti těžiště z_T

$$\begin{aligned} z_T &= \frac{S_1 \cdot z_{T1} + S_2 \cdot z_{T2} + S_3 \cdot z_{T3} + S_4 \cdot z_{T4}}{S_1 + S_2 + S_3 + S_4} \\ &= \frac{2\,640 \cdot 499 + 10\,500 \cdot 17,5 + 4\,580 \cdot 264 + 4\,580 \cdot 264}{2\,640 + 10\,500 + 4\,580 + 4\,580} = 175,76 \text{ mm} \end{aligned}$$

6.1.5 Výpočet kvadratického momentu $J_{y'}$ k ose y'

Jednotlivé výpočty kvadratických momentů k ose y' budou provedeny dle následujícího vzorce pomocí Steinerovy věty (k posunuté ose y'):

$$J_{y'i} = \frac{B \cdot h^3}{12} + S_i \cdot a^2 \text{ [mm}^4\text{]}$$

a - vzdálenost těžiště dané pásnice k posunuté ose y' [mm]

Výpočty kvadratických momentů $J_{y'i}$ k posunuté ose y' :

$$\begin{aligned} J_{y'1} &= \frac{B_1 \cdot t_1^3}{12} + S_1 \cdot (z_{T1} - z_T)^2 = \frac{220 \cdot 12^3}{12} + 2\,640 \cdot (499 - 175,76)^2 \\ &= 2,759 \cdot 10^8 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} J_{y'2} &= \frac{B_2 \cdot t_2^3}{12} + S_2 \cdot (z_T - z_{T2})^2 = \frac{300 \cdot 35^3}{12} + 10\,500 \cdot (175,76 - 17,5)^2 \\ &= 2,641 \cdot 10^8 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$J_{y'_3} = \frac{t_3 \cdot B_3^3}{12} + S_3 \cdot (z_{T3} - z_T)^2 = \frac{10 \cdot 458^3}{12} + 4\,580 \cdot (264 - 175,76)^2$$

$$= 1,157 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

$$J_{y'_4} = \frac{t_4 \cdot B_4^3}{12} + S_4 \cdot (z_{T4} - z_T)^2 = \frac{10 \cdot 458^3}{12} + 4\,580 \cdot (264 - 175,76)^2$$

$$= 1,157 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

6.1.5.1 Výpočet výsledného kvadratického momentu J_y

Výsledný kvadratický moment je součtem všech vypočtených kvadratických momentů:

$$J_{y'} = J_{y'_1} + J_{y'_2} + J_{y'_3} + J_{y'_4} = 7,714 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

6.1.6 Výpočet modulů průřezů v ohybu ke krajním vláknům nosníku

Moduly průřezů v ohybu $W_{oy'i}$ budou vypočítány jako podíl výsledného kvadratického momentu a vzdálenosti krajního vlákna pásnice (horní a spodní) od posunuté osy y' .

Modul průřezu v ohybu k hornímu krajnímu vlákně:

$$W_{oy'1} = \frac{J_{y'}}{H - z_T} = \frac{7,714 \cdot 10^8}{505 - 175,76} = 2,343 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

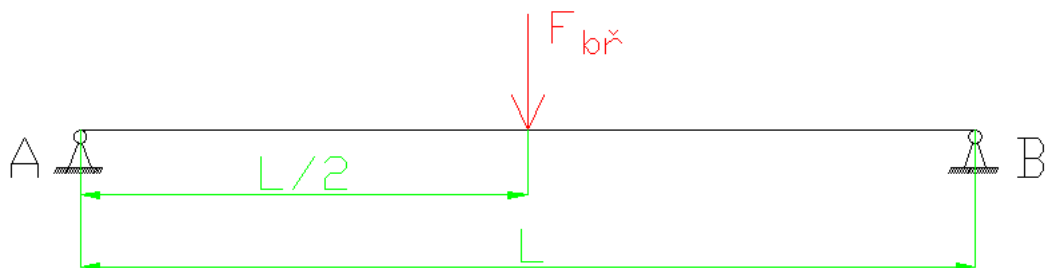
Modul průřezu v ohybu ke spodnímu krajnímu vlákně:

$$W_{oy'2} = \frac{J_{y'}}{z_T} = \frac{7,714 \cdot 10^8}{175,76} = 4,389 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

6.2 Výpočet sil zatěžujících svařovaný most (nosník) mostového jeřábu

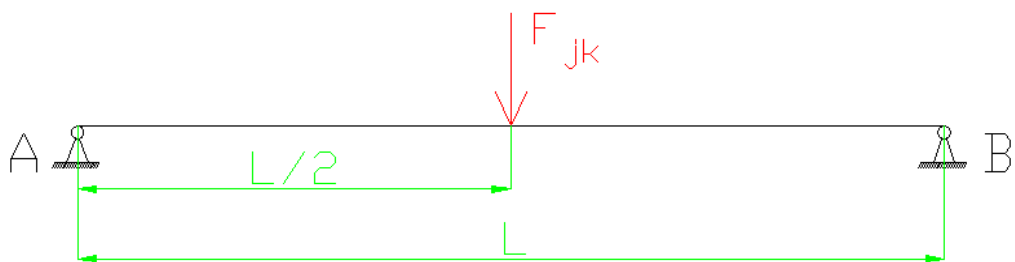
Síla od jmenovitého břemene:

$$F_{bř} = m_{bř} \cdot g = 13\,500 \cdot 10 = 135\,000 \text{ N}$$



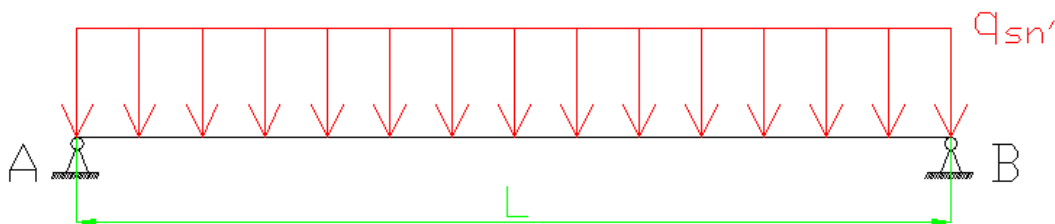
Síla od jeřábové kočky:

$$F_{jk} = m_{jk} \cdot g = 1393 \cdot 10 = 13\,930 \text{ N}$$



6.3 Výpočet síly zatěžující most (nosník) od vlastní hmotnosti mostu

$$q_{sn'} = m_{sn'} \cdot g = 175,06 \cdot 10 = 1\,750,6 \text{ N/m}$$



6.4 Výpočet maximálních ohybových momentů působících na svařovaný most

Při výpočtech ohybových momentů budou započítány příslušné součinitele bezpečnosti jako u výpočtů ohybových momentů mostového jeřábu s mostem z válcovaného profilu HEB.

Působení síly od jmenovitého břemene:

$$M_{o_{maxbř}} = \frac{F_{bř} \cdot L \cdot \gamma_{lo} \cdot \delta_h}{4} = \frac{135\,000 \cdot 7 \cdot 1,3 \cdot 1,23}{4} = 377\,763,75 \text{ Nm}$$

Působení síly od jeřábové kočky:

$$M_{o_{maxjk}} = \frac{F_{jk} \cdot L \cdot \gamma_g \cdot \delta_t}{4} = \frac{13\,930 \cdot 7 \cdot 1,1 \cdot 1,1}{4} = 29\,496,78 \text{ Nm}$$

Působení spojitého zatížení od vlastní hmotnosti mostu:

$$M_{o_{maxsn'}} = \frac{q_{sn'} \cdot L^2 \cdot \gamma_g \cdot \delta_t}{8} = \frac{1\,750,6 \cdot 7^2 \cdot 1,1 \cdot 1,1}{8} = 12\,974,13 \text{ Nm}$$

6.5 Výpočet jednotlivých normálových napětí k hornímu krajnímu vláknu mostu

Při výpočtech bude použit modul průřezu v ohybu k hornímu krajnímu vláknu $W_{oy'1}$.

Normálové napětí od působení jmenovitého břemene:

$$\sigma_{bř1}' = \frac{M_{o_{maxbř}}}{W_{oy'1}} = \frac{377\,763,75 \cdot 1000}{2,343 \cdot 10^6} = 161,23 \text{ MPa}$$

Normálové napětí od působení jeřábové kočky:

$$\sigma_{jk1}' = \frac{M_{o_{maxjk}}}{W_{oy'1}} = \frac{29\,496,78 \cdot 1000}{2,343 \cdot 10^6} = 12,59 \text{ MPa}$$

Normálové napětí od vlastní hmotnosti samotného mostu jeřábu:

$$\sigma_{sn1}' = \frac{M_{o_{maxsn'}}}{W_{oy'1}} = \frac{12\,974,13 \cdot 1000}{2,343 \cdot 10^6} = 5,54 \text{ MPa}$$

6.5.1 Výsledné maximální napětí k hornímu krajnímu vláknu svař. mostu

$$\sigma_1' = \sigma_{bř1}' + \sigma_{jk1}' + \sigma_{sn1}' = 161,23 + 12,59 + 5,54 = 179,36 \text{ MPa}$$

6.6 Výpočet jednotlivých normálových napětí k dolnímu krajnímu vláknu mostu

Při výpočtech bude použit modul průřezu v ohybu k dolnímu krajnímu vláknu W_{oy1} . U výpočtu výsledného napětí bude připočteno i působení lokálního napětí na spodní pásnici, které bude vypočítáno dle normy ČSN 27 0103 jako v případě výpočtů mostu (nosníku) z válcovaného profilu HEB.

Normálové napětí od působení jmenovitého břemene:

$$\sigma_{bř2}' = \frac{M_{o_{maxbř}}}{W_{oy'2}} = \frac{377\,763,75 \cdot 1000}{4,389 \cdot 10^6} = 86,07 \text{ MPa}$$

Normálové napětí od působení jeřábové kočky:

$$\sigma_{jk2}' = \frac{M_{o_{maxjk}}}{W_{oy'2}} = \frac{29\,496,78 \cdot 1000}{4,389 \cdot 10^6} = 6,72 \text{ MPa}$$

Normálové napětí od vlastní hmotnosti samotného mostu jeřábu:

$$\sigma_{sn2}' = \frac{M_{o_{maxsn'}}}{W_{oy'2}} = \frac{12\,974,13 \cdot 1000}{4,389 \cdot 10^6} = 2,96 \text{ MPa}$$

6.7 Výpočet lokálního napětí pásnice svařovaného mostu

Výpočet bude proveden dle normy ČSN 27 0103. [norma ČSN 27 0103 - str. 61]

Výpočet lokálního napětí spodní pásnice (příruby) svařovaného nosníku (mostu) je stejný jako v případě mostu z válcovaného profilu HEB, samozřejmě se liší hodnotami.

Lokální napětí spodní pásnice v rovině xz, tedy ve směru podélné osy nosníku se vypočítá dle vztahu:

$$\sigma_{loc2} = \alpha_{xi}' \cdot \frac{F_2}{t_2^2} [MPa]$$

Použité symboly ve vzorci:

F_2 - největší výpočtové zatížení jednoho kola jeřábové kočky včetně svislých dynamických účinků [N]

t_2 - teoretická tloušťka spodní pásnice v místě působení síly F_2 [mm]

α_{xi}' - součinitelé, jejichž indexy i (0, 1, 2) označují vlákno pásnice, v němž je počítáno dané napětí σ_{loc1}

Součinitelé α_{xi}' se vypočítají z následujících rovnic (předpoklad pro pojižděné spodní pásnice bez úkosu): [norma ČSN 27 0103 - str. 61]

$$\alpha_{x0}' = 0,05 - 0,58 \cdot \lambda_2 + 0,148 \cdot e^{3,015 \cdot \lambda_2}$$

$$\alpha_{x1}' = 2,23 - 1,49 \cdot \lambda_2 + 1,39 \cdot e^{-18,33 \cdot \lambda_2}$$

$$\alpha_{x2}' = 0,73 - 1,58 \cdot \lambda_2 + 2,91 \cdot e^{-6 \cdot \lambda_2}$$

λ_2 - poměr vzdáleností působení síly od okraje pojižděné spodní pásnice k její volné šířce

6.7.1 Výpočet lokálního napětí spodní pásnice u svařovaného mostu

Poměr vzdáleností působení síly od okraje pojižděné spodní pásnice k její volné šířce:

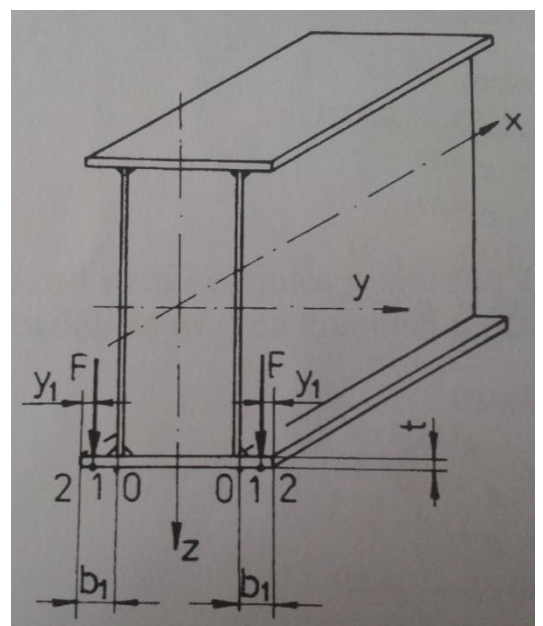
$$\lambda_2 = \frac{l_{pk}}{l_{sk}} = \frac{23}{60} = 0,383$$

l_{pk} - vzdálenost působení síly kola kladkostroje od okraje spodní pásnice [mm]

l_{sk} - šířka pro kolo kladkostroje [mm]

6.7.2 Výpočet největšího zatížení od jednoho kola jeřábové kočky

U tohoto výpočtu budou započítány i součinitelé bezpečnosti (zatížení od vlastních hmotností, zatížení od jmenovitého břemene, dynamický součinitel zdvihový a dynamický součinitel pojezdový).



