VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

K PROBLEMATICE EFEKTIVNÍHO A SPOLEHLIVÉHO NAVRHOVÁNÍ NOSNÉ KONSTRUKCE JEŘÁBOVÝCH DRAH

TO PROBLEMS OF EFFECTIVE AND RELIABLE DESIGN OF CRANE RUNWAY BEAMS

TEZE DOKTORSKÉ PRÁCE
DOCTORAL THESIS SUMMARY

AUTOR PRÁCE ING. JINDŘIŠKA KOČAŘOVÁ
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE PROF. ING. JINDŘICH MELCHER, DrSc.
SUPERVISOR

BRNO 2013

© 2013 Jindřiška Kočařová

Originál disertační práce je uložen v archivu PVO
Fakulty stavební Vysokého učení technického v Brně

ABSTRAKT

Předmětem disertační práce jsou dnes v praxi nejčastěji navrhované nosníky jeřábových drah (JD) z válcovaných tyčí tvaru HEA a stále častěji staticky řešené jako spojité nosníky o 2 a více polích. Jde o studii skutečného namáhání v průřezu nosníků JD zaměřenou na lokální namáhání ve stojině průřezu v důsledku excentrického působení kolového zatížení a na problematiku napjatosti nad střední podporou spojitých nosníků JD.

Úvodní část je věnovaná shrnutí problematiky konstrukcí JD a současného stavu řešení napjatosti v průřezu nosníků JD. V další části práce jsou provedeny parametrické studie návrhu nosníků JD v závislosti na statickém řešení nosníků, rozpětí jeřábu, rozvoru jeřábu a použité konstrukční oceli. Následující část se věnuje studii napjatosti v místě střední podpory spojitého nosníku na konkrétním realizovaném případu JD. Poslední část je věnovaná experimentálnímu ověření působení na stojině průřezu spojitého nosníku JD v místě střední podpory. Závěrečná část shrnuje výsledky a popisuje závěry provedené studie.

ABSTRACT

Recently the most often used crane runway beams designed from rolled HEA sections as multi-span beams is the topic of this doctoral thesis. It deals with the study of real stress in the cross section focused on local stress analysis in the web of cross section due to eccentricities of wheal load and on the problems of stress analysis above the middle support of multi-span beams.

First, the outline of crane supporting structures, currently used methods of implementation and available stress analysis methods are summarized. Than two parametrical studies of crane runway beam design depending on statical determination of the beam, crane span, crane wheelbase and chosen quality of structural steel are presented. Following part of thesis contains the stress analysis of crane runway two-span beam in its continuous part above the middle support on implemented crane supporting structure. Experiment of crane runway two-span beams actions above the middle support are described in the last part of the thesis. Closing part of thesis summarizes results.

KLÍČOVÁ SLOVA

Jeřábová dráha, mostový jeřáb, nosník jeřábové dráhy, kolejnice, excentrické působení kolového zatížení, lokální namáhání ve stojině průřezu, spojitý nosník o 2 polích.

KEYWORDS

Crane supporting structures, overhead travelling crane, crane runway beam, crane rail, eccentric action of wheal load, local stress in the web of the cross section, two-span beam.

OBSAH

1. ÚVOD 4
2. SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY 5
2.1 JEŘÁBOVÉ DRÁHY (JD) 5
2.2 PORUCHY A HAVÁRIE NA KONSTRUKCÍCH JD 6
2.3 NAVRHOVÁNÍ NOSNÍKŮ JD V SOUČASNÉ PRAXI 7
2.4 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÍ NAPJATOSTI NA NOSNÍKU JD 8
3. CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE 10
4. PARAMETRICKÁ STUDIE PRO PROSTÝ NOSNÍK JD 11
5. PARAMETRICKÁ STUDIE V ZÁVISLOSTI NA STAT.ŘEŠENÍ NOSNÍKU JD..... 14
6. STUDIE NAPJATOSTI NAD STŘEDNÍ PODPOROU SPOJ.NOSNÍKU JD 16
7.1 REALIZOVANÝ PŘÍPAD NOSNÍKU JD 16
7.2 ANALÝZA NAPĚTÍ NAD STŘEDNÍ PODPOROU SPOJITÉHO NOSNÍKU JD 16
7.3 VÝSLEDKY ANALÝZY PŮSOBENÍ NAD STŘEDNÍ PODPOROU 17
7.3.1 Vyhodnocení deformací 17
7.3.2 Vyhodnocení napětí 19
7.4 ZÁVĚRY STUDIE NAPJATOSTI NAD STŘEDNÍ PODPOROU 21
7. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST..... 22
7.1 PŘÍPRAVA EXPERIMENTU 22
7.1.1 ZKUŠEBNÍ TĚLESO – POPIS 22
7.1.2 KONSTRUKCE PRO ULOŽENÍ ZKUŠEBNÍHO TĚLESA..... 22
7.1.3 APLIKACE ZATĚŽOVACÍ SÍLY..... 25
7.2 VLASTNÍ REALIZACE EXPERIMENTU 25
7.2.1 POPIS EXPERIMENTU 25
7.2.2 EXPERIMENTÁLNÍ SESTAVA 25
7.2.3 MĚŘENÉ VELIČINY 26
7.3 ANALYTICKÝ MODEL 27
7.4 VÝSLEDKY A VYHODNOCENÍ PRÁCE 27
7.4.1 LOKÁLNÍ SVISLÉ NAPĚTÍ VE SPODNÍCH VLÁKN.STOJINY PRŮŘEZU..... 28
7.4.2 DEFORMACE U_Y STOJINY PRŮŘEZU 29
7.4.3 SHRNUTÍ VÝSLEDKŮ EXPERIMENTÁLNÍ ČÁSTI..... 30
8. ZÁVĚR..... 31

LITERATURA..... 32

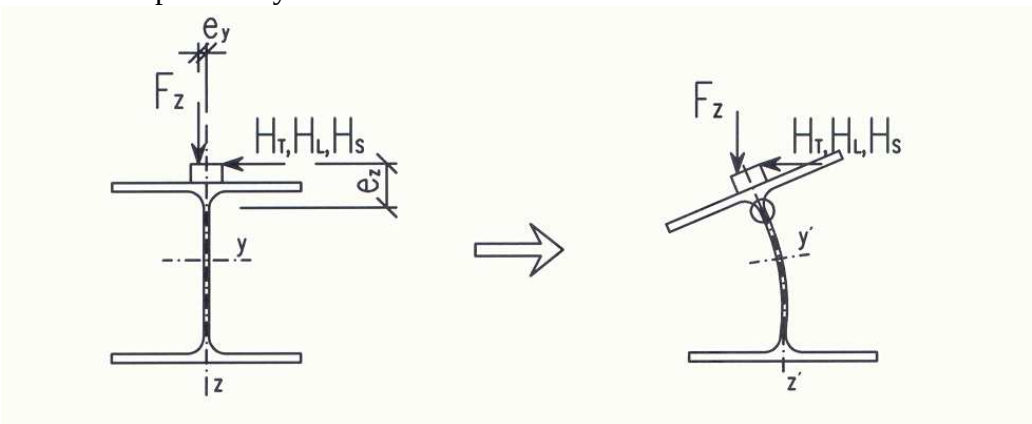
1 ÚVOD

V této práci je představena problematika navrhování hlavních nosníků ocelových jeřábových drah (JD) pro provoz mostových jeřábů osazených shora na nosníky JD. Zaměřena je na nosníky JD řešené ocelovým válcovaným profilem HEA bez vodorovného výztužného nosníku.

Způsoby návrhu a konstrukčního řešení se vyvíjely postupem času a to v závislosti na dosažené technické úrovni zdvihacích zařízení, požadavcích na konstrukci, znalostech napjatosti na ocelových nosnících, dostupných konstrukčních materiálech a způsobech jejich spojování.

V současné praxi dochází ke změnám v přístupech při samotné realizaci nosných konstrukcí JD z řady důvodů jako jsou časové, montážní, finanční apod. Z hlediska statického posudku vedou k navrhování průřezu nosníků JD z válcovaných širokopřírubových H-profilů a volbě statického systému spojitých nosníků o 2 a více polích oproti v minulosti používaných prostých nosníků. K tomu je vyvíjen tlak na co nejjednodušší konstrukční řešení nosníku v místě jejich uložení na další nosnou konstrukci JD (sloupy, konzoly). Vzhledem k aktuálním cenám na trhu se nabízí také možnost využití konstrukční oceli vyšší jakosti.

Posuzování nosníku JD je problematika velmi složitá, má řadu specifik vyplývajících ze způsobu jeho zatěžování. Nosník je přímo pojížděný pojezdovým kolem jeřábu a z toho plyne potřeba věnovat pozornost také lokálním namáháním v průřezu pod kolem jeřábu a výraznému vlivu excenticit namáhání, viz. obrázek č.1.1. Při posuzování pevnosti a poškození únavou je nutné brát v úvahu tedy jak globální působení na nosnících těchto konstrukcí, tak i lokální účinky zejména na stojinu průřezu hlavního nosníku JD. Podklady a technické předpisy pro návrh těchto konstrukcí nejsou v tomto ohledu doposud zcela dopracovány.



Obrázek 1.1 - Ohyb horní pásnice a stojiny průřezu v důsledku excentricit kolového zatížení.

Předmětem této práce je studie, zda současné tendence návrhu a realizace jeřábových drah v praxi jsou opodstatněné a jaký mají vliv na samotnou analýzu napětí na nosníku JD. Pro vyhodnocení vhodnosti současných přístupů je nutné provést parametrické studie návrhu nosníku JD v závislosti na statickém řešení nosníku jako prostého nebo spojitého o 2 polích a v závislosti na použité konstrukční oceli.

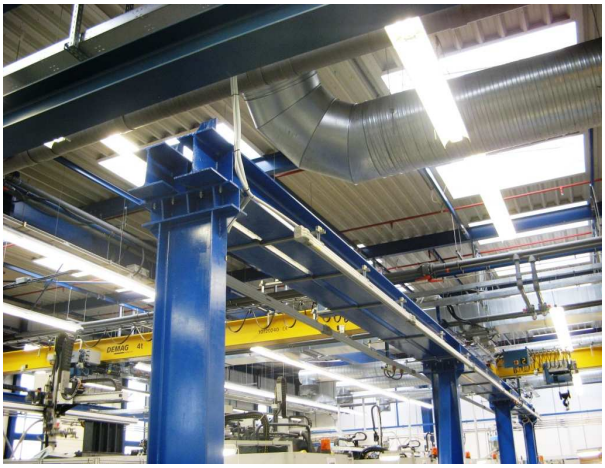
Záměrem práce dále je se podrobněji věnovat problematice navrhování spojitého nosníku JD o 2 polích se zaměřením na chování průřezu v místě nad střední podporou v závislosti na zvoleném konstrukčním řešení a problematice lokálního namáhání stojiny průřezu od excentrického kolového zatížení. Pro tuto studii bude vybrán v praxi realizovaný případ konstrukce jeřábové dráhy. Pro zjištění působení v průřezu v místě nad střední podporou spojitého nosníku bude použito numerické modelování a experimentální ověření.

2 SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY

2.1 JEŘÁBOVÉ DRÁHY (JD)

Pod pojmem *jeřábová dráha (JD)* se rozumí celá nosná konstrukce potřebná pro umístění a bezpečný provoz mostových jeřábů osazených na nosníky jeřábové dráhy. Příklady jeřábových drah jsou uvedeny na obrázcích č.2.1, 2.2, 2.3 a 2.4 (realizované projekty doktorandky).

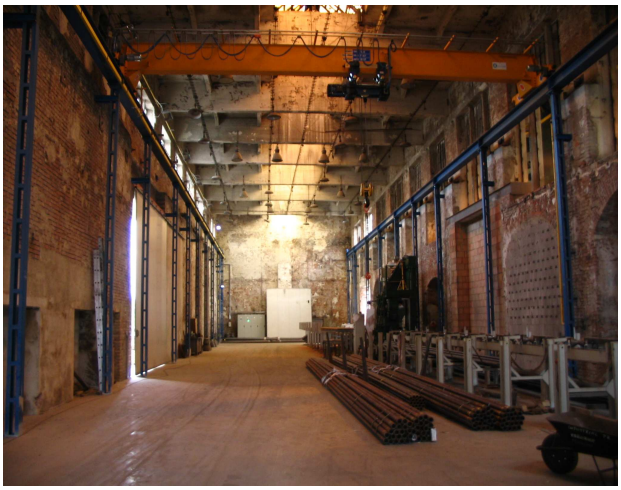
Stěžejním prvkem návrhu jeřábové dráhy je samotný pojížděný *hlavní nosník jeřábové dráhy*. Jeho návrh má řadu specifik, se kterými se u jiných typů ocelových konstrukcí nesetkáme. Součástí návrhu jeřábové dráhy je i návrh tzv. *příslušenství jeřábové dráhy*, to je jeřábové kolejnice, připojovacích prvků kolejnice, nárazníku a ložisek. Přes ložiska jsou nosníky uloženy na další nosnou konstrukci jeřábové dráhy, která je navržena dle zadané situace. Jde zejména o sloupy nebo konzoly, brzdné ztužení a založení.



Obrázek 2.1 - Jeřábová dráha pro jeřáby Demag EPKE 4,0t, Kuřim.

Obrázek 2.2 - Jeřábová dráha pro jeřáb Demag ZKKE 25t, Mohelnice.

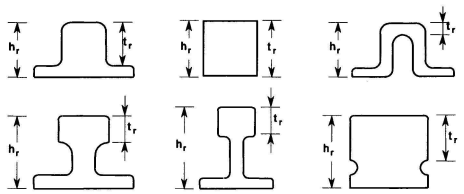
Obrázek 2.3 - Typová hala HARD PJ-18-8,7, jeřábová dráha pro jeřáb Hopax 12,5t, Blansko.



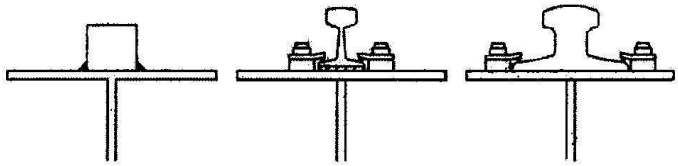
Obrázek 2.4 - Jeřábová dráha pro jeřáb BONFANTI 12,5t, Brno - Židenice.

Pojezdové kola jeřábu pojíždí po kolejnici (obrázek 2.5), která je uchycena k hlavnímu průřezu nosníku (obrázky 2.7 a 2.8). Kolejnice může být připojena k horní pásnici průřezu dvěma

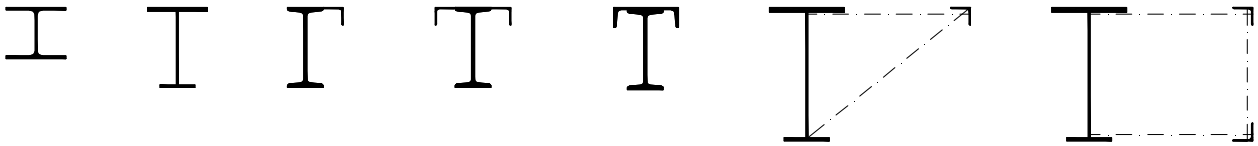
konstrukčními systémy – posuvným a neposuvným (obrázek 2.6). Nosník je pak uložený pomocí ložisek splňujících požadavky na rektifikaci na další nosnou konstrukci JD.



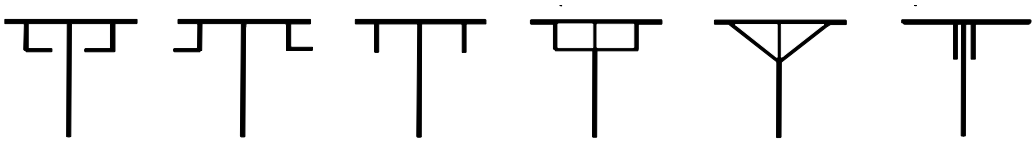
Obrázek 2.5 - Příklady nejběžněji používaných průřezů kolejnic.



Obrázek 2.6 - Způsoby připojení kolejnice k horní pásnici.



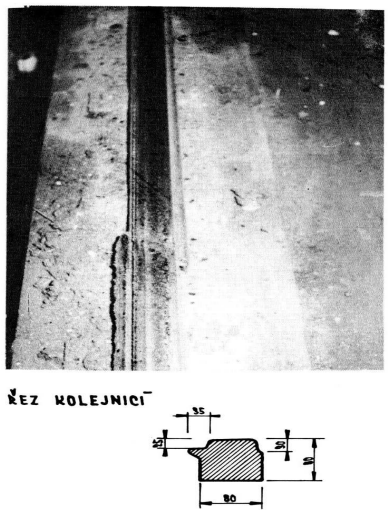
Obrázek 2.7 - Příklady průřezů nosníků JD bez kolejnic.



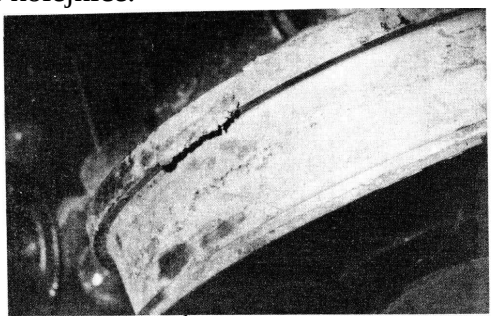
Obrázek 2.8 - Příklady řešení zesílení horních pásů průřezu.

2.2 PORUCHY A HAVÁRIE NA KONSTRUKCÍCH JD

Při studiu problematiky ocelových jeřábových drah a jejich výzkumu je podnětné se zabývat závadami, poruchami a nehodami na těchto konstrukcích. Problematika poruch a havárií konstrukcí jeřábových je zpracovaná například v literatuře [4]. Závady vedou ke *zhoršení plynulosti* a opakovaným poruchám při pojezdu jeřábu, ke sjetí kolejnice (obrázek 2.9) a sjetí nákolků pojezdových kol jeřábů (obrázek 2.10).



← Obrázek 2.9 - Rozježděný styk kolejnice a sjetí původně čtvercové kolejnice.

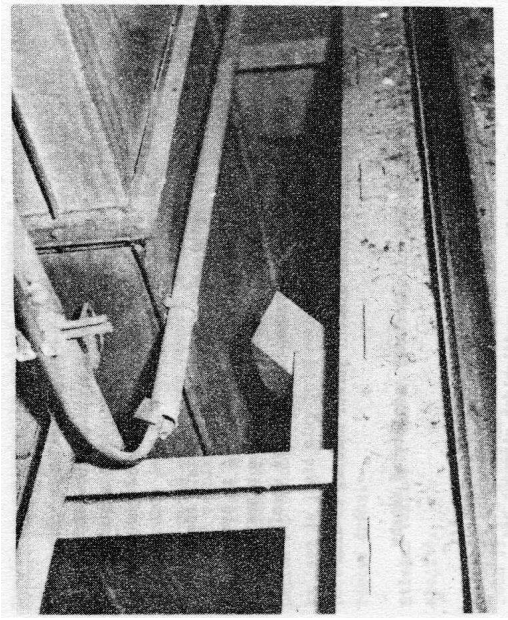


↑ Obrázek 2.10 - Sjetý nákolek kola mostového jeřábu.