Obrázek 12 - Svařovaný nosník (most) - lokální napětí pásnice

$$F_2 = \frac{(F_{bř} \cdot \gamma_{lo} \cdot \delta_h + F_{jk} \cdot \gamma_g \cdot \delta_t)}{4} = \frac{(135\,000 \cdot 1,3 \cdot 1,23 + 13\,930 \cdot 1,1 \cdot 1,1)}{4} \\ = 58\,180,08 \text{ N}$$

6.7.3 Výpočet součinitelů α_{xi}

$$\alpha_{x0}' = 0,05 - 0,58 \cdot \lambda_2 + 0,148 \cdot e^{3,015 \cdot \lambda_2} = 0,05 - 0,58 \cdot 0,383 + 0,148 \cdot e^{3,015 \cdot 0,383} \\ = 0,297$$

$$\alpha_{x1}' = 2,23 - 1,49 \cdot \lambda_2 + 1,39 \cdot e^{-18,33 \cdot \lambda_2} = 2,23 - 1,49 \cdot 0,383 + 1,39 \cdot e^{-18,33 \cdot 0,383} \\ = 1,661$$

$$\alpha_{x2}' = 0,73 - 1,58 \cdot \lambda_2 + 2,91 \cdot e^{-6 \cdot \lambda_2} = 0,73 - 1,58 \cdot 0,383 + 2,91 \cdot e^{-6 \cdot 0,383} = 0,417$$

6.7.4 Výpočet lokálního napětí

Pro výpočet bude vybrána největší hodnota vypočteného součinitele α_{xi}' z předešlého výpočtu.

$$\sigma_{loc2} = \alpha_{x1}' \cdot \frac{F_2}{t_2^2} = 1,661 \cdot \frac{58\,180,08}{35^2} = 78,89 \text{ MPa}$$

6.8 Výsledné maximální napětí k dolnímu krajnímu vláknu svařovaného mostu

$$\sigma_2' = \sigma_{bř2}' + \sigma_{jk2}' + \sigma_{sn2}' + \sigma_{loc2} = 86,07 + 6,72 + 2,96 + 78,89 = 174,64 \text{ MPa}$$

6.9 Výpočet dovoleného napětí dle normy ČSN 73 1401

Vypočtené maximální napětí k hornímu a dolnímu vláknu bude porovnáváno s dovoleným napětím, kdy hodnoty maximálního napětí musí být menší nebo rovno hodnotě dovoleného napětí, aby výpočet vyhovoval pevnostním požadavkům.

Výpočet dovoleného napětí je stejný jako v případě výpočtu u mostu z válcovaného profilu HEB. Mez kluzu R_e dané třídy oceli je získána z tabulky [viz. Tabulka 3].

Dále je opět použit dílčí součinitel spolehlivosti materiálu γ_M pro konečný výpočet dovoleného napětí [norma ČSN 73 1401 str.25].

pevnostní třída oceli S235	-	$\gamma_M = 1,15$	- součinitel spolehlivosti materiálu
pevnostní třída oceli S355	-	$\gamma_M = 1,15$	- součinitel spolehlivosti materiálu

6.9.1 Výpočet dovoleného napětí pro materiál jakosti 11 373

$$\sigma_{DOV1} = \frac{Re}{\gamma_M} = \frac{235}{1,15} = 204 \text{ MPa}$$

6.9.2 Výpočet dovoleného napětí pro materiál jakosti 11 523

$$\sigma_{DOV2} = \frac{Re}{\gamma_M} = \frac{355}{1,15} = 308 \text{ MPa}$$

6.10 Porovnání výsledného maximálního napětí k hornímu vláknu s dovoleným napětím (jakost materiálu 11 373)

Hodnota výsledného maximálního napětí k hornímu vláknu horní pásnice musí být menší nebo rovna vypočtené hodnotě dovoleného napětí.

$$\sigma_1' \leq \sigma_{DOV1}$$

$$179,46 \text{ MPa} \leq 204 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

6.11 Porovnání výsledného maximálního napětí k dolnímu vláknu s dovoleným napětím (jakost materiálu 11 373)

Hodnota výsledného maximálního napětí k dolnímu vláknu dolní pásnice musí být menší nebo rovna vypočtené hodnotě dovoleného napětí.

$$\sigma_2' \leq \sigma_{DOV1}$$

$$174,64 \text{ MPa} \leq 204 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

6.12 Výpočet jednotlivých průhybů od působících sil na svařovaný most jeřábu

$E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$ - hodnota modulu pružnosti pro ocel

$L = 7 \text{ m} = 7\,000 \text{ mm}$ - rozpětí mostového jeřábu

Jednotlivé výpočty průhybů od působení sil budou počítány dle následujících vzorců:

- pokud bude síla působit na rameni svařovaného mostu $L/2$:

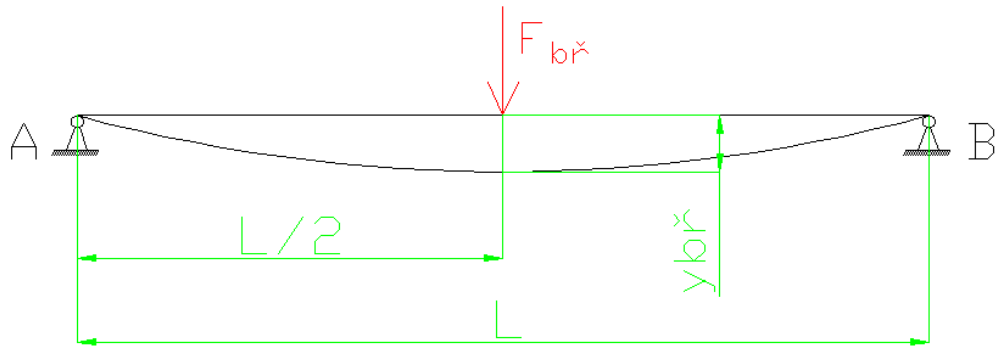
$$y_{max} = \frac{F \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot J_y}$$

- pokud se bude jednat o spojitě zatížení svařovaného mostu:

$$y_{max} = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot J_y}$$

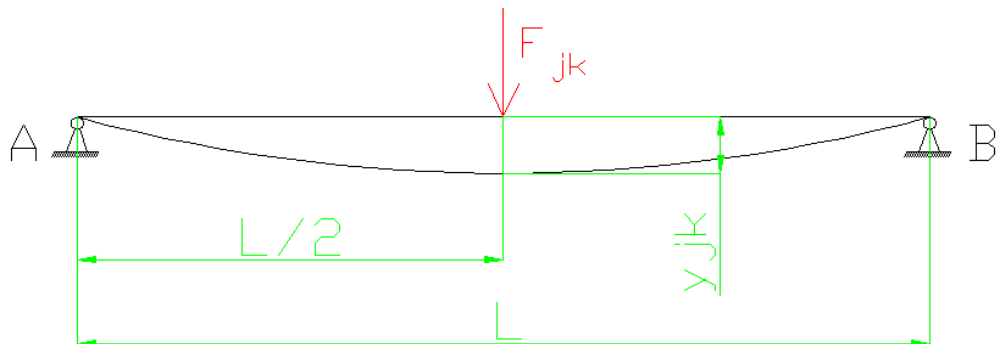
Působení síly od jmenovitého břemene:

$$y_{bř} = \frac{F_{bř} \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot J_y'} = \frac{135\,000 \cdot 7\,000^3}{48 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 7,714 \cdot 10^8} = 5,96 \text{ mm}$$



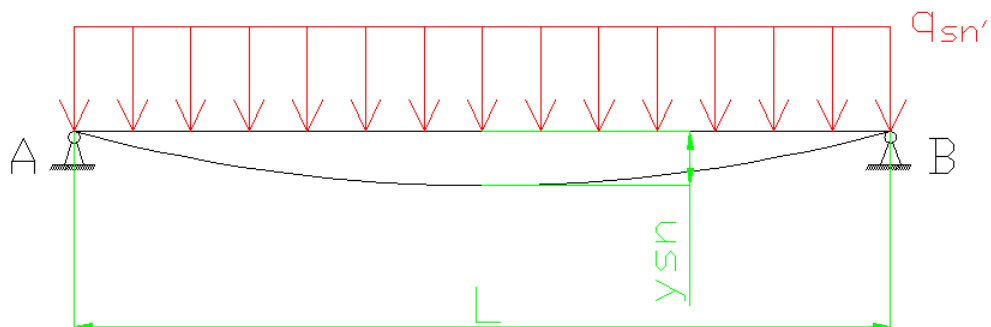
Působení síly od jeřábové kočky:

$$y_{jk} = \frac{F_{jk} \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot J_y'} = \frac{13\,930 \cdot 7\,000^3}{48 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 7,714 \cdot 10^8} = 0,61 \text{ mm}$$



Spojitě zatížení od vlastní hmotnosti svařovaného mostu:

$$y_{sn} = \frac{5 \cdot q_{sn'} \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot J_y'} = \frac{5 \cdot \frac{1\,750,6}{1000} \cdot 7\,000^4}{384 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 7,714 \cdot 10^8} = 0,34 \text{ mm}$$



6.12.1 Výpočet výsledného průhybu

Výsledný průhyb je součtem všech vypočtených průhybů.

$$y_{max2} = y_{bř} + y_{jk} + y_{sn} = 6,91 \text{ mm}$$

6.12.2 Výpočet dovoleného průhybu svařovaného mostu dle normy ČSN 27 0103

S hodnotou dovoleného průhybu bude porovnávána hodnota vypočteného výsledného průhybu, která musí být menší.