Závady a příčiny závad mohou vzniknout ve fázi projektu, ve fázi zpracování výrobní dokumentace nebo výroby, ve fázi montáže a provozu. Významnou roli hraje geometrie nosníků JD, odchylky od správné geometrie vznikají šavlovitosti nosníků, excentrickým uložením kolejnice na hlavní průřez nosníku, špatnou technologii svařování apod. Příklady z praxe dalších možných příčin závad jsou nesprávně provedené kotvení sloupu JD ve fázi montáže (obrázek 2.13), neodborné zásahy do hlavního průřezu nosníku JD jako vypálení části L-profilu horního pásu průřezu nosníku (obrázek

2.11), vypálení diagonály vodorovného výztužného nosníku JD (obrázek 2.12), zdemontování prvků podélného ztužidla haly a prutů zajišťující vzpěrné délky hlavních sloupů haly (obrázek 2.14).

Obrázek 2.11 - Vypálený úhelník hlavního průřezu nosníku jeřábové dráhy uprostřed pole.



Obrázek 2.12 - Vypálená diagonála vodorovného nosníku jeřábové dráhy.

→

Všechny výše uvedené závady také ovlivňují celkovou tuhost nosné konstrukce jeřábových drah, vznikají pak nepřípustné deformace a zhoršuje se plynulost pojezdu jeřábu. V případě neodborné demontáže ztužujících a stabilizačních prvků nosné konstrukce pak hrozí havarijní stavy.

Obrázek 2.13 - Neprovedení kotvení v patě sloupu JD.

Obrázek 2.14 - Demontovány prvky podélného ztužidla haly a jeřábové dráhy a pruty zajišťující vzpěrné délky hlavních sloupů haly.

2.3 NAVRHOVÁNÍ NOSNÍKU JD V SOUČASNÉ PRAXI

Návrhem, výrobou a dodáváním konstrukcí ocelových jeřábových drah se dnes zabývá mnoho firem nejrůznějších velikostí a odborných způsobilostí. V současné praxi je velký tlak na ekonomický návrh konstrukce, maximální jednoduchost výroby a jednoduchost montáže konstrukce tak, aby vše směřováno k co nejnižším pořizovacím nákladům na materiál, nákladům spojeným s výrobou nosníků JD a samotnou montáží konstrukce JD.

V posledních letech se pro návrh nosníků JD začal využívat sortiment válcovaných profilů H, zejména profily HEA a HEB, jejichž parametry umožňují rychlý návrh průřezu bez vodorovného

výztužného nosníku. Výroba nosníků je pak podstatně jednodušší a ukazuje se, že celkové náklady se sníží. Pro návrh nosníků JD jsou standardně používány válcované H-profilů z konstrukční oceli S235, zřídka pak z konstrukční oceli S355.

Staticky se v posledních letech stále častěji přistupuje k návrhu a realizaci nosníků jako spojitých o 2 a více polích oproti v minulosti používaným prostým nosníkům, což umožňuje návrh menšího průřezu. U spojitých nosníků o více polích je průřez nosníku nad podporami průběžný a montážní spoj nosníků se realizuje jako momentový šroubový spoj ve staticky výhodném místě v poli nosníků.

Současný tlak na zjednodušení výroby a montáže jeřábových drah vede také k podstatně jednodušším konstrukčním řešením ložisek nosníků JD. Není věnovaná taková pozornost, aby nosník JD byl v ložisku uložen a kotven ve svislém i vodorovném směru tak, aby pokud možno nedocházelo k žádnému přídavnému namáhání lokálním ohybem nebo kroucením a to jak průřezu nosníku JD, tak další nosné konstrukce. V praxi se navíc prosazuje provedení ložisek nosníků bez bočního kotvení horní pásnice průřezu k dalším nosných konstrukcím a to nejčastěji pro řadu H-profilů do velikosti HEA 300 a HEB 300.

2.4 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÍ NAPJATOSTI NA NOSNÍKU JD

Posuzování nosníků jeřábových drah navržených z válcovaných I-profilů a H-profilů je shrnut v tabulce č.1.

Základním krokem při návrhu nosníku jeřábové dráhy je stanovení únosnosti průřezu na ohyb k oběma hlavním osám průřezu včetně vlivu klopení, stanovení únosnosti průřezu na prosté a vázané kroucení od globálních účinků zatížení a posouzení na smyk od globálních účinků zatížení.

$$\sigma_{x.Ed} = \frac{N_{Ed}}{\chi_y.A} + k_{yy}\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT}.W_{el,y}} + C_{mz}\frac{M_{z,Ed}}{W_{el,z}} + \frac{k_w k_{zw} k_\alpha B_{Ed} w}{I_w} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M1}} \tag{2.01}$$

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}.S}{I.t} \leq \frac{f_y}{\sqrt{3}.\gamma_{M0}} \tag{2.02}$$

Významným místem návrhu nosníku JD je ověření únosnosti stojiny průřezu a řešení napjatosti v nejvíce namáhaném místě stojiny. Problematika se rozděluje na řešení rovinné napjatosti ve stojině zatížené centrickou silou od kola jeřábu a řešení lokálního příčného ohybu vznikajícího kroucením horního pásu od mimostředného zatížení. V případě centrického lokálního namáhání stojiny jsou dnešní postupy dostatečné a prověřené.

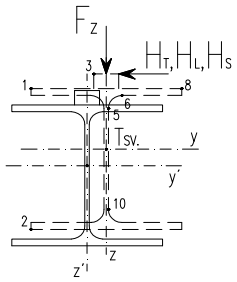
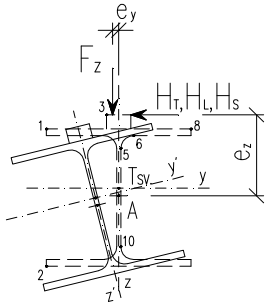
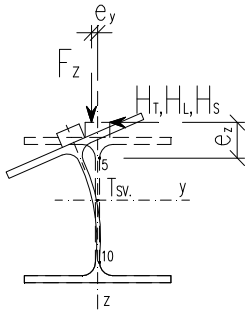
$$\sigma_{loc,z} = \sigma_{oz,Ed} = \frac{F_{z,Ed}}{l_{eff} t_w} \tag{2.03}$$

$$\sigma_{loc,x} = \nu.\sigma_{loc,z} \tag{2.04}$$

$$\tau_{loc,xz} = \tau_{oxz,Ed} = 0{,}2.\sigma_{oz,Ed} \tag{2.05}$$

Problematika lokálního příčného ohybu stojiny od excentrického zatížení a její řešení je složitější (obrázek 2.15 a 2.16). Získané výpočtové vztahy (například výpočtové vztahy 2.06, 2.08, 2.09) se velmi liší. Odlišný je přístup k výpočtu kroutícího momentu způsobujícího lokální ohyb stojiny průřezu. Dále ve všech dostupných výpočtových vztazích je výpočet lokálního ohybového napětí závislý na hodnotě vzdálenosti příčných výztuh stojiny *a*, což nelze aplikovat u nosníků JD navržených z válcovaných tyčí tvaru I a H. Navíc všechny dostupné vztahy byly odvozeny pro případ

namáhání v poli prostého nosníku, nikoliv pro případ namáhání stojiny v řezu nad střední podporou spojitého nosníku.

GLOBÁLNÍ ÚČINKY	**PROSTOROVÝ OHYB**	pro ***n*** jeřábů pro ***celý*** průřez $\sigma_{x,i} = f(F_z, H_T, H_L, H_S) \le \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$ $\tau_{xz,i} = f(F_z, H_T, H_L, H_S) \le \frac{f_y}{\sqrt{3}.\gamma_{M0}}$ $F_z(=Q_r), H_T, H_L, H_S$ … zatěžovací síly jeřábu	
	VÁZANÉ KROUCENÍ	pro ***n*** jeřábů pro ***celý*** průřez $\sigma_{x,i} + \sigma_{\omega,i} = f(F_z, H_T, H_L, H_S, e) \le \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$ $\tau_{xz,i} + \tau_{t,i} + \tau_{\omega,i} = f(F_z, H_T, H_L, H_S, e) \le \frac{f_y}{\sqrt{3}.\gamma_{M0}}$	
LOKÁLNÍ ÚČINKY		pro ***n*** jeřábů pro ***horní část stojiny*** průřezu $\sigma_{eq,i} = f(\sigma_{x,i}, \sigma_{ox,i}, \sigma_{oz,i}, \sigma_{T,i}, \tau_{xz,i}, \tau_{\omega,i}, \tau_{oxz,i}, f_y, \gamma_{M1})$ $\sigma_{eq,i} \le 1$	
ÚNAVA		pro ***n*** jeřábů pro ***celý*** průřez $\sigma_{E2,i} = f(F_z)\ \tau_{E2,i} = f(F_z)$ $D_{d,i} = f(\Delta\sigma_{E2,i}, \Delta\tau_{E2,i}, \Delta\sigma_{C,i}, \Delta\tau_{C,i}, \gamma_{Mf}) \le 1$ pro ***horní část stojiny*** průřezu $D_{d,i} = f(\Delta\sigma_{eq,E2,i}, \Delta\sigma_{C,i}, \gamma_{Mf}) \le 1$	

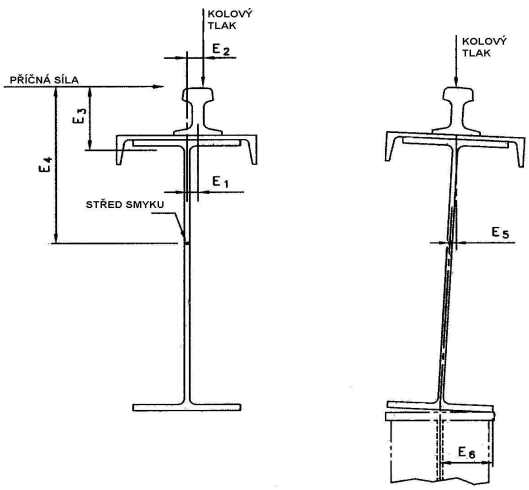
Tabulka č.1: Posuzování nosníků jeřábových drah navržených z I-profilů.

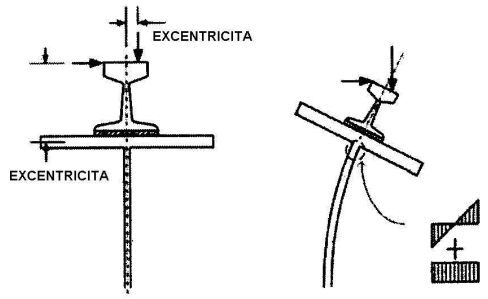
ČSN EN 1993-6: $\sigma_{T,Ed} = \frac{6.T_{Ed}}{a.t_w^2}\eta\tanh(\eta)$, kde $\eta = \left[\frac{0{,}75.a.t_w^3}{I_t}.\frac{\sinh^2(\pi.\frac{h_w}{a})}{\sinh(2\pi\frac{h_w}{a}) - 2\pi\frac{h_w}{a}}\right]^{0,5}$ (2.06)

a kroutící moment $T_{Ed} = F_{z,Ed}.e_y$; (2.07)

E.A.Mitjugov: $\sigma_{fz} = \frac{M_t.t_w.a}{0{,}7 I_t h_w}$, (2.08)

СНиП II-23-90: $\sigma_{fz} = \dfrac{2.M_t.t_w}{I_t}$, kde $M_t = F_{z,Ed} \cdot e_y + 0{,}75.Q_t.h_r$. (2.09)





Obrázek 2.15 - Ohyb horní pásnice a stojiny v důsledku excentricit.

←

Obrázek 2.16 - Typy excentricit zatížení na nosnících jeřábových drah.

3 CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

V úvodní části práce je popsaná problematika konstrukcí JD pro provoz mostových jeřábů a shrnut současný stav navrhování ocelových nosníků JD řešených ocelovým válcovaným I nebo H profilem bez vodorovného výztužného nosníku. Záměrem předkládané disertační práce je stanovení vhodnosti použití nových přístupů uvedených v kapitole č.2.3, to je využití konstrukční oceli S355 a využití statického řešení spojitých nosníků při návrhu. Dalším cílem práce je věnovat se podrobněji problematice navrhování spojitých nosníků JD se zaměřením na lokální namáhání stojiny průřezu od excentrického kolového zatížení a působení v průřezu v místě nad střední podporou spojitých nosníků o 2 polích v závislosti na konstrukčním řešení nosníku nad podporou.

Postup této disertační práce je:

1. Shrnutí současných poznatků a podrobná studie stavu možných řešení napjatosti na nosnících JD.
2. Parametrická studie návrhu válcovaného HEA profilu pro nosník JD v závislosti na použité konstrukční oceli S235 nebo S355.
3. Parametrická studie návrhu válcovaného HEA profilu pro nosník JD v závislosti na zvoleném statickém řešení nosníku JD jako prostého nebo spojitého nosníku o 2 polích.
4. Zvolení vhodné realizované konstrukce jeřábové dráhy pro studii působení v průřezu nad střední podporou spojitého nosníku JD o 2 polích.
5. Provedení analýzy napjatosti v řezu nad střední podporou na zvoleném realizovaném nosníku jeřábové dráhy analytickými výpočetními postupy dle odborné literatury a technických předpisů.
6. Numerické modelování vybraného případu výpočetním programem s cílem analýzy nejnepříznivějších účinků v řezu nad střední podporou nosníku pro základní typy konstrukčního řešení.
7. Porovnaní hodnot napětí v řezu nad střední podporou nosníku získaných analytickým výpočtem s hodnotami získanými numerickým výpočtem. Vyhodnocení numericky vypočtených deformací.
8. Provedení experimentu na spojitém nosníku JD o 2 polích k ověření působení v průřezu nad střední podporou od vodorovného příčného zatížení a jeho porovnání s hodnotami získanými z numerického výpočtu a navrženého inženýrského výpočtu.
9. Shrnutí a vyhodnocení získaných výsledků.

Cíle této disertační práce jsou:

1. Ověřit, zda je pro konstrukci prostého nosníku JD délky 6,0 m výhodné použít konstrukční ocel vyšší jakosti S355 a ve kterých případech.
2. Ověřit, zda je pro konstrukci nosníku JD délky 6,0 m výhodné zvolit statické řešení spojitého nosníku o 2 polích oproti statickému řešení nosníku jako prostého a ve kterých případech.
3. Ověřit, zda existuje skupina případů, kdy při návrhu průřezu nosníku JD rozhoduje posouzení průřezu na 1.MS v horních vláknech stojiny průřezu.
4. Analyzovat napjatost v průřezu nad střední podporou spojitého nosníku JD z numerických modelů v závislosti na konstrukčním řešení nosníku v daném místě.
5. Ověřit, zda analyticky vypočtena napjatost v řezu nad střední podporou spojitého nosníku odpovídá globální, lokální i celková napjatosti získané numerickými výpočty prostorových modelů.
6. Experimentálně ověřit lokální svislé napětí ve stojině průřezu nad střední podporou spojitého nosníku JD od vodorovného příčného zatížení kola jeřábu a porovnat naměřené hodnoty s výsledky numerického výpočtu a výsledky analytického výpočtu.

4 PARAMETRICKÁ STUDIE PRO PROSTÝ NOSNÍK JD

Standardně se staticky nosník JD řeší jako prostý nosník uložený na další nosnou konstrukci jeřábové dráhy. Vzhledem k vývoji cen na trhu bylo cílem první parametrické studie zjistit, zda a ve kterých případech je efektivní přistoupit k návrhu profilu nosníku z konstrukční oceli S355. Studie byla provedena pro jeřábovou dráhu s modulem délky L = 6,0 m pojížděnou jedním standardním elektrickým mostovým jeřábem Jako proměnné hodnoty byly uvažovány rozpětí jeřábu (označení „J“), rozvor jeřábu (označení „R“) a charakteristická hodnoty kolového tlaku jeřábu $Q_{r,max}$.

Při návrhových výpočtech bylo postupováno dle poznatků stavebné mechaniky a v souladu s platnými českými technickými předpisy. Pro zpracování velkému množství matematických operací, získaných výsledků a grafických výstupů byl použit výpočetní software Microsoft Office EXCEL.

Finanční vyhodnocení nebylo předmětem této studie, protože je závislé na mnoha ekonomických faktorech, obchodní situaci dodavatele resp. výrobce a technických parametrech jeřábové dráhy.

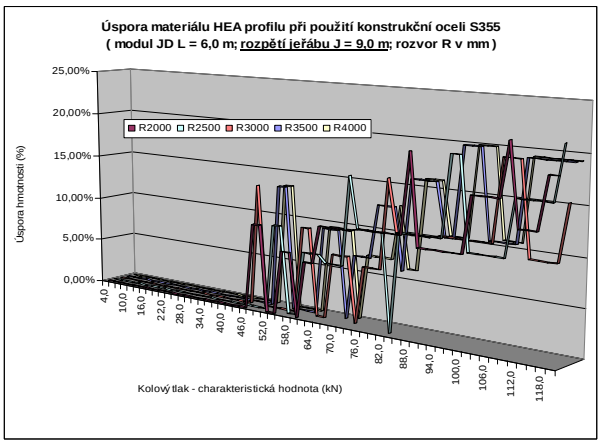
Závěry a poznatky získané vyhodnocením výsledků:

1. Neplatí vždy, že se zvětšujícím se rozvorem jeřábu R se snižuje zatížení nosníku a tím se snižuje hmotnost nosníku JD. U jeřábů s rozpětím větším, v tomto případě s rozpětím J = 18,0 m a 21,0 m, se vyskytuje řada případů, kdy pro větší rozvor vychází těžší průřez. Důvodem je větší účinek od příčné síly H_T způsobené zrychlením a zpomalením jeřábu umístěné v účinnější poloze uprostřed pole oproti umístění „dle Winklera“. Pro zpřesnění výsledků nelze postupovat při výpočtu vnitřních sil v průřezu umístěním svislých břemen dle „Winklera“, ale je potřeba najít maximální účinek pro kombinaci svislého a vodorovného zatížení.