Jelikož se jedná o elektrický mostový jeřáb s jedním hlavním svařovaným nosníkem, po němž pojíždí jeřábová kočka po spodní pásnici, bude hodnota dovoleného průhybu: (maximální hodnota podílu rozpětí a průhybu) [norma ČSN 27 0103 - str.67]

$$y_{DOV} = \frac{L}{500} [\text{mm}]$$

$$y_{DOV} = \frac{7000}{500} = 14 \text{ mm}$$

L - rozpětí mostového jeřábu [mm]

6.12.3 Porovnání výsledného průhybu mostu jeřábu s dovoleným průhybem

Hodnota výsledného průhybu musí být menší než hodnota vypočteného dovoleného průhybu mostu.

$$y_{max2} < y_{DOV}$$

$$6,91 \text{ mm} < 14 \text{ mm}$$

VYHOVUJE

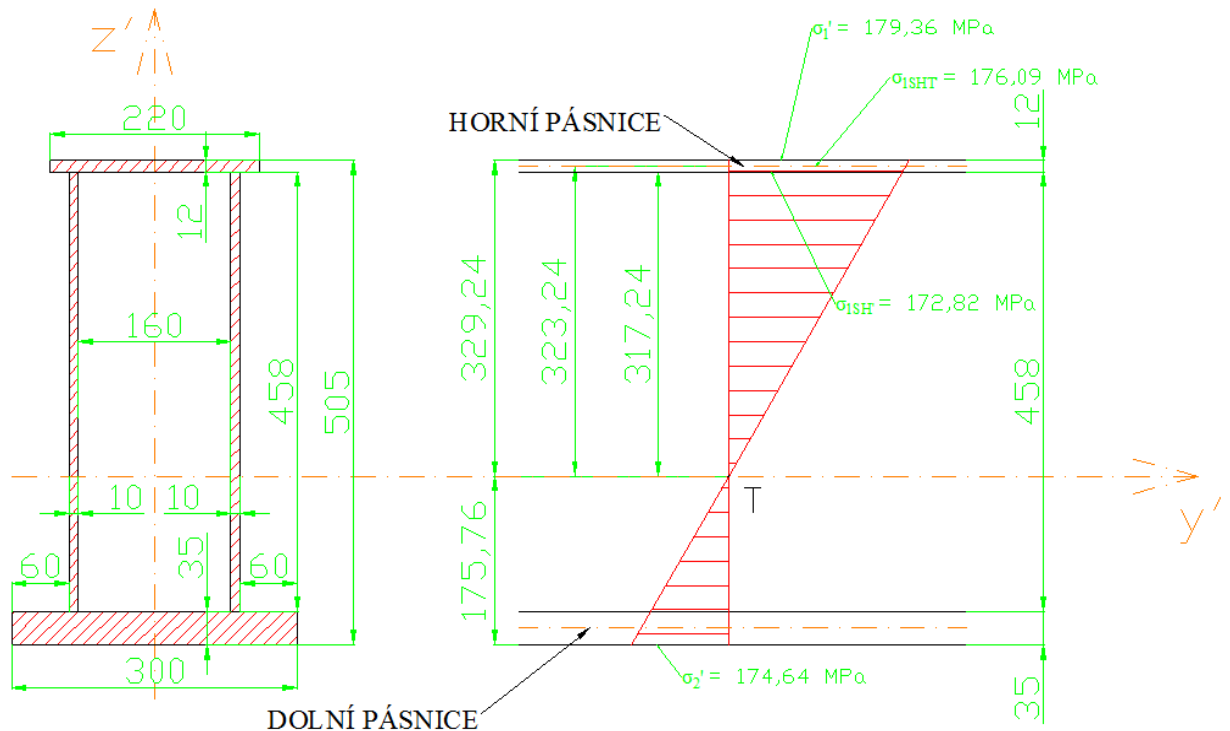
7 KONTROLA SVARŮ SVAŘOVANÉHO MOSTU

Předpoklady pro kontrolu:

- mezi horní pásnicí a bočnicí je 1/2 V svar
- mezi spodní pásnicí a bočnicí je 1/2 V svar

7.1 HORNÍ PÁSNICE

Svar mezi horní pásnicí a bočnicí je namáhán napětím σ_{1S}' + smykem, který způsobuje zkrácení horní pásnice, tak aby "fungoval" jako celek.



7.1.1 Výpočet napětí v místě svaru u horní pásnice

$$\sigma_{1SH}' = \frac{H - t_1 - z_T}{H - z_T} \cdot \sigma_1' = \frac{505 - 12 - 175,76}{505 - 175,76} \cdot 179,36 = 172,82 \text{ MPa}$$

t_1 - tloušťka horní pásnice [mm]

z_T - vzdálenost těžiště ve směru osy z od počátku souřadnicového systému [mm]

H - celková výška nosníku [mm]

σ_1' - výsledné maximální napětí k hornímu vláknu horní pásnice [MPa]

7.1.2 Výpočet napětí působící ve středu horní pásnice

Toto napětí způsobuje natažení horní pásnice. Po rozpětí mostu se mění od 0 do σ_{1ST}' .

$$\sigma_{1SHT}' = \frac{H - \frac{t_1}{2} - z_T}{H - z_T} \cdot \sigma_1' = \frac{505 - \frac{12}{2} - 175,76}{505 - 175,76} \cdot 179,36 = 176,09 \text{ MPa}$$

t_1 - tloušťka horní pásnice [mm]

z_T - vzdálenost těžiště ve směru osy z od počátku souřadnicového systému [mm]

H - celková výška nosníku [mm]

σ_1' - výsledné maximální napětí k hornímu vláknu horní pásnice [MPa]

7.1.3 Výpočet síly působící ve středu rozpětí horní pásnice

Tato síla "zkracuje" horní pás ve středu rozpětí (působí síla) horní pásnice. Po rozpětí se mění od 0 do hodnoty F_{1ST}' . Horní pásnice je zjednodušeně zatížena konstantním napětím σ_{1SHT}' ve středu rozpětí.

$$\sigma_{1SHT}' = \frac{F_{1SHT}'}{S_1} \Rightarrow F_{1SHT}' = \sigma_{1SHT}' \cdot S_1 = 176,09 \cdot 2640 = 464\,877,6 \text{ N}$$

S_1 - obsah průřezu horní pásnice (plechu) [mm²]

Dále bude vypočítán přírůstek této síly, kterou přenášejí dva 1/2 V svary, na 1 mm délky ramene svařovaného mostu L/2.

$$F_{1SHT}'' = \frac{F_{1SHT}'}{\frac{L}{2}} = \frac{464\,877,6}{\frac{7\,000}{2}} = 132,82 \text{ N}$$

Poté bude vypočítána síla, kterou přenáší jeden svar.

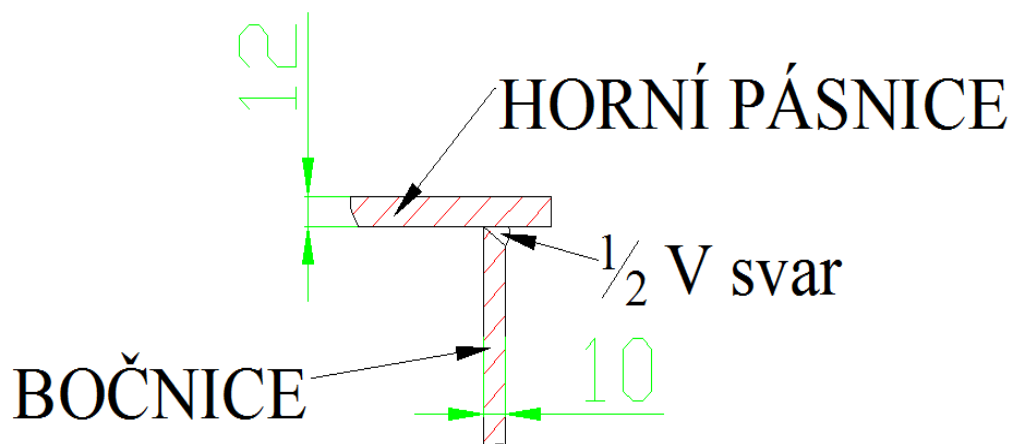
$$F_{1SHTsvar} = \frac{F_{1SHT}''}{2} = \frac{132,82}{2} = 66,41 \text{ N}$$

7.1.4 Výpočet smykového napětí v 1/2 V svaru

Tloušťka svaru je volena dle tloušťky bočnice svařovaného mostu.

$$\tau_{1SHTsvar} = \frac{F_{1SHTsvar}}{S_{svar}} = \frac{F_{1SHTsvar}}{t_3 \cdot 1} = \frac{66,41}{10 \cdot 1} = 6,64 \text{ MPa}$$

S_{svar} - obsah průřezu plochy 1/2 V svaru [mm²]



7.1.5 Výpočet celkového napětí v 1/2 V svaru

$$\sigma_{REDSHT} = \sqrt{\sigma_{1SH}'^2 + 3 \cdot \tau_{1SHTsvar}^2} = \sqrt{172,82^2 + 3 \cdot 6,64^2} = 173,20 \text{ MPa}$$

7.1.6 Porovnání výsledného celkového napětí ve svaru horní pásnice s dovoleným napětím

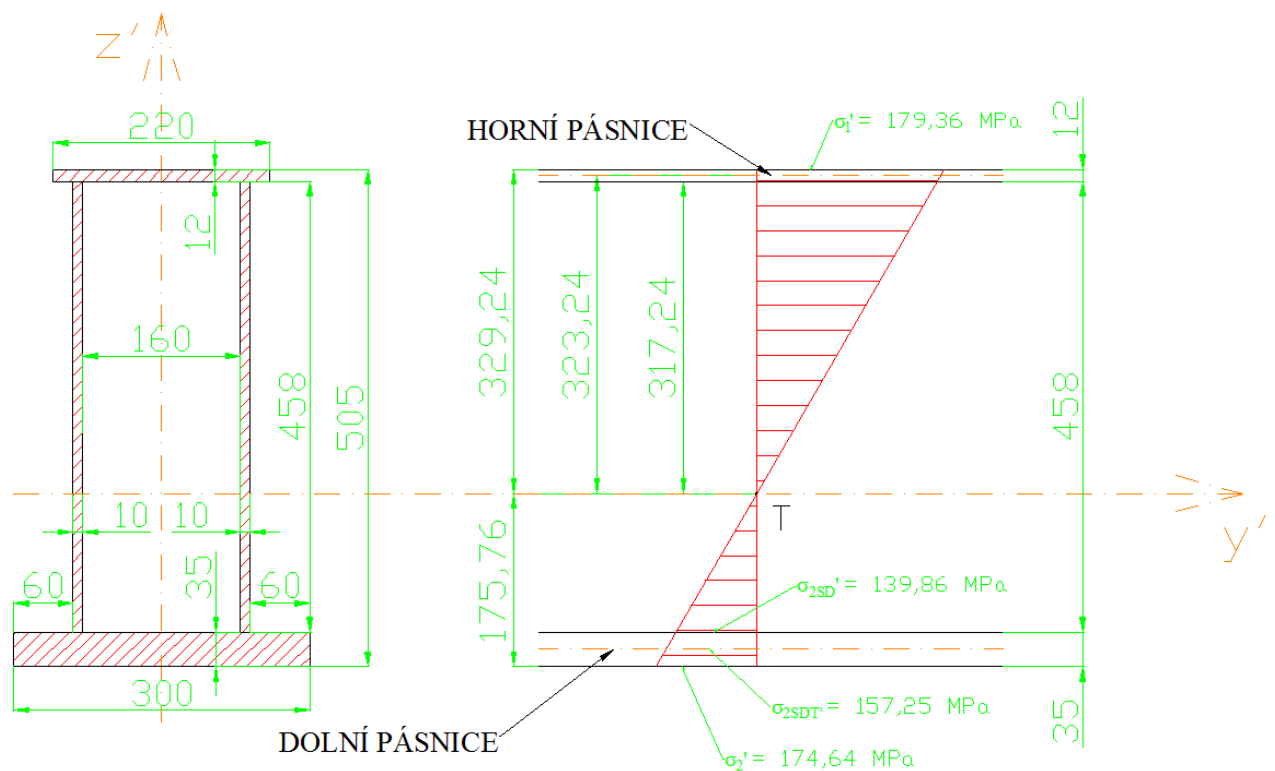
Dovolené napětí σ_{DOV1} bude stejné jako v předchozích případech celého výpočtu svařovaného mostu, tedy dle normy ČSN 73 1401 pro jakost materiálu 11 373 (**viz str.43**).

$$\sigma_{REDSHT} \leq \sigma_{DOV1}$$

$$173,20 \text{ MPa} \leq 204 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

7.2 SPODNÍ PÁSNICE



7.2.1 Výpočet napětí v místě svaru u dolní pásnice

$$\sigma_{2SD}' = \frac{z_T - t_2}{z_T} \cdot \sigma_2' = \frac{175,76 - 35}{175,76} \cdot 174,64 = 139,86 \text{ MPa}$$

t_2 - tloušťka dolní pásnice [mm]

z_T - vzdálenost těžiště ve směru osy z od počátku souřadnicového systému [mm]

H - celková výška nosníku [mm]

σ_2' - výsledné maximální napětí k dolnímu vláknu dolní pásnice [MPa]

7.2.2 Výpočet napětí působící ve středu dolní pásnice

$$\sigma_{2SDT}' = \frac{z_T - \frac{t_2}{2}}{z_T} \cdot \sigma_2' = \frac{175,76 - \frac{35}{2}}{175,76} \cdot 174,64 = 157,25 \text{ MPa}$$

t_2 - tloušťka dolní pásnice [mm]

z_T - vzdálenost těžiště ve směru osy z od počátku souřadnicového systému [mm]

H - celková výška nosníku [mm]

σ_2' - výsledné maximální napětí k dolnímu vláknu dolní pásnice [MPa]

7.2.3 Výpočet síly působící ve středu rozpětí dolní pásnice

$$\sigma_{2SDT}' = \frac{F_{2SDT}'}{S_2} \Rightarrow F_{2SDT}' = \sigma_{2SDT}' \cdot S_2 = 157,25 \cdot 10\,500 = 1\,651\,125 \text{ N}$$

S_2 - obsah průřezu dolní pásnice (plechu) [mm²]

Dále bude vypočítán přírůstek této síly, kterou přenášejí dva 1/2 V svary, na 1 mm délky ramene svařovaného mostu L/2.