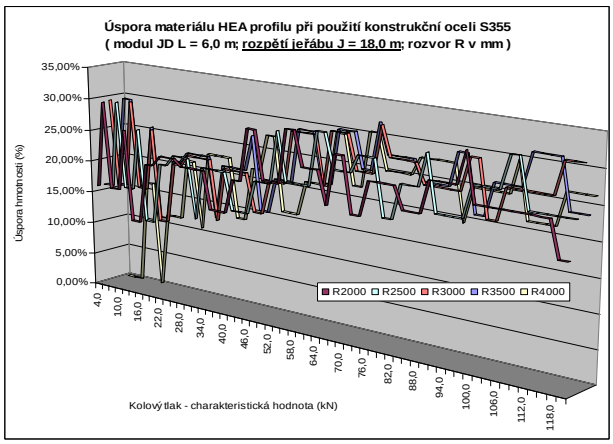
2. Použitím konstrukční oceli S355 při návrhu prostého nosníku JD může dojít v řadě případu k úspoře materiálu, která činí až 32% hmotnosti navrženého válcovaného profilu, viz.graf č.1 až č.2.

3. U případů s jeřáby o větších rozpětích (rozpětí 18,0m a více) a charakteristické hodnotě kolového tlaku vyšší než cca 78,0 kN se ukázalo, že návrh průřezu nosníku JD z válcovaného profilu HEA z konstrukční oceli S235 začíná být neefektivní (viz. graf č.3 a graf č.4). Oproti tomu použitím materiálu S355 lze tyto případy ještě řešit návrhem HEA profilu.

4. Potvrdilo se, že existuje skupina případů, ve kterých rozhoduje posouzení na 1.MS ve vláknech „5“ (horní vlákna stojiny průřezu) a to pro skupinu zatížení č.1. Vyplývá to i z grafu č.5, kde jsou zpracovány hodnoty využití navrženého průřezu pro rozpětí jeřábu 12,0 m a rozvor jeřábu 4,0 m.

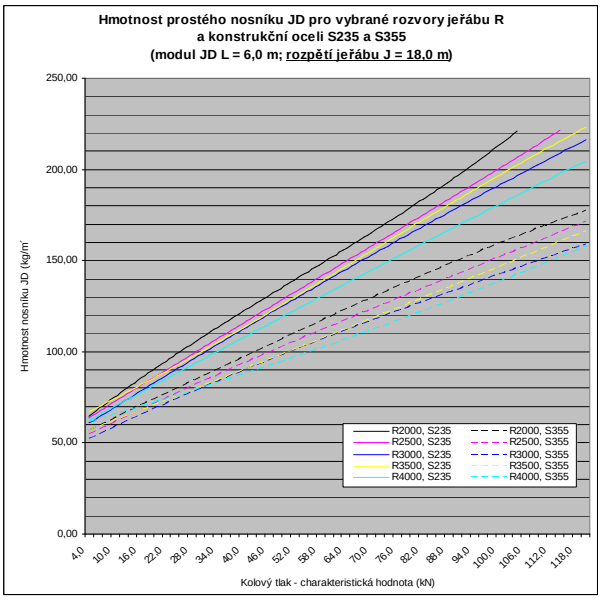


Graf 1 - Úspora materiálu při použití konstr.oceli S355 pro rozpětí jeřábu J=9,0m.

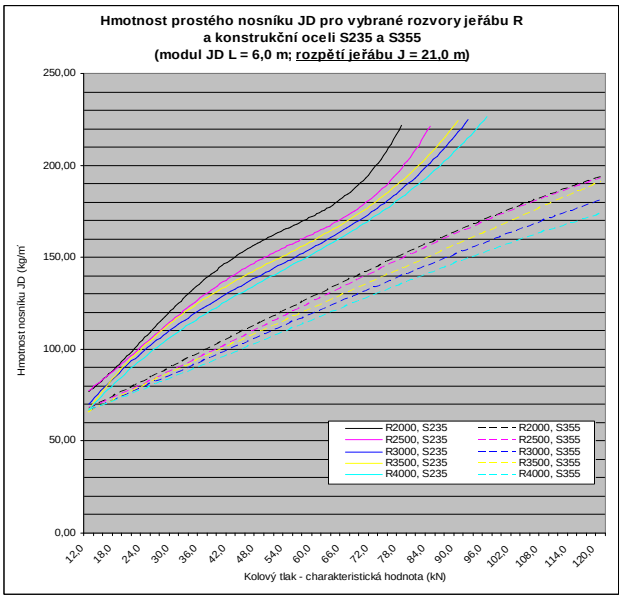


Graf 2 - Úspora materiálu při použití konstr.oceli S355 pro rozpětí jeřábu J=18,0 m.

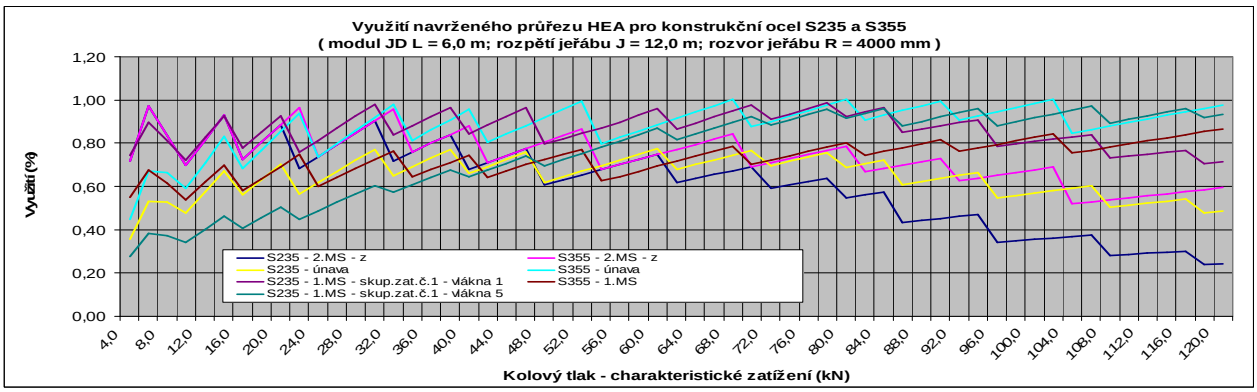
5. Použití konstrukční oceli S355 při návrhu prostého nosníku JD je efektivní v případech, kdy rozhoduje posouzení na 1.MS a poškození na únavu. Použití konstrukční oceli S355 není efektivní v případech, kdy rozhoduje posouzení na 2.MS. Grafické zobrazení rozhodujících posouzení pro rozpětí jeřábu J9, J12 a J18 v grafu č.6 znázorňují, ve kterých případech lze úsporu materiálu očekávat.



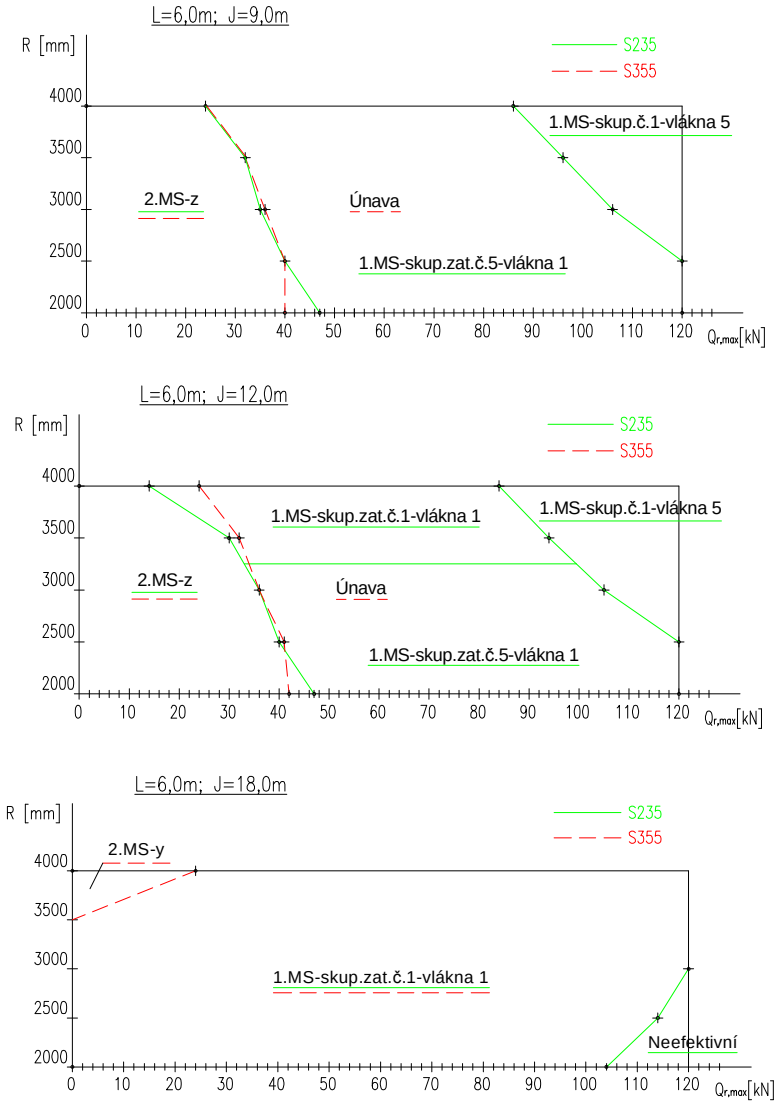
Graf 3 - Souhrnný graf hmotností prostého nosníku JD (L=6,0m) pro rozpětí jeřábu J=18,0m.



Graf 4 - Souhrnný graf hmotností prostého nosníku JD (L=6,0m) pro rozpětí jeřábu J=21,0m



Graf 5 - Využití navrženého průřezu HEA pro J12 a R4000.



Graf 6 - Rozhodující posouzení nosníku JD pro rozpětí jeřábu J=9,0m;12,0m;15,0m;18,0m a 21,0m.

5 PARAMETRICKÁ STUDIE V ZÁVISLOSTI NA STATICKÉM ŘEŠENÍ NOSNÍKU JD

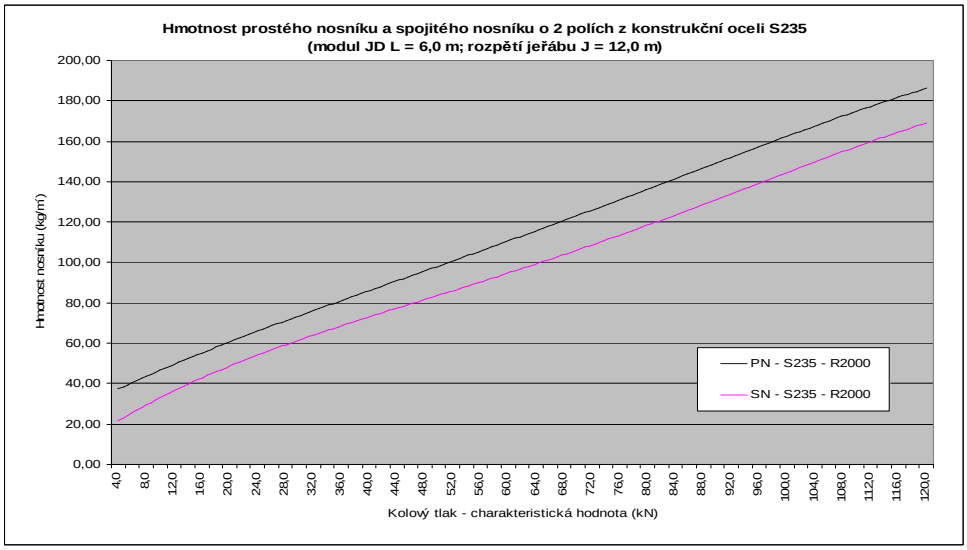
Cílem druhé parametrické studie bylo ověřit, zda a ve kterých případech je efektivní přistoupit k řešení nosníku JD z válcovaného průřezu HEA, S235 jako spojitého nosníku o 2 a více polích.

Studie byla provedena pro jeřábovou dráhu s modulem délky L = 6,0 m pojížděnou jedním standardním elektrickým mostovým jeřábem o rozpětí J = 12,0 m a rozvoru R = 2000 mm v závislosti na charakteristické hodnotě kolového tlaku jeřábu $Q_{r,max}$.

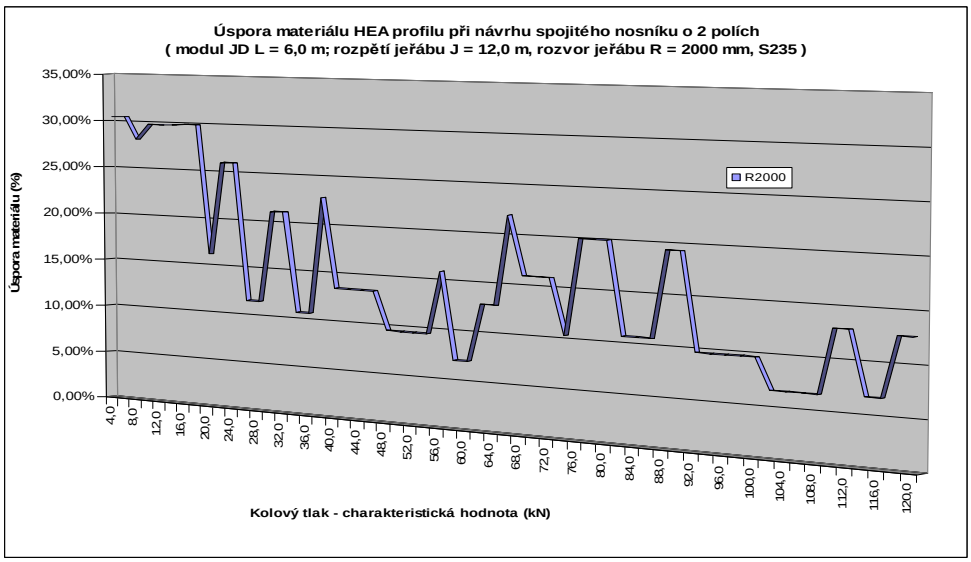
Při návrhových výpočtech prováděných ve studii bylo postupováno dle poznatků stavebné mechaniky a v souladu s platnými českými technickými předpisy. Pro zpracování matematických operací, výsledků a grafických výstupů byl použit výpočetní software Microsoft Office EXCEL 2003.

Finanční vyhodnocení nebylo předmětem této studie. Závěry a vyhodnocení výsledků:

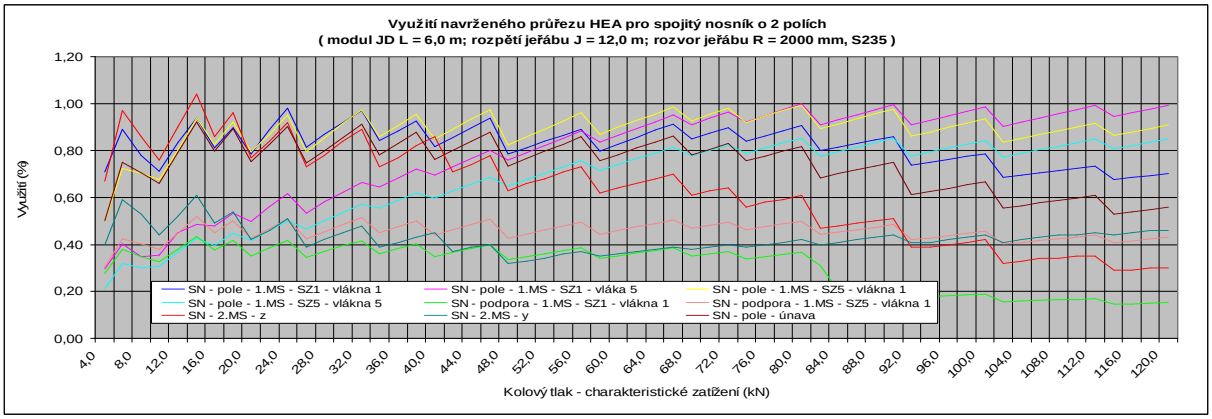
1. V případě řešení spojitého nosníku nebylo možné využít pro vyšetření nejúčinnější polohy dvojice kol jeřábu na nosníku, a to jak pro namáhání v poli tak i na podporou, kritéria břemenné nebo Winklerovo. Je nutné vyšetřit všechny polohy zatížení a vyhledat jejich umístění pro maximální účinek v poli a nad podporou.
2. Souhrn získaných výsledků parametrické studie je uveden v grafu č.7.
3. Potvrdilo se, že použitím statického řešení nosníku JD jako spojitého o 2 polích dojde při návrhu průřezu k úspoře až 30% hmotnosti materiálu, viz.graf č.8, a to ve všech případech. Větší úsporu hmotnosti materiálu lze očekávat v případech, kdy rozhoduje posudek na 2.MS (kolová zatížení v intervalu od 4,0 kN do cca 25,0 kN).
4. Ve všech případech, kdy rozhodoval návrh průřezu na únosnost, byl z hlediska průběhu vnitřních sil rozhodujícím pro návrh řez v poli nosníku. Řez nad podporou nerozhodoval.
5. Studie potvrdila, že existuje skupina případů, ve kterých rozhoduje posouzení na 1.MS ve vláknech „5“ (horní vlákna stojiny průřezu) a to pro skupinu zatížení č.1, viz. graf č.9.



Graf 7 - Souhrnný graf hmotností prostého a spojitého nosníku JD pro parametry L = 6,0 m, J = 12,0 m, R = 2000 mm, S235.



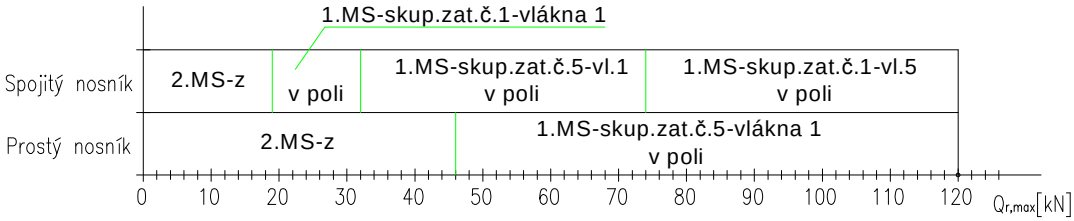
Graf 8 - Úspora materiálu při návrhu spojitého nosníku o 2 polích pro parametry L = 6,0 m, J = 12,0 m, R = 2000 mm, S235.



Graf 9 - Využití navrženého průřezu HEA, S235 pro spojitý nosník o 2 polích.

6. Použití statického systému spojitého nosníku o 2 polích je efektivní ve všech případech. Grafické zobrazení rozhodujících posouzení je provedeno v grafu č.10. Navíc umožňuje podstatně snížit deformace a výrazně posouvá návrh směrem k úspoře hmotnosti materiálu.