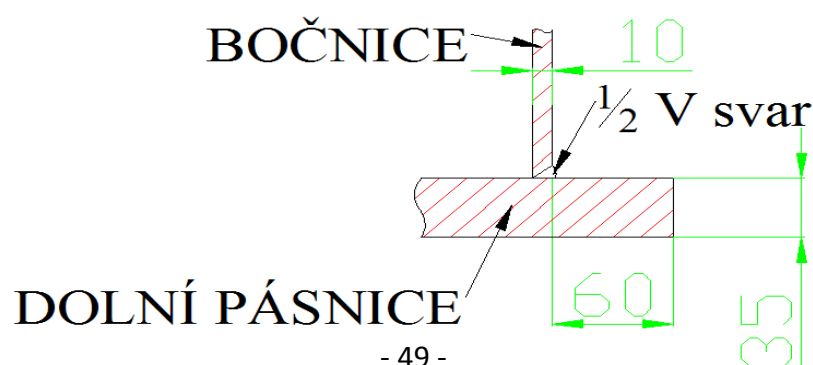
$$F_{2SDT}'' = \frac{F_{2SDT}'}{\frac{L}{2}} = \frac{1\,651\,125}{\frac{7\,000}{2}} = 471,75 \text{ N}$$

Poté bude vypočítána síla, kterou přenáší jeden svar.

$$F_{2SDTsvar} = \frac{F_{2SDT}''}{2} = \frac{471,75}{2} = 235,88 \text{ N}$$

7.2.4 Výpočet smykového napětí v 1/2 V svaru

Tloušťka svaru je volena dle tloušťky bočnice svařovaného mostu.



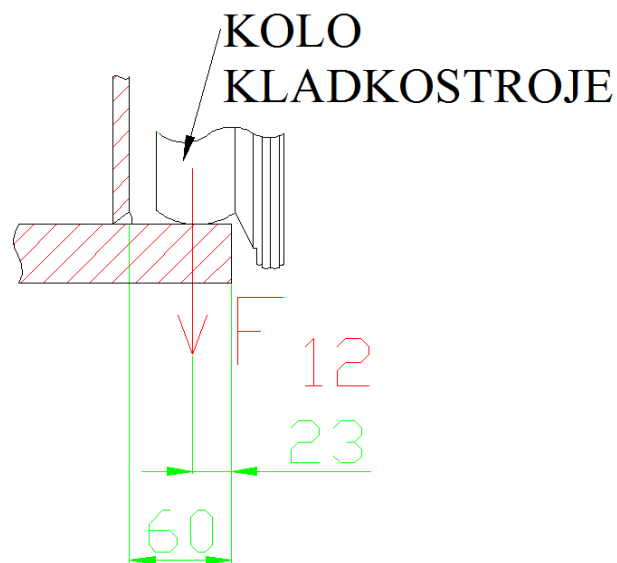
$$\tau_{2SDTsvar} = \frac{F_{2SDTsvar}}{S_{svar}} = \frac{F_{2SDTsvar}}{t_3 \cdot 1} = \frac{235,88}{10 \cdot 1} = 23,59 \text{ MPa}$$

S_{svar} - obsah průřezu plochy 1/2 V svaru [mm²]

7.2.5 Výpočet napětí působící od kola kladkostroje na svar u spodní pásnice

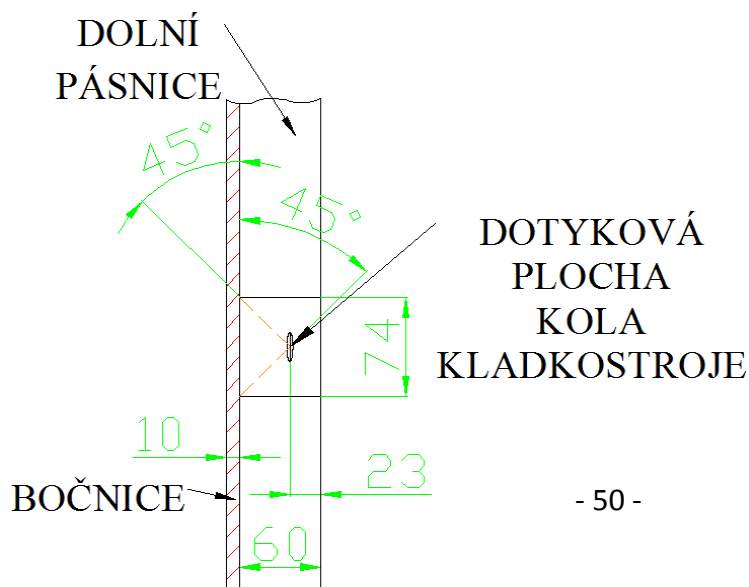
Svar spodní pásnice je také namáhán silou od kola kladkostroje. Předpokládá se rovnoměrné rozložení na čtyři kola. Výpočet je proveden stejně jako v případě výpočtů síly od působení kola kladkostroje při výpočtu lokálního napětí pásnice.

$$F_{12} = \frac{(F_{br} \cdot \gamma_{lo} \cdot \delta_h + F_{jk} \cdot \gamma_g \cdot \delta_t)}{4} = \frac{(135\,000 \cdot 1,3 \cdot 1,23 + 13\,930 \cdot 1,1 \cdot 1,1)}{4} = 58\,180,08 \text{ N}$$



Zatížení od jednoho kola kladkostroje se přenáší smykem a šíří se pod úhlem 45°. Toto zatížení přenáší určitá délka svaru, kterou dále vypočítáme.

Délka svaru přenášející sílu od kola kladkostroje:



$$\tan 45^\circ = \frac{l_{Dsvar}}{2} \Rightarrow l_{Dsvar} = 2 \cdot \tan 45^\circ \cdot (l_{šk} - l_{pk}) = 2 \cdot \tan 45^\circ \cdot (60 - 23) \\ = 74 \text{ mm}$$

Výpočet napětí ve svaru působící od kola kladkostroje

$$\sigma_{Dsvar} = \frac{F_{12}}{S_{Dsvar}} = \frac{F_{12}}{l_{Dsvar} \cdot t_3} = \frac{58\,180,08}{74 \cdot 10} = 78,62 \text{ MPa}$$

7.2.6 Výpočet celkového napětí ve svaru u dolní pásnice

$$\sigma_{RESDT} = \sqrt{\sigma_{Dsvar}^2 + \sigma_{2SD}'^2 - \sigma_{Dsvar} \cdot \sigma_{2SD}' + 3 \cdot \tau_{2SDTsvar}^2} \\ = \sqrt{78,62^2 + 139,86^2 - 78,62 \cdot 139,86 + 3 \cdot 23,59^2} = 128,12 \text{ MPa}$$

7.2.7 Porovnání výsledného celkového napětí ve svaru dolní pásnice s dovoleným napětím

Dovolené napětí σ_{DOV1} bude stejné jako v předchozích případech celého výpočtu svařovaného mostu, tedy dle ČSN 73 1401 pro jakost materiálu 11 373 (**viz. str.43**).

$$\sigma_{RESDT} \leq \sigma_{DOV1}$$

$$128,12 \text{ MPa} \leq 204 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

8 VÝPOČET ÚNOSNOSTI PŘI ÚNAVĚ - SVAŘOVANÝ NOSNÍK (MOST)

Výpočty budou provedeny dle normy ČSN 27 0103. Tyto výpočty se provádí u nosných dílců, které jsou vystaveny více než $2 \cdot 10^4$ zatěžujících cyklů za dobu technického života. Výpočtové pevnosti při únavě R_{fat} jsou určeny provozní skupinou a závisí na spektru zatížení (napětí) a na počtu zatěžovacích cyklů posuzovaného dílce.

Jeřáb, který je popisován v této práci, je jeřáb mostového typu všeobecného použití a je určen pro práci v dílnách a skladech průmyslových závodů (zatříděn dle normy ČSN 27 0103). Spektrum napětí tedy nese označení S1 (lehké) a provozní skupina J4. Dle tohoto zatřídění se jedná o provoz pravidelný, trvalý N_3 , což je předpokládaný počet cyklů (přes $6 \cdot 10^5$ do $2 \cdot 10^6$) za dobu technického života jeřábu.

Nejprve bude určen poměr mezních napětí $\chi = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}$ pro výpočet výpočtové pevnosti při únavě, s kterou budou porovnávány hodnoty napětí σ_{max} ($\sigma_{max} \neq \sigma_1'$; $\sigma_{max} \neq \sigma_2'$)

u daného dílu svařovaného mostu. Dále bude vypočítána výpočtová pevnost $R_{fat}(-1)$ při únavě pro konstrukční prvky z materiálů řady 37 nebo 52 v závislosti na provozní a vrubové skupině dle normy. Vrubová skupina bude zvolena W01 pro základní válcovaný materiál [norma ČSN 27 0103 - str.31].

8.1 HORNÍ PÁSNICE

8.1.1 Výpočet poměru mezních napětí

Nejprve bude vypočítána kombinace zatížení od vlastní hmotnosti nosníku, jeřábové kočky a jmenovitého břemene pro výpočet napětí σ_{min} (pouze zatížení od vlastní hmotnosti nosníku a jeřábové kočky) a σ_{max} (celkové zatížení).

8.1.1.1 Výpočet maximálních ohybových momentů působících na svař. most

U výpočtů ohybových momentů budou započítány součinitelé bezpečnosti (pouze dynamický součinitel pojezdový δ_t a dynamický součinitel zdvihový δ_h).

Působení síly od jmenovitého břemene:

$$M_{obř} = \frac{F_{bř} \cdot L \cdot \delta_h}{4} = \frac{135\,000 \cdot 7 \cdot 1,23}{4} = 290\,587,50 \text{ Nm}$$

Působení síly od jeřábové kočky:

$$M_{ojk} = \frac{F_{jk} \cdot L \cdot \delta_t}{4} = \frac{13\,930 \cdot 7 \cdot 1,1}{4} = 26\,815,25 \text{ Nm}$$

Působení spojitého zatížení od vlastní hmotnosti mostu:

$$M_{osn'} = \frac{q_{sn'} \cdot L^2 \cdot \delta_t}{8} = \frac{1\,750,6 \cdot 7^2 \cdot 1,1}{8} = 11\,794,67 \text{ Nm}$$

8.1.1.2 Výpočet napětí σ_{min} a σ_{max}

U minimálního napětí bude součet ohybových momentů od působení jeřábové kočky a vlastní hmotnosti svařovaného mostu:

$$\sigma_{min_1} = \frac{(M_{ojk} + M_{osn'}) \cdot 1\,000}{W_{oy'1}} = \frac{(26\,815,25 + 11\,794,67) \cdot 1\,000}{2,343 \cdot 10^6} = 16,48 \text{ MPa}$$

U maximálního napětí bude součet všech ohybových momentů:

$$\begin{aligned} \sigma_{max_1} &= \frac{(M_{ojk} + M_{osn'} + M_{obř}) \cdot 1\,000}{W_{oy'1}} = \frac{(26\,815,25 + 11\,794,67 + 290\,587,50) \cdot 1\,000}{2,343 \cdot 10^6} \\ &= 140,50 \text{ MPa} \end{aligned}$$

8.1.1.2.1 Poměr mezních napětí

$$\chi_1 = \frac{\sigma_{min_1}}{\sigma_{max_1}} = \frac{16,48}{140,50} = 0,117$$

Jedná se o opěťované (míjivé namáhání), jelikož $0 < \chi < +1$. [norma ČSN 27 0103 - str.23]

8.1.2 Výpočet výpočtové pevnosti při únavě $R_{fat(x)}$ v závislosti na poměru mezních napětí a maximální výpočtové pevnosti při únavě zákl. materiálu $R_{fat(-1)}$

Všechny vzorce a hodnoty jsou použity z výše zmiňované normy ČSN 27 0103. [norma ČSN 27 0103 - str.29 Tab.17]

Maximální výpočtová pevnost při únavě základního materiálu pro tah, tlak; mez kluzu a mez pevnosti pro oceli svařovaných částí řady 37:

$$Re = 240 \text{ MPa}$$

$$Rm = 370 \text{ MPa}$$

$$R_{fat(-1)} = 180 \text{ MPa}$$

8.1.2.1 Stanovení výpočtové pevnosti

Výpočet bude proveden dle následujícího vzorce (horní pásnice je namáhána tlakem).

$$R_{fat,p(\chi)} = \frac{R_{fat,p(0)}}{1 - \left(1 - \frac{R_{fat,p(0)}}{0,90 \cdot R_m}\right) \cdot \chi}$$

$$R_{fat,p(0)} = 2 \cdot R_{fat(-1)} = 2 \cdot 180 = 360 \text{ MPa} \gg 180 \text{ MPa}$$

Jelikož tato hodnota překračuje hodnotu maximální výpočtové pevnosti $R_{fat(-1)} = 180 \text{ MPa}$, bude dále dosazována pouze maximální hodnota $180 \text{ MPa} \rightarrow R_{fat,p(0)} = R_{fat(-1)}$.

$$R_{fat,p(0,118)} = \frac{R_{fat,p(0)}}{1 - \left(1 - \frac{R_{fat,p(0)}}{0,90 \cdot R_m}\right) \cdot \chi_1} = \frac{180}{1 - \left(1 - \frac{180}{0,90 \cdot 370}\right) \cdot 0,117} = 190,23 \text{ MPa}$$

$\gg 180 \text{ MPa}$

Jelikož i tato vypočtená hodnota výpočtové pevnosti přesahuje hodnotu maximální výpočtové pevnosti $R_{fat(-1)}$, bude napětí σ_{max1} u horní pásnice porovnáváno s maximální výpočtovou pevností $180 \text{ MPa} \rightarrow R_{fat,p(0,118)} = R_{fat(-1)}$

8.1.3 Porovnání maximální výpočtové pevnosti při únavě s celkovým napětím

$$\sigma_{max_1} \leq R_{fat(-1)}$$

$$140,60 \text{ MPa} \leq 180 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

8.2 DOLNÍ PÁSNICE

8.2.1 Výpočet poměru mezních napětí

Výpočet bude stejný jako v případě horní pásnice, při výpočtu napětí bude použit druhý modul průřezu v ohybu.