L=6,0m; J=12,0m; R=2000mm; S235

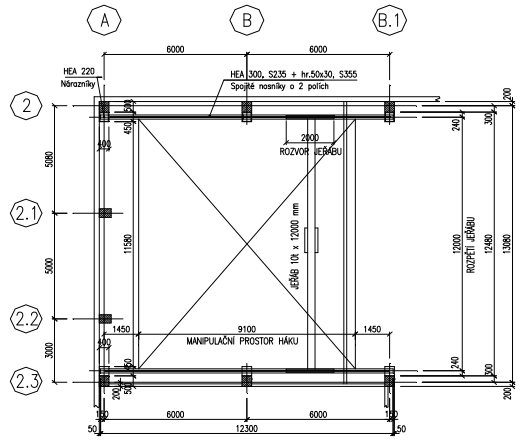


Graf 10 - Schéma rozhodujících posouzení pro L6, J12, R2000, S235.

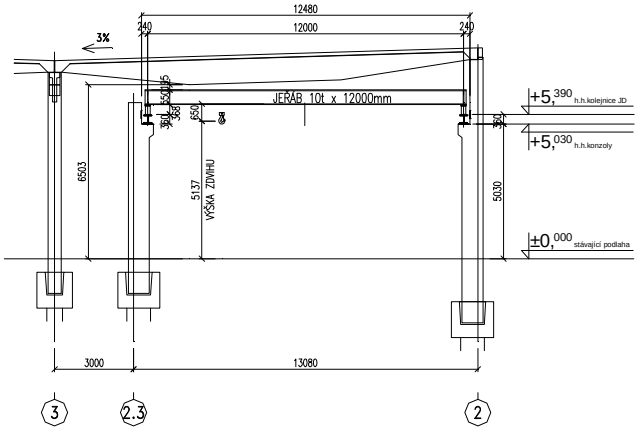
6 STUDIE NAPJATOSTI NAD STŘEDNÍ PODPOROU SPOJITÉHO NOSNÍKU JD

6.1 REALIZOVANÝ PŘÍPAD NOSNÍKU JD

Pro studii napjatosti nad střední podporou JD byl vybrán realizovaný případ spojitého nosníku o 2 polích provedený z průřezu HEA 300 z konstrukční oceli S235. Půdorys jeřábové dráhy je uveden na obrázku č.6.1 a příčný řez na obrázku č.6.2.



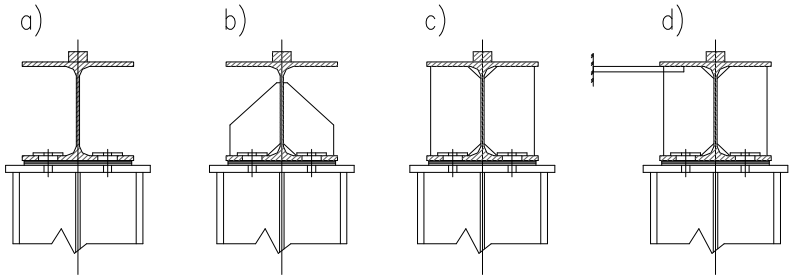
Obrázek 6.1 - Půdorys jeřábové dráhy na úrovni +5,030 m.



Obrázek 6.2 - Příčný řez jeřábové dráhy.

Variantně bylo rozhodnuto rozšířit studii o průřezy nosníku z nejbližšího menšího válcovaného profilu HEA 280 a z nejbližšího většího válcovaného profilu HEA 320, oba taktéž z konstrukční oceli S235. Jako kolejnice byl proveden hranol o rozměrech 50x30 mm z konstrukční oceli S355. Byly definovány možné způsoby konstrukčního řešení nosníku JD v řezu nad střední podporou spojitého nosníku JD (obrázek č.6.3).

Bylo popsáno uspořádání zatížení od provozovaného mostového jeřábu a excentricity působení tohoto zatížení. Byl proveden výpočet hodnot zatížení a jejich porovnání s údaji od výrobce jeřábu. Byly vyčísleny dílčí součinitele zatížení a dynamické součinitelé a stanoveno rozhodující charakteristické zatížení od jeřábu. Na základě toho mohl být provedený výpočet průběhu návrhových vnitřních sil na spojitém nosníku.



Obrázek 6.3 - Varianty konstrukčního řešení nosníku v místě střední podpory.

6.2 ANALÝZA NAPĚTÍ NAD STŘEDNÍ PODPOROU SPOJITÉHO NOSNÍKU

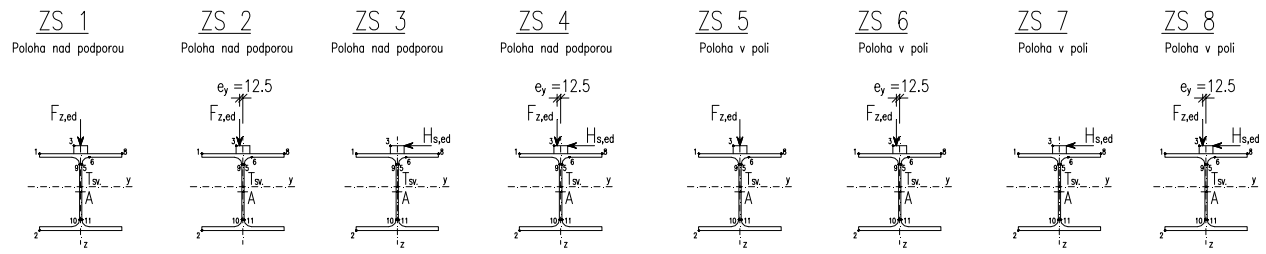
Výsledky parametrické studie ukázaly, že pro návrh a posouzení základního průřezu spojitého nosníku JD v případě analyzované jeřábové dráhy rozhoduje nejvíce namáhaný řez v poli a to při

umístění jeřábu v poli v nejúčinnější poloze. Pro návrh ložiska a konstrukčního řešení průřezu v místě uložení na střední podporu spojitého nosníku je ale zásadní posoudit vliv přímého svislého a vodorovného zatížení od kola jeřábu včetně uvažování všech excentricit působení zatížení, které mohou na konstrukci nastat. Charakteristické zatížení bylo proto umístěno na spojitý nosník tak, aby byly v řezu nad podporou vyvozeny maximální účinky lokálního napětí ve stojině a deformace průřezu nosníku.

Byly získány návrhové hodnoty napětí pro průřezy HEA 280, HEA 300 a HEA 320 analytickým výpočtem a dále byla sledována napjatost na nosníku JD prostřednictvím numerických modelů, které byly vytvořeny ve dvou výpočetních programech: ANSYS a RFEM4.

Nosníky byly modelovány jako objemové modely a pro výpočet byly zvoleny 3D konečné prvky. Použitý materiál byl charakterizován lineárním pracovním diagramem. Byly prováděny lineární výpočty I. řádu, geometricky nelineární výpočty II. řádu.

Pro cíle studie bylo definováno osm sledovaných zatěžovacích stavů, viz. obrázek č.6.4. Pro získání hodnot deformací byly zadány charakteristické hodnoty zatížení. Pro sledování hodnot napětí byly zadány návrhové hodnoty zatížení.

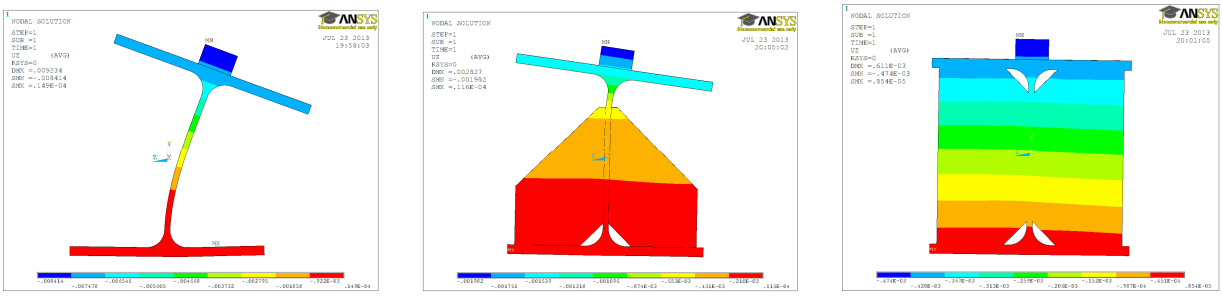


Obrázek 6.4 - Sledované zatěžovací stavy.

6.3 VÝSLEDKY ANALÝZY PŮSOBENÍ NAD STŘEDNÍ PODPOROU

6.1.1 Vyhodnocení deformací

Působení průřezu nad střední podporou spojitého nosníku JD z hlediska deformací pro sledovaná konstrukční řešení typu „a“, „b“ a „c“ je uvedeno na obrázku č.6.5.



Typ „a“ Typ „b“ Typ „c“

Obrázek 6.5 - Deformace průřezu nad střední podporou typu „a“, „b“, „c“.