8.2.1.1 Výpočet maximálních ohybových momentů působících na svař. most

U těchto výpočtů budou opět započítány součinitelé bezpečnosti (pouze dynamický součinitel pojezdový δ_t a dynamický součinitel zdvihový δ_h).

Působení síly od jmenovitého břemene:

$$M_{obř} = \frac{F_{bř} \cdot L \cdot \delta_h}{4} = \frac{135\,000 \cdot 7 \cdot 1,23}{4} = 290\,587,50 \text{ Nm}$$

Působení síly od jeřábové kočky:

$$M_{ojk} = \frac{F_{jk} \cdot L \cdot \delta_t}{4} = \frac{13\,930 \cdot 7 \cdot 1,1}{4} = 26\,815,25 \text{ Nm}$$

Působení spojitého zatížení od vlastní hmotnosti mostu:

$$M_{osn'} = \frac{q_{sn'} \cdot L^2 \cdot \delta_t}{8} = \frac{1\,750,6 \cdot 7^2 \cdot 1,1}{8} = 11\,794,67 \text{ Nm}$$

8.2.1.2 Výpočet největšího zatížení od jednoho kola jeřábové kočky

U tohoto výpočtu budou započítány součinitelé bezpečnosti (pouze dynamický součinitel zdvihový δ_h a dynamický součinitel pojezdový δ_t). Kola jsou zatěžována silami od jmenovitého břemene a jeřábové kočky. Výpočet:

$$F_2' = \frac{(F_{bř} \cdot \delta_h + F_{jk} \cdot \delta_t)}{4} = \frac{(135\,000 \cdot 1,23 + 13\,930 \cdot 1,1)}{4} = 45\,343,25 \text{ N}$$

8.2.1.2.1 Výpočet lokálního napětí

Výpočet bude stejný jako v případě výpočtu lokálního napětí u svařovaného mostu při zjišťování maximálního napětí ve spodním vlákne spodní pásnice. Pouze se změní hodnota největšího zatížení od jednoho kola F_2' . [norma ČSN 27 0103 - str.61]

$$\sigma_{loc2}' = \alpha_{x1}' \cdot \frac{F_2'}{t_2^2} = 1,661 \cdot \frac{45\,343,25}{35^2} = 61,48 \text{ MPa}$$

8.2.1.3 Výpočet napětí σ_{min} a σ_{max}

K výpočtům minimálního a maximálního napětí bude připočtena hodnota vypočítaného lokálního napětí pásnice.

U minimálního napětí bude součet ohybových momentů od působení jeřábové kočky a vlastní hmotnosti svařovaného mostu:

$$\begin{aligned} \sigma_{min_2} &= \frac{(M_{ojk} + M_{osn'}) \cdot 1000}{W_{oy'2}} + \sigma_{loc2}' = \frac{(26\,815,25 + 11\,794,67) \cdot 1000}{4,389 \cdot 10^6} + 61,48 \\ &= 70,28 \text{ MPa} \end{aligned}$$

U maximálního napětí bude součet všech ohybových momentů:

$$\begin{aligned} \sigma_{max_2} &= \frac{(M_{ojk} + M_{osn'} + M_{obř}) \cdot 1000}{W_{oy'2}} + \sigma_{loc2}' \\ &= \frac{(26\,815,25 + 11\,794,67 + 290\,587,50) \cdot 1000}{4,389 \cdot 10^6} + 61,48 = 136,49 \text{ MPa} \end{aligned}$$

8.2.1.3.1 Poměr mezních napětí

$$\chi_2 = \frac{\sigma_{min_2}}{\sigma_{max_2}} = \frac{70,28}{136,49} = 0,515$$

Jedná se o opěťované (míjivé namáhání), jelikož $0 < \chi < +1$. [norma ČSN 27 0103 - str.23]

8.2.2 Výpočet výpočtové pevnosti při únavě $R_{fat(x)}$ v závislosti na poměru mezních napětí a maximální výpočtové pevnosti při únavě zákl. materiálu $R_{fat(-1)}$

Všechny vzorce a hodnoty jsou použity z normy ČSN 27 0103. [norma ČSN 27 0103 - str.29 - Tab.17]

Maximální výpočtová pevnost při únavě základního materiálu pro tah, tlak; mez kluzu a mez pevnosti pro oceli svařovaných částí řady 37

$$Re = 240 \text{ MPa}$$

$$Rm = 370 \text{ MPa}$$

$$R_{fat(-1)} = 180 \text{ MPa}$$

8.2.2.1 Stanovení výpočtové pevnosti

Výpočet bude proveden dle následujícího vzorce (dolní pásnice je namáhána tahem):

$$R_{fat,t(\chi)} = \frac{R_{fat,t(0)}}{1 - \left(1 - \frac{R_{fat,t(0)}}{0,75 \cdot R_m}\right) \cdot \chi}$$

$$R_{fat,t(0)} = \frac{5}{3} \cdot R_{fat(-1)} = \frac{5}{3} \cdot 180 = 300 \text{ MPa} \gg 180 \text{ MPa}$$

Jelikož vypočtená hodnota překračuje hodnotu maximální výpočtové pevnosti $R_{fat(-1)} = 180$ MPa, bude dále dosazována pouze maximální hodnota 180 MPa $\rightarrow R_{fat,t(0)} = R_{fat(-1)}$.

$$R_{fat,t(0,515)} = \frac{R_{fat,t(0)}}{1 - \left(1 - \frac{R_{fat,t(0)}}{0,75 \cdot R_m}\right) \cdot \chi_2} = \frac{180}{1 - \left(1 - \frac{180}{0,75 \cdot 370}\right) \cdot 0,515} = 219,77 \text{ MPa}$$

$\gg 180 \text{ MPa}$

Jelikož i tato vypočtená hodnota výpočtové pevnosti přesahuje hodnotu maximální výpočtové pevnosti $R_{fat(-1)}$, bude napětí σ_{max2} u dolní pásnice porovnáváno s maximální výpočtovou pevností 180 MPa $\rightarrow R_{fat,p(0,515)} = R_{fat(-1)}$

8.2.3 Porovnání maximální výpočtové pevnosti při únavě s celkovým napětím

$$\sigma_{max2} \leq R_{fat(-1)}$$

$$136,54 \text{ MPa} \leq 180 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

9 ZÁVĚR

Tato bakalářská práce se zabývá převážně konstrukcemi mostových jeřábů a typy jeřábových koček. Úvod práce je věnován i ostatním druhům jeřábů, kdy každý má jiné využití a konstrukční řešení. Výrobou mostových jeřábů se dnes zabývá spousta firem.

Další část práce byla podrobně věnována výpočtům pevnosti a únavy samotného mostu (nosníku) jednonosíkového mostového jeřábu o nosnosti 13,5t a rozpětí 7 m. Pro porovnání výsledků je zvoleno různé konstrukční řešení mostů, které byly vyrobeny z válcovaných profilů HEB nebo byly svařeny z jednotlivých pásnic (plechů). V příloze jsou doplněny i výpočty mostových jeřábů o nosnosti 13,5t a 16t o rozpětí 7 m, 12 m a 20 m.

Z výpočtů mostového jeřábu o nosnosti 13,5t a rozpětí 7 m je patrné, že celková výška svařovaného mostu je menší o téměř 200 mm než výška mostu za použití válcovaného profilu HEB 700 o jakosti materiálu 11 373 (při použití menších válcovaných profilů HEB výpočty pevnosti nevyhovují). To znamená, že svařovaný most se dokáže lépe přizpůsobit různým výrobním halám, kde má být umístěn právě mostový jeřáb. Porovnáním celkových hmotností samotných mostů bylo zjištěno, že svařovaný most má menší hmotnost než most z válcovaného profilu HEB.

Pro mostové jeřáby, na které jsou aplikovány výpočty, jsou navrženy tři kladkostroje (jeřábové kočky), které vyhovují daným požadavkům na konstrukci mostového jeřábu. Jedná se o podvěsné kladkostroje od výrobců Stahl, GIGA a LIFTKET. Z těchto kladkostrojů nejlépe vyhovuje typ SHR 6040-12 4/1 L2 od firmy STAHL z důvodu přijatelné hmotnosti samotného kladkostroje a výšky zdvihu jmenovitého břemene.

10 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] ČSN 27 0103. *NAVRHOVÁNÍ OCELOVÝCH KONSTRUKCÍ JEŘÁBŮ: Výpočet podle mezních stavů*. 1989. Praha: Český normalizační institut.
- [2] ČSN 73 1401. *ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA: Navrhování ocelových konstrukcí*. 1989. Praha: Český normalizační institut.
- [3] *STAVBA A PROVOZ STROJŮ III* [online]. 2012. První. Hořice: SPSKS, 277 s. [cit. 2015-05-14].
- [4] *GIGA s.r.o.: Portálové jeřáby a poloportálové jeřáby GIGA* [online]. 2010. [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: <http://www.gigasro.cz/portalove-jeřaby-a-poloportalove-jeřaby26906.html>
- [5] *TEDOX s.r.o.: Sloupové jeřáby* [online]. 2015. [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: <http://www.tedox.cz/sloupove-jeřaby>
- [6] *JASS JEŘÁBY: Konzolové otočné jeřáby* [online]. 2015. [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: <http://www.jass.cz/konzolove-otocne-jeřaby>
- [7] *Craneservice Brno, s.r.o.: Konzolové otočné jeřáby* [online]. 2015. [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: <http://www.craneservice.cz/novinky-49-384-zvyseni-nosnosti-jeřabu-mb-1030-11.html?vybranyrok=>
- [8] *PODZEMNÍ ČTENÍ: Nauka o stavebních hmotách* [online]. 2015. [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: <http://www.hornictvi.info/cteni/lomarstvi/09.htm>
- [9] *GIGA s.r.o.: Podvěsné mostové jeřáby* [online]. 2015. [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: <http://www.gigasro.cz/podvesne-mostove-jeřaby.html>
- [10] *Vatgia.com* [online]. 2012. [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: http://www.vatgia.com/6093/2120537/hinh_anh/palang-stahl-shr-6-16000kg.html

11 PŘÍLOHY

Příloha A	Parametry kladkostroje SHR 6040-12 4/1 L2	60
Příloha B	Parametry kladkostroje GIGA	61
Příloha C	Parametry kladkostroje LIFTKET	62
Příloha D	Výpočty MJ 13,5t - 12 m - HEB 800	63
Příloha E	Výpočty MJ 13,5t - 20 m - HEB 900	64
Příloha F	Výpočty MJ 16t - 7 m - HEB 800	65
Příloha G	Výpočty MJ 16t - 12 m - HEB 900	66
Příloha H	Výpočty MJ 16t - 20 m - HEB 900	67
Příloha CH	Výpočty MJ 13,5t - 12 m - svař. most	68
Příloha I	Výpočty MJ 13,5t - 20 m - svař. most	69
Příloha J	Výpočty MJ 16t - 7 m - svař. most	70
Příloha K	Výpočty MJ 16t - 12 m - svař. most	71
Příloha L	Výpočty MJ 16t - 20 m - svař. most	72

Výkresová dokumentace - svařovaný most mostového jeřábu 13,5t/ 7 m - č.v.2-00-MJ-07-00

Příloha A - Parametry kladkostroje SHR 6040-12 4/1 L2

STAHL
Crane Systems



Abmessungen [mm]
Dimensions [mm]
Dimensions [mm]

Seilzüge SH
SH Wire Rope Hoists
Palans à câble SH



SHR 6	Einschiene fahrwerk KE-S7.	Monorail trolley KE-S7.	Chariot monorail KE-S7.
-------	-------------------------------	----------------------------	----------------------------

B [mm]	2/1	4/1	4/2-1
C	170	905	745
-L2	300	960	765
	400	1080	890
	500	1205	1010
C	170	1160	745
-L3	300	1130	765
-L4	400	1080	890
	500	1205	1010
e1	-L2	1370	
	-L3	1680	
	-L4	2461	
e4	-L2	236	118
	-L3	391	196
	-L4	779	389
e10	612		585
u1	-L2	965	
	-L3	1475	
	-L4	2250	
u2	-L2	1035	
	-L3	1545	
	-L4	1960	
u3	-L2	287	403
	-L3	487	603
	-L4	487	603
B*	124 - 500		
U	(m)		
*2	-L2	20,8 **	
	-L3	31,0 **	
	-L4	39,3 **	

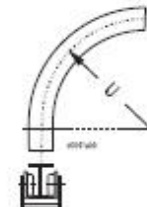
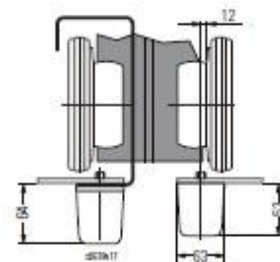
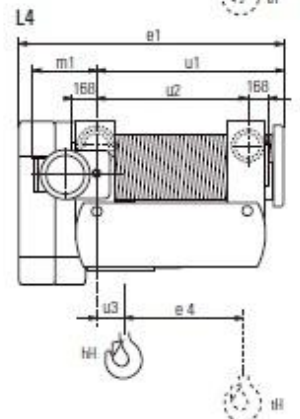
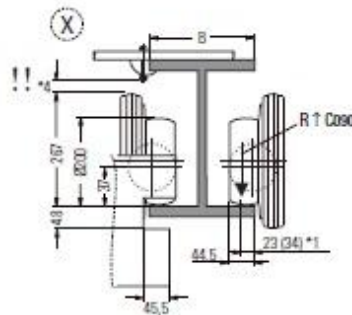
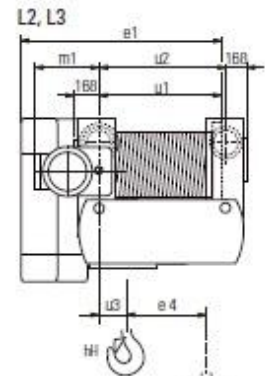
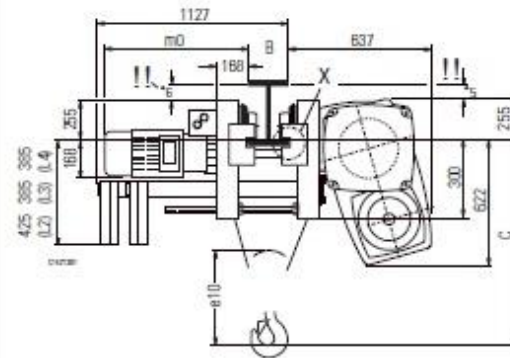
Nicht lieferbar, siehe SH 6 / Not available, see SH 6 / Pas livrable voir SH 6

*3	50 Hz (60 Hz)		[m/min]	[kg]	[mm]
m0	5/20 (6,3/25)	...	6300	620	620
		...	12500	620	620
		...	16000	674	674
	2,5/10 (3,2/12,5)	...	16000	620	620
m1	8/32 (10/40)	...	6300	620	620
		...	12500	674	674
		...	16000	236	236
	2,5/10 (3,2/12,5)	...	16000	236	236
	...	6300	236	236	
	...	12500	256	256	

Auswahltabelle:
2/1, 4/1 ↑ 1/25
4/2-1 ↑ 1/35

Selection table:
2/1, 4/1 ↑ 1/25
4/2-1 ↑ 1/35

Tableau de sélection:
2/1, 4/1 ↑ 1/25
4/2-1 ↑ 1/35



* Standard - 300 mm
*1 bei geneigtem Flansch
*2 nur bis B ≤ 200 mm
*3 Fahrmotoren T C070
*4/*5/*6 Achtung! Durchfahrtsmaße beachten
*7 Kleinere Kurvenradien auf Anfrage

* Standard - 300 mm
*1 with sloping flange
*2 only up to B ≤ 200 mm
*3 Travel motors T C070
*4/*5/*6 N.B.: Observe clearance dimensions
*7 Smaller radius of band on request

* Standard - 300 mm
*1 avec bride inclinée
*2 seulement jusqu'à B ≤ 200 mm
*3 Moteurs de direction T C070
*4/*5/*6 Attention! Observer les cotes de passage libre!
*7 Rayons de courbe plus petits sur demande

2
4
3

09.14

1/61

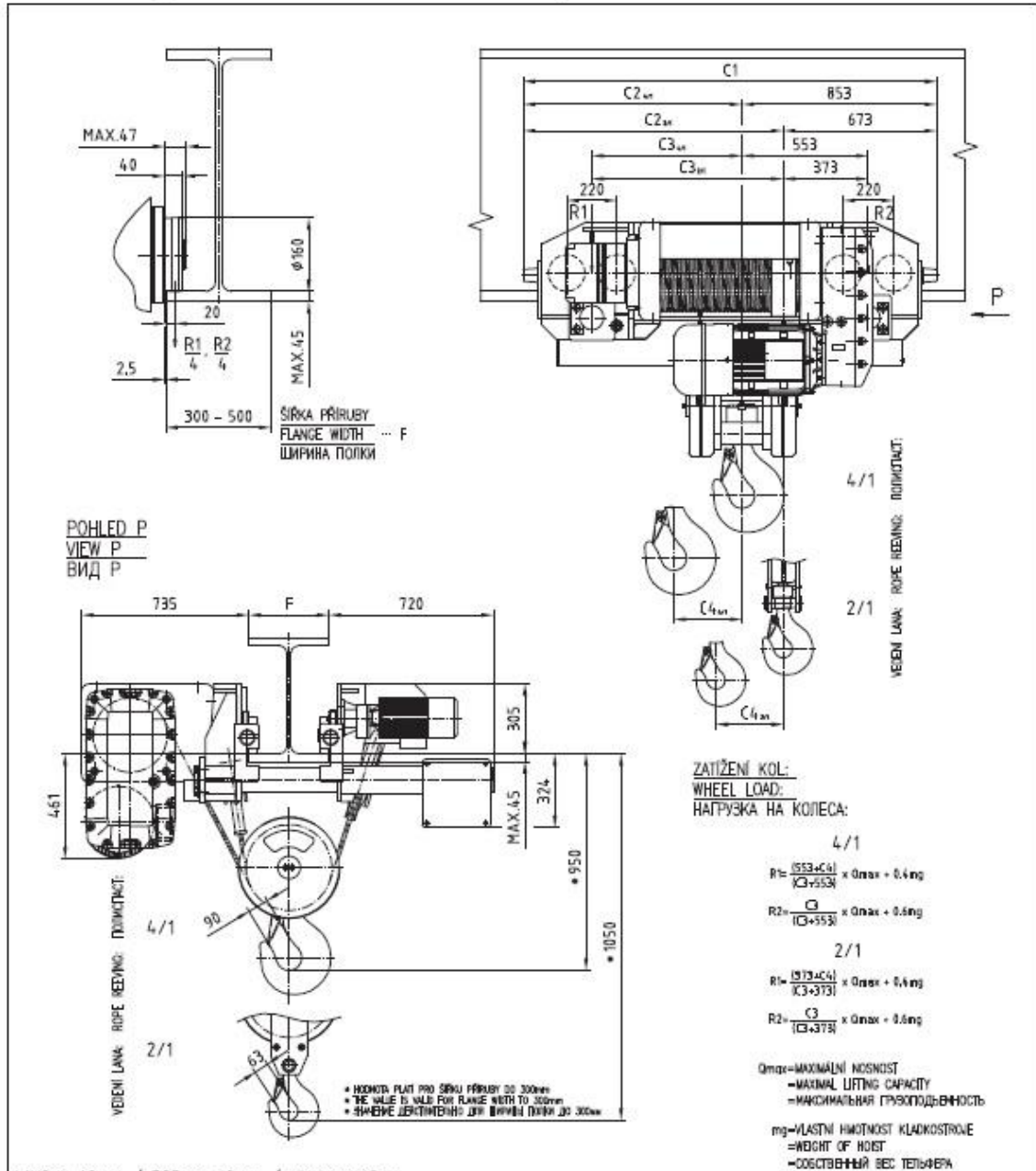
Příloha B - Parametry kladkostroje GIGA

GIGA®

ELEKTRICKÉ LANOVÉ KLADKOSTROJE S POJEZDEM
SE ZKRÁCENOU STAVEBNÍ VÝŠKOU
TYP GHF, GHM 16000,20000,25000-2/1,-4/1
NOSNOST 8000 - 25000 kg.

ELECTRIC WIRE ROPE HOISTS WITH MONORAIL
TROLLEY - SHORT HEADROOM
TYPE GHF, GHM 16000,20000,25000-2/1,-4/1
LIFTING CAPACITY 8000 - 25000 kg.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КАНАТНЫЕ ТЕЛЬФЕРЫ ПЕРЕДВИЖНЫЕ
МОНОРЕЛЬСОВЫЕ С УКОРЧЕННОЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ ВЫСОТОЙ
ТИП GHF, GHM 16000,20000,25000-2/1,-4/1
ПРУЗОПОДЪЕМНОСТЬ 8000 - 25000 кг.



LANO Ø 16mm / ROPE Ø 16mm / КАНАТ Ø 16mm

Typ/Type/Тип	6M	9M	12M	15M	18M	21M	24M	27M	30M
C1	1810	2030	2250	2470	2690	2910	3130	3350	3570
C2 _{un} C2 _{sn}	957 1137	1177 1357	1397 1577	1617 1797	1837 2017	2057 2237	2277 2457	2497 2677	2717 2897
C3 _{un} C3 _{sn}	657 837	877 1057	1097 1277	1317 1497	1537 1717	1757 1937	1977 2157	2197 2377	2417 2597
C4 _{un} C4 _{sn}	115 230	170 340	225 450	280 560	335 670	390 780	445 890	500 1000	555 1110
m _{un} m _{sn} [kg]	2250 1970	2370 2090	2490 2210	2610 2330	2730 2450	2850 2570	2970 2690	3090 2810	3210 2930

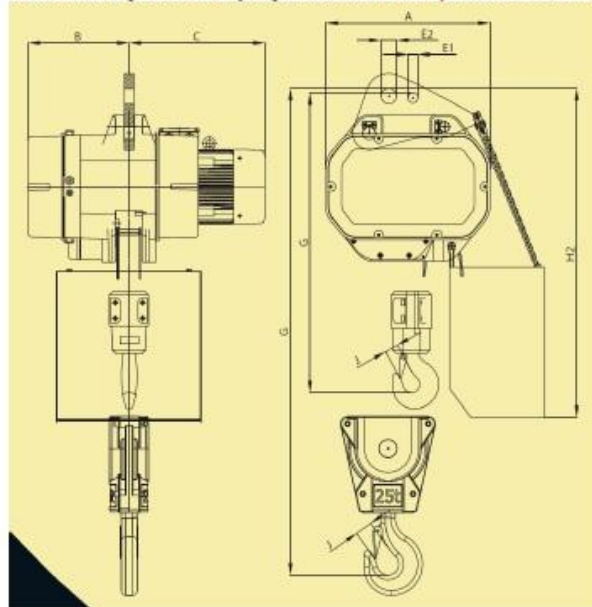
Technický list kladkostroje LIFTKET

LIFTKET
 ELEKTRICKÉ ŘETĚZOVÉ KLADKOSTROJE

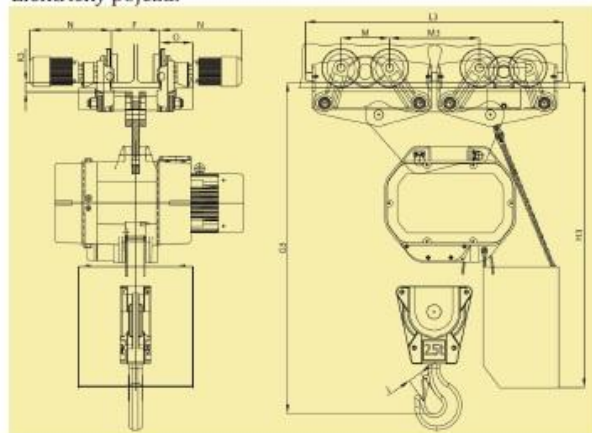
POWER 235/50 - 16000 kg

Model:	235/50
Nosnost:	16000 Kg
Kategorie:	Kladkostroje LIFTKET POWER
Verze:	16000/2-3,2/0,8
Rychlost zdvihu:	3,2/0,8 m/min
Počet nosných řetězů:	2
Klasifikace mechanismu dle FEM 9.511:	2m
Klasifikace řetězu na břemeno dle EN 818-7:	2m
Rozměry řetězu na břemeno dle DIN5684-8:	23,5 x 66 mm
Výkon motoru zdvihu:	12,5/3,1 kW
Jmenovitý proud:	28/13 A
Zatěžovatel ED%/ počet startů za hodinu:	25/10/240
A:	691 mm
B:	423 mm
C:	571 mm
E2:	63 mm
G - stavební výška:	1455 mm
G3 - stavební výška:	1700 mm
H:	1395 mm
H3:	1622 mm
J:	68 mm
Typ pojezdu:	12500 N / S1
F - šířka příruby:	140-230/220-310 mm
Rychlost pojezdu:	4/16 m/min
Výkon motoru pojezdu:	0,12 /0,55 kW
K3:	52 mm
L3:	1359 mm
M:	256 mm
M3:	474 mm
N:	430 mm
O:	171 mm
Průměr koleček:	150 mm
Hmotnost tělesa kladkostr. pro 3 metry zdvihu:	668 kg
Hmotnost elektrického pojezdu:	274 kg
Doporučené jistění:	Pojistky 32A typu T nebo jistič typu C/D
Ovládání:	Stykačové
Napájecí napětí:	3x400V/50Hz

Stacionární provedení (na přání lze dodat s jedním otvorem):



Elektrický pojezd:



MOSTOVÝ JEŘÁB - nosnost 13,5t - rozpětí 12 m - válcovaný profil HEB 800

KOMBINACE ZATÍŽENÍ	
vlastní hmotnost + jeř. kočka:	$q_{HEB} = 2\,470 \text{ N/m}$
	$F_{jk} = 13\,930 \text{ N}$
	Započítání součinitelů:
$M_{omaxHEB} = 44\,460 \text{ Nm}$	$\rightarrow 53\,796,60 \text{ Nm}$
$M_{omaxjk} = 41\,790 \text{ Nm}$	$\rightarrow 50\,565,90 \text{ Nm}$
CELKOVÝ OHYBOVÝ MOMENT: $M_{omax} = 104\,362,5 \text{ Nm}$	

břemeno:	$F_{bf} = 135\,000 \text{ N}$
	Započítání součinitelů:
$M_{omaxbf} = 405\,000 \text{ Nm}$	$\rightarrow 647\,595 \text{ Nm}$
OHYBOVÝ MOMENT: $M_{omax} = 647\,595 \text{ Nm}$	

Výpočet napětí pro kombinaci zatížení:	
vlastní hmotnost + jeř. kočka:	$\sigma_1 = 11,62 \text{ MPa}$
břemeno:	$\sigma_2 = 72,12 \text{ MPa}$

LOKÁLNÍ NAPĚTÍ PÁSNICE:	
lambda $\lambda =$	0,163
Největší zatížení kola $F =$	58 180,08 N
alfax $\alpha =$	2,058
	$\sigma_3 = 109,95 \text{ MPa}$

Celkové maximální napětí:
(porovnání s hodnotami dovolených napětí)

$\sigma = 193,69 \text{ MPa}$	<	204,3 MPa	VYHOVUJE	mat. 11 373
$\sigma = 193,69 \text{ MPa}$	<	308,7 MPa	VYHOVUJE	mat. 11 523

PRŮHYBY	
Od vlastní hmotnosti nosníku	1,24 mm
Od hmotnosti břemene	9,01 mm
Od hmotnosti jeřábové kočky	0,93 mm
	Dovolený průhyb
Výsledný průhyb	11,17 mm
	< 24
	VYHOVUJE

MOSTOVÝ JEŘÁB - nosnost 13,5t - rozpětí 20 m - válcovaný profil HEB 900

KOMBINACE ZATÍŽENÍ	
vlastní hmotnost + kočka:	$q_{HEB} = 2\,980 \text{ N/m}$
	$F_{jk} = 13\,930 \text{ N}$
	Započítání součinitelů:
$M_{omaxHEB} = 149\,000 \text{ Nm}$	$\rightarrow 180\,290 \text{ Nm}$
$M_{omaxjk} = 69\,650 \text{ Nm}$	$\rightarrow 84\,276,50 \text{ Nm}$
CELKOVÝ OHYBOVÝ MOMENT: $M_{omax} = 264\,566,50 \text{ Nm}$	

břemeno:	$F_{br} = 135\,000 \text{ N}$
	Započítání součinitelů:
$M_{omaxbr} = 675\,000 \text{ Nm}$	$\rightarrow 1\,079\,325 \text{ Nm}$
OHYBOVÝ MOMENT: $M_{omax} = 1\,079\,325 \text{ Nm}$	

Celkové maximální napětí:
(porovnání s hodnotami dovolených napětí)

$\sigma = 220,06 \text{ MPa}$	<	$204,3 \text{ MPa}$	NEVYHOVUJE	<i>mat. 11 373</i>
$\sigma = 220,06 \text{ MPa}$	<	$308,7 \text{ MPa}$	VYHOVUJE	<i>mat. 11 523</i>

Výpočet napětí pro kombinaci zatížení:	
vlastní hmotnost + kočka:	$\sigma_1 = 24,10 \text{ MPa}$
břemeno:	$\sigma_2 = 98,30 \text{ MPa}$

LOKÁLNÍ NAPĚTÍ PÁSNICE:	
lambda $\lambda =$	0,163
Největší zatížení kola $F =$	58 180,08 N
alfax $\alpha =$	2,056
	$\sigma_3 = 97,67 \text{ MPa}$

PRŮHYBY	
Od vlastní hmotnosti nosníku	5,98 mm
Od hmotnosti břemene	21,68 mm
Od hmotnosti jeřábové kočky	2,24 mm
Výsledný průhyb	29,91 mm
	Dovolený průhyb
	40
	VYHOVUJE

MOSTOVÝ JEŘÁB - nosnost 16t - rozpětí 7 m - válcovaný profil HEB 800

KOMBINACE ZATÍŽENÍ	
vlastní hmotnost + jeř. kočka:	$q_{HEB} = 2\,690 \text{ N/m}$
	$F_{jk} = 13\,930 \text{ N}$
	Započítání součinitelů:
$M_{omaxHEB} = 16\,476,25 \text{ Nm}$	$\rightarrow 19\,936,26 \text{ Nm}$
$M_{omaxjk} = 24\,377,50 \text{ Nm}$	$\rightarrow 29\,496,78 \text{ Nm}$
CELKOVÝ OHYBOVÝ MOMENT: $M_{omax} = 49\,433,04 \text{ Nm}$	

břemeno:	$F_{bř} = 160\,000 \text{ N}$
	Započítání součinitelů:
$M_{omaxbř} = 280\,000 \text{ Nm}$	$\rightarrow 447\,720 \text{ Nm}$
OHYBOVÝ MOMENT: $M_{omax} = 447\,720 \text{ Nm}$	

Výpočet napětí pro kombinaci zatížení:	
vlastní hmotnost + jeř. kočka:	$\sigma_1 = 5,50 \text{ MPa}$
břemeno:	$\sigma_2 = 49,86 \text{ MPa}$

LOKÁLNÍ NAPĚTÍ PÁSNICE:	
lambda $\lambda =$	0,163
Největší zatížení kola $F =$	68 173,83 N
alfax $\alpha =$	2,058
	$\sigma_3 = 128,84 \text{ MPa}$

Celkové maximální napětí:
(porovnání s hodnotami dovolených napětí)

$\sigma = 184,20 \text{ MPa} \leq 204,3 \text{ MPa}$ **VYHOVUJE** *mat. 11 373*

$\sigma = 184,20 \text{ MPa} \leq 308,7 \text{ MPa}$ **VYHOVUJE** *mat. 11 523*

PRŮHYBY	
Od vlastní hmotnosti nosníku	0,11 mm
Od hmotnosti břemene	1,52 mm
Od hmotnosti jeřábové kočky	0,13 mm
	Dovolený průhyb
Výsledný průhyb	1,76 mm < 14 VYHOVUJE

MOSTOVÝ JEŘÁB - nosnost 16t - rozpětí 12 m - válcovaný profil HEB 900

KOMBINACE ZATÍŽENÍ	
vlastní hmotnost + jeř. kočka:	$q_{HEB} = 2\,980 \text{ N/m}$
	$F_{jk} = 13\,930 \text{ N}$
	Započítání součinitelů:
$M_{omaxHEB} = 53\,640 \text{ Nm}$	$\rightarrow 64\,904,40 \text{ Nm}$
$M_{omaxjk} = 41\,790 \text{ Nm}$	$\rightarrow 50\,565,90 \text{ Nm}$
CELKOVÝ OHYBOVÝ MOMENT: $M_{omax} = 115\,470,30 \text{ Nm}$	

břemeno:	$F_{bř} = 160\,000 \text{ N}$
	Započítání součinitelů:
$M_{omaxbř} = 480\,000 \text{ Nm}$	$\rightarrow 767\,520 \text{ Nm}$
OHYBOVÝ MOMENT: $M_{omax} = 767\,520 \text{ Nm}$	

Celkové maximální napětí:
(porovnání s hodnotami dovolených napětí)

$\sigma = 194,86 \text{ MPa}$	<	204,3 MPa	VYHOVUJE	mat. 11 373
$\sigma = 194,86 \text{ MPa}$	<	308,7 MPa	VYHOVUJE	mat. 11 523

Výpočet napětí pro kombinaci zatížení:	
vlastní hmotnost + jeř. kočka:	$\sigma_1 = 10,52 \text{ MPa}$
břemeno:	$\sigma_2 = 69,90 \text{ MPa}$

LOKÁLNÍ NAPĚTÍ PÁSNICE:	
lambda $\lambda =$	0,163
Největší zatížení kola $F =$	68 173,83 N
alfax $\alpha =$	2,056
	$\sigma_3 = 114,44 \text{ MPa}$

PRŮHYBY	
Od vlastní hmotnosti nosníku	0,78 mm
Od hmotnosti břemene	5,55 mm
Od hmotnosti jeřábové kočky	0,48 mm
Výsledný průhyb	6,81 mm
	Dovolený průhyb
	< 24 VYHOVUJE

MOSTOVÝ JEŘÁB - nosnot 16t - rozpětí 20 m - válcovaný profil HEB 900

KOMBINACE ZATÍŽENÍ	
vlastní hmotnost + jeř. kočka:	$q_{HEB} = 2\,980 \text{ N/m}$
	$F_{jk} = 13\,930 \text{ N}$
	Započítání součinitelů:
$M_{omaxHEB} = 149\,000 \text{ Nm}$	$\rightarrow 180\,290 \text{ Nm}$
$M_{omaxjk} = 69\,650 \text{ Nm}$	$\rightarrow 84\,276,50 \text{ Nm}$
CELKOVÝ OHYBOVÝ MOMENT: $M_{omax} = 264\,566,5 \text{ Nm}$	

břemeno:	$F_{bf} = 160\,000 \text{ N}$
	Započítání součinitelů:
$M_{omaxbf} = 800\,000 \text{ Nm}$	$\rightarrow 1\,279\,200 \text{ Nm}$
OHYBOVÝ MOMENT: $M_{omax} = 1\,279\,200 \text{ Nm}$	

Výpočet napětí pro kombinaci zatížení:	
vlastní hmotnost + jeř. kočka:	$\sigma_1 = 24,10 \text{ MPa}$
břemeno:	$\sigma_2 = 116,50 \text{ MPa}$

LOKÁLNÍ NAPĚTÍ PÁSNICE:	
lambda $\lambda =$	0,163
Největší zatížení kola $F =$	68 173,83 N
alfax $\alpha =$	2,056
$\sigma_3 = 114,44 \text{ MPa}$	

Celkové maximální napětí:
(porovnání s hodnotami dovolených napětí)

$\sigma = 255,04 \text{ MPa}$	<	204,3 MPa	NEVYHOVUJE	mat. 11 373
$\sigma = 255,04 \text{ MPa}$	<	308,7 MPa	VYHOVUJE	mat. 11 523

PRŮHYBY	
Od vlastní hmotnosti nosníku	5,98 mm
Od hmotnosti břemene	25,70 mm
Od hmotnosti jeřábové kočky	2,24 mm
Výsledný průhyb	33,92 mm
	Dovolený průhyb
	40
	VYHOVUJE

Příloha CH - Výpočty MJ 13,5t - 12 m - svař. most

NÁVRH MOSTU

PLECHY	Tl. [mm]	B [mm]	Počet pásnic	S [mm ²]
Horní plech	15	320	1	4 800
Spodní plech	35	400	1	14 000
Bočnice	10	550	2	5 500
Šířka pro kolo kladkostroje	60			

PARAMETRY		
Rozpětí jeřábu	12	m
Nosnost	13 500	kg
Hmotnost kladkostroje	1 393	kg
Hmotnost jeřábu (plechů)	2 807,16	kg
hmotnost 1 m jeřábu	233,93	kg/m

OHYBOVÉ MOMENTY		
hmotnost mostu + jeř. kočka:	$q_{HEB} =$	2 339 N/m
	$F_{jk} =$	13 930 N
Započítání součinitelů:		
$M_{omaxHEB} =$	42 107 Nm	→ 50 949,95 Nm
$M_{omaxjk} =$	41 790 Nm	→ 50 565,90 Nm
SOUČET OHYBOVÝCH MOMENTŮ: $M_{omax} = 101 515,85$ Nm		

LOKÁLNÍ NAPĚTÍ PÁSNICE		
lambda	$\lambda =$	0,383
Největší zatížení kola	$F =$	58 180,08 N
$\alpha_x =$		1,660
$\sigma_{lnp} =$		78,84 MPa

břemeno:	$F_{br} =$	135 000 N
Započítání součinitelů:		
$M_{omaxbr} =$	405 000 Nm	→ 647 595 Nm
OHYBOVÝ MOMENT: $M_{omax} = 647 595$ Nm		

DOVOLENÉ HODNOTY NAPĚTÍ JAKOSTÍ MATERIÁLŮ 11 373 A 11 523		
11 373	→	204 MPa
11 523	→	309 MPa

PRŮHYBY		
Od vlastní hmotnosti nosníku	1,87	mm
Od hmotnosti břemene	14,39	mm
Od hmotnosti jeřábové kočky	1,49	mm
Výsledný průhyb	17,75	mm
	<	Dovolený průhyb 24 VYHOVUJE

POROVNÁNÍ HODNOT MAXIMÁLNÍCH NAPĚTÍ S HODNOTOU DOVOLENÉHO NAPĚTÍ			
$\sigma_1 =$	177,93 MPa	≤	204 MPa VYHOVUJE
$\sigma_2 =$	180,45 MPa	≤	204 MPa VYHOVUJE

Příloha I - Výpočty MJ 13,5t - 20 m - svař. most

NÁVRH MOSTU

PLECHY	tl. [mm]	B [mm]	Počet pásnic	S [mm ²]
Horní plech	20	330	1	6 600
Spodní plech	35	400	1	14 000
Bočnice	15	745	2	11 175
Šířka pro kolo kladkostroje	60			

PARAMETRY		
Rozpětí jeřábu	20	m
Nosnost	13 500	kg
Hmotnost kladkostroje	1 393	kg
Hmotnost jeřábu (plechů)	6 743,15	kg
hmotnost 1 m jeřábu	337,16	kg/m

OHYBOVÉ MOMENTY	
hmotnost mostu + jeř. kočka:	$q_{HEB} = 3\,372 \text{ N/m}$
	$F_{jk} = 13\,930 \text{ N}$
Započítání součinitelů:	
	$M_{omaxHEB} = 168\,579 \text{ Nm} \rightarrow 203\,980,29 \text{ Nm}$
	$M_{omaxjk} = 69\,650 \text{ Nm} \rightarrow 84\,276,50 \text{ Nm}$
SOUČET OHYBOVÝCH MOMENTŮ: $M_{omax} = 288\,256,79 \text{ Nm}$	

LOKÁLNÍ NAPĚTÍ PÁSNICE	
lambda $\lambda =$	0,383
Největší zatížení kola $F =$	58 180,08 N
$\alpha_x =$	1,660
$\sigma_{Inp} =$	78,84 MPa

břemeno:	$F_{bř} = 135\,000 \text{ N}$
Započítání součinitelů:	
	$M_{omaxbř} = 675\,000 \text{ Nm} \rightarrow 1\,079\,325 \text{ Nm}$
OHYBOVÝ MOMENT: $M_{omax} = 1\,079\,325 \text{ Nm}$	

DOVOLENÉ HODNOTY NAPĚTÍ JAKOSTÍ MATERIÁLŮ 11 373 A 11 523		
11 373	\rightarrow	204 MPa
11 523	\rightarrow	309 MPa

PRŮHYBY	
Od vlastní hmotnosti nosníku	8,51 mm
Od hmotnosti břemene	27,26 mm
Od hmotnosti jeřábové kočky	2,81 mm
Výsledný průhyb	38,59 mm
	Dovolený průhyb 40 VYHOVUJE

POROVNÁNÍ HODNOT MAXIMÁLNÍCH NAPĚTÍ S HODNOTOU DOVOLENÉHO NAPĚTÍ			
$\sigma_1 =$	160,38 MPa	\leq	204 MPa VYHOVUJE
$\sigma_2 =$	196,87 MPa	\leq	204 MPa VYHOVUJE

Příloha J - Výpočty MJ 16t - 7 m - svař. most

NÁVRH MOSTU

PLECHY	Tl. [mm]	B [mm]	Počet pásnic	S [mm ²]
Horní plech	12	320	1	3 840
Spodní plech	35	400	1	14 000
Bočnice	10	403	2	4 030
Šířka pro kolo kladkostroje	60			

PARAMETRY		
Rozpětí jeřábu	7	m
Nosnost	16 000	kg
Hmotnost kladkostroje	1 393	kg
Hmotnost jeřábu (plechů)	1 423,21	kg
hmotnost 1 m jeřábu	203,32	kg/m

OHYBOVÉ MOMENTY

hmotnost mostu + jeř. kočka:	$q_{HEB} =$	2 033	N/m	
	$F_{jk} =$	13 930	N	
	Započítání součinitelů:			
	$M_{omaxHEB} =$	12 453	Nm	→ 15 068,18 Nm
	$M_{omaxjk} =$	24 378	Nm	→ 29 496,78 Nm
	SOUČET OHYBOVÝCH MOMENTŮ: M_{omax} 44 564,96 Nm			

LOKÁLNÍ NAPĚTÍ PÁSNICE

lambda	$\lambda =$	0,383
Největší zatížení kola	$F =$	68 173,83 N
$\alpha_x =$	1,660	
$\sigma_{inp} =$	92,39	MPa

břemeno:	$F_{bf} =$	160 000	N	
	Započítání součinitelů:			
	$M_{omaxbf} =$	280 000	Nm	→ 447 720 Nm
	OHYBOVÝ MOMENT: M_{omax} 447 720 Nm			

DOVOLENÉ HODNOTY NAPĚTÍ JAKOSTÍ MATERIÁLŮ 11 373 A 11 523

11 373	→	204	MPa
11 523	→	309	MPa

POROVNÁNÍ HODNOT MAXIMÁLNÍCH NAPĚTÍ S HODNOTOU DOVOLENÉHO NAPĚTÍ

$\sigma_1 =$	198,03	MPa	≤	204	MPa	VYHOVUJE
$\sigma_2 =$	190,30	MPa	≤	204	MPa	VYHOVUJE

PRŮHYBY	
Od vlastní hmotnosti nosníku	0,40 mm
Od hmotnosti břemene	7,27 mm
Od hmotnosti jeřábové kočky	0,63 mm
Výsledný průhyb	8,31 mm
	< 14
	VYHOVUJE

Příloha K - Výpočty MJ 16t - 12 m - svař. most

NÁVRH MOSTU

PLECHY	tl. [mm]	B [mm]	Počet pásnic	S [mm ²]
Horní plech	12	330	1	3 960
Spodní plech	35	400	1	14 000
Bočnice	10	653	2	6 530
Šířka pro kolo kladkostroje	60			

PARAMETRY		
Rozpětí jeřábu	12	m
Nosnost	16 000	kg
Hmotnost kladkostroje	1 393	kg
Hmotnost jeřábu (plechů)	2 922,08	kg
hmotnost 1 m jeřábu	243,51	kg/m

OHYBOVÉ MOMENTY	
hmotnost mostu + jeř. kočka:	$q_{HEB} = 2\,435 \text{ N/m}$
	$F_{jk} = 13\,930 \text{ N}$
	Započítání součinitelů:
	$M_{0maxHEB} = 43\,831 \text{ Nm} \rightarrow 53\,035,82 \text{ Nm}$
	$M_{0maxjk} = 41\,790 \text{ Nm} \rightarrow 50\,565,90 \text{ Nm}$
	SOUČET OHYBOVÝCH MOMENTŮ: $M_{0max} = 103\,601,72 \text{ Nm}$

LOKÁLNÍ NAPĚTÍ PÁSNIČE	
lambda $\lambda =$	0,383
Největší zatížení kola $F =$	68 173,83 N
$\alpha_x =$	1,660
$\sigma_{hp} =$	92,39 MPa

břemeno:	$F_{bf} = 160\,000 \text{ N}$
	Započítání součinitelů:
	$M_{0maxbf} = 480\,000 \text{ Nm} \rightarrow 767\,520 \text{ Nm}$
	OHYBOVÝ MOMENT: $M_{0max} = 767\,520 \text{ Nm}$

DOVOLENÉ HODNOTY NAPĚTÍ JAKOSTÍ MATERIÁLŮ 11 373 A 11 523		
11 373	\rightarrow	204 MPa
11 523	\rightarrow	309 MPa

PRŮHYBY	
Od vlastní hmotnosti nosníku	1,45 mm
Od hmotnosti břemene	12,67 mm
Od hmotnosti jeřábové kočky	1,10 mm
Výsledný průhyb	15,22 mm
	< Dovolený průhyb 24 VYHOVUJE

POROVNÁNÍ HODNOT MAXIMÁLNÍCH NAPĚTÍ S HODNOTOU DOVOLENÉHO NAPĚTÍ				
$\sigma_1 =$	181,56 MPa	\leq	204 MPa	VYHOVUJE
$\sigma_2 =$	192,44 MPa	\leq	204 MPa	VYHOVUJE

Příloha L - Výpočty MJ 16t - 20 m - svař. most

NÁVRH MOSTU

PLECHY	tl. [mm]	B [mm]	Počet pásnic	S [mm ²]
Horní plech	20	330	1	6 600
Spodní plech	40	400	1	16 000
Bočnice	20	750	2	15 000
Šířka pro kolo kladkostroje	60			

PARAMETRY

Rozpětí jeřábu	20	m
Nosnost	16 000	kg
Hmotnost kladkostroje	1 393	kg
Hmotnost jeřábu (plechů)	8 258,20	kg
hmotnost 1 m jeřábu	412,91	kg/m

OHYBOVÉ MOMENTY

hmotnost mostu + jeř. kočka:	$q_{HEB} =$	4 129	N/m	
	$F_{jk} =$	13 930	N	
	Započítání součinitelů:			
	$M_{omaxHEB} =$	206 455	Nm	→ 249 810,55 Nm
	$M_{omaxjk} =$	69 650	Nm	→ 84 276,50 Nm
	SOUČET OHYBOVÝCH MOMENTŮ: M_{omax} 334 087,05 Nm			

LOKÁLNÍ NAPĚTÍ PÁSNIČE

lambda	$\lambda =$	0,383
Největší zatížení kola	$F =$	68 173,83 N
$\alpha_x =$	1,660	
$\sigma_{hp} =$	70,73	MPa

břemeno:

	$F_{bz} =$	160 000	N	
	Započítání součinitelů:			
	$M_{omaxbz} =$	800 000	Nm	→ 1 279 200 Nm
	OHYBOVÝ MOMENT: M_{omax} 1 279 200 Nm			

DOVOLENÉ HODNOTY NAPĚTÍ JAKOSTÍ MATERIÁLŮ 11 373 A 11 523

11 373 → 204 MPa
11 523 → 309 MPa

PRŮHYBY

Od vlastní hmotnosti nosníku	8,88	mm	
Od hmotnosti břemene	27,53	mm	
Od hmotnosti jeřábové kočky	2,40	mm	
Výsledný průhyb	38,81	mm	< 40 VYHOVUJE

POROVNÁNÍ HODNOT MAXIMÁLNÍCH NAPĚTÍ S HODNOTOU DOVOLENÉHO NAPĚTÍ

$\sigma_1 =$	163,31	MPa	≤	204	MPa	VYHOVUJE
$\sigma_2 =$	190,78	MPa	≤	204	MPa	VYHOVUJE