- **Konstrukční řešení bez podporových výztuh – typ „a“.**

  Ansys, nelineární výpočet, 2.MS:

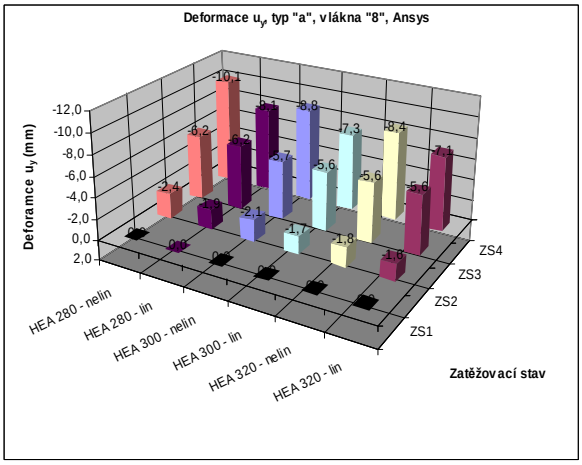
  HEA 280: $u_y = 10{,}1$ mm $\cong u_{y,mez} = L / 600 = 6000 / 600 = 10{,}0$ mm

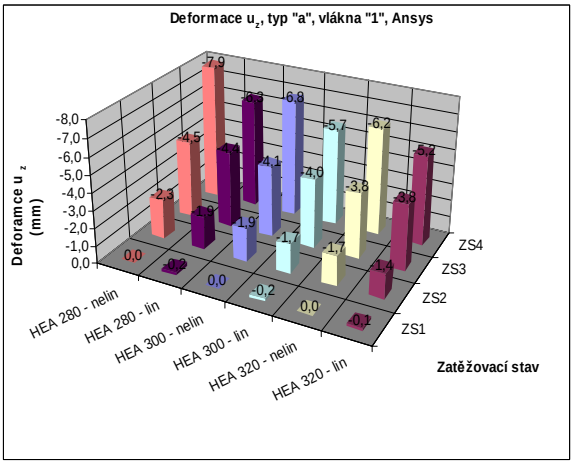
  $u_z = 7{,}9$ mm $< u_{z,mez} = L / 600 = 6000 / 600 = 10{,}0$ mm

  HEA 300 a HEA 320: $u_y < u_{y,mez}$; $u_z < u_{z,mez}$

U konstrukčního řešení podpory typu „a“ je z hlediska deformací pro návrh průřezu nosníku JD rozhodující vodorovná deformace u_y. Hodnota vodorovné deformace u průřezu HEA 280 je o 0,1 mm větší než mezní hodnota vodorovné deformace. U průřezů HEA 300 a HEA 320 jsou deformace nižší než jsou mezní hodnoty.

Výsledné hodnoty deformací lineárních i nelineárních výpočtů a vlivy jednotlivých zatěžovacích stavů jsou pro podporu typu „a“ znázorněny v grafech č.11. Na celkové vodorovné deformaci u_y se podílí vodorovná síla od příčení (ZS3) v průměru 76,5%. Na celkové svislé deformaci u_z se podílí vodorovná síla od příčení (ZS3) v průměru 71,4%. Výsledné hodnoty deformací nelineárního numerického výpočtu Ansys jsou v průměru o 21,6% (HEA 280 – 25,2%, HEA 300 – 20,8%, HEA 320 – 18,5%) vyšší než výsledné hodnoty deformace u lineárního výpočtu a to jak pro hodnoty svislé tak i vodorovné deformace.





Graf 11 - Deformace u_y, u_z, podpora typ „a“, vlákna „1“ a „8“, Ansys - srovnání hodnot lineárního a nelineárního výpočtu.

- **Konstrukční řešení s částečnými výztuhami – typ „b“.**

Ansys, nelineární výpočet, 2.MS:

HEA 280: $u_y = 2{,}0$ mm $< u_{y,mez} = L / 600 = 6000 / 600 = 10{,}0$ mm

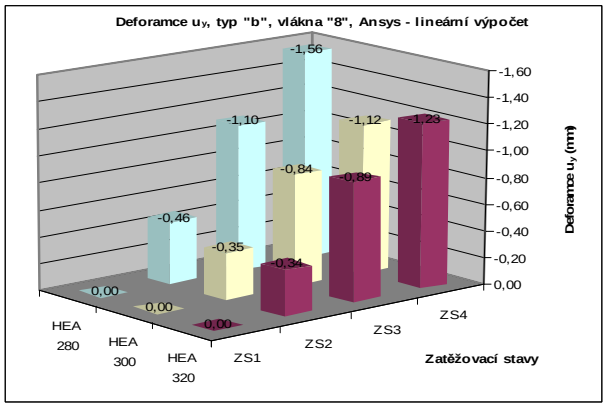
$u_z = 2{,}8$ mm $< u_{z,mez} = L / 600 = 6000 / 600 = 10{,}0$ mm

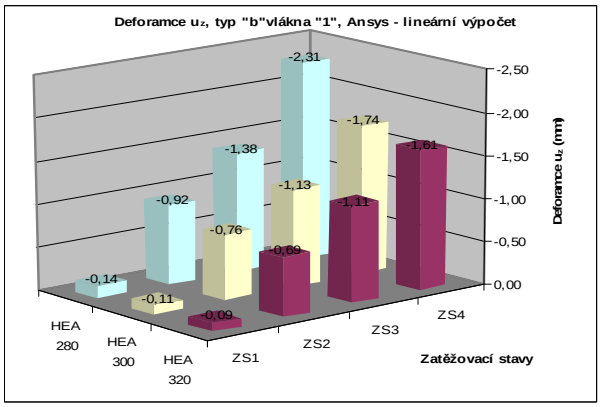
HEA 300 a HEA 320: $u_y < u_{y,mez}$; $u_z < u_{z,mez}$

U konstrukčního řešení podpory typu „b“ nejsou pro návrh průřezu nosníku JD deformace rozhodující. Hodnoty deformací u průřezů HEA 280, HEA 300 a HEA 320 jsou nižší než jsou mezní hodnoty.

Výsledné hodnoty deformací lineárních i nelineárních výpočtů a vlivy jednotlivých zatěžovacích stavů jsou pro podporu typu „b“ znázorněny v grafu č.12. Na celkové vodorovné deformaci u_y se podílí vodorovná síla od příčení (ZS3) v průměru 70,2%. Na celkové svislé deformaci u_z se podílí vodorovná síla od příčení (ZS3) v průměru 60,0%.

Výsledné hodnoty deformací nelineárního numerického výpočtu Ansys jsou u svislé deformace u_z v průměru o 22,6% (HEA 280 – 20,8%, HEA 300 – 23,6%, HEA 320 – 23,6%) vyšší a u vodorovné deformace u_y v průměru o 22,8% (HEA 280 – 29,5%, HEA 300 – 25,9%, HEA 320 – 12,9%) vyšší než výsledné deformace lineárního výpočtu.





Graf 12 - Deformace u_y, u_z, podpora typ „b“, vlákna „1“ a „8“, Ansys.

➢ **Konstrukční řešení s výztuhami na celou výšku – typ „c“.**

Ansys, nelineární výpočet, 2.MS:

HEA 280: $u_y = 0{,}4$ mm $< u_{y,mez} = L / 600 = 6000 / 600 = 10{,}0$ mm

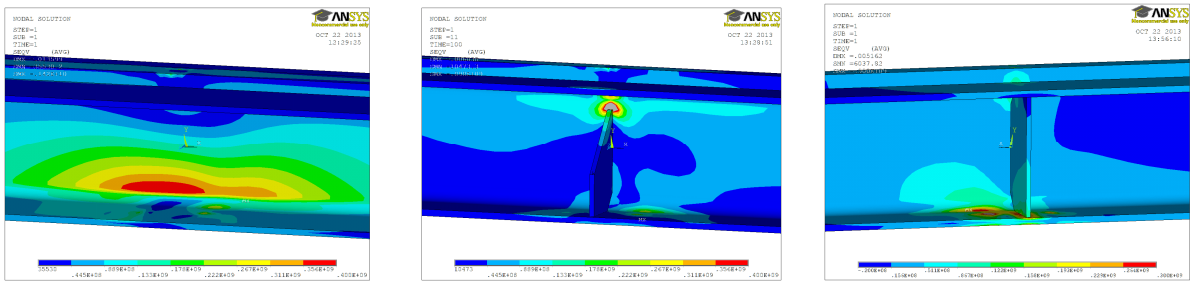
$u_z = 0{,}3$ mm $< u_{z,mez} = L / 600 = 6000 / 600 = 10{,}0$ mm

HEA 300 a HEA 320: $u_y < u_{y,mez}$; $u_z < u_{z,mez}$

U konstrukčního řešení podpory typu „c“ nejsou pro návrh průřezu nosníku JD deformace rozhodující. Vzhledem k velmi nízkým hodnotám deformací do 1,0 mm nebyl podrobněji sledován vliv jednotlivých složek zatížení na celkovou deformaci.

6.1.2 Vyhodnocení napětí

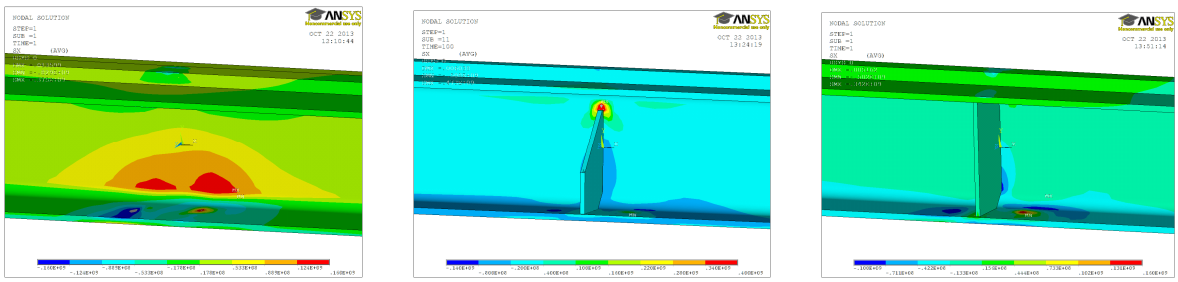
Rozdíly v průběhu napětí σ_{Misses} nad střední podporou spojitého nosníku JD pro sledovaná konstrukční řešení podpory typu „a“, „b“ a „c“ jsou uvedeny na obrázku č.6.6.



Typ „a“ Typ „b“ Typ „c“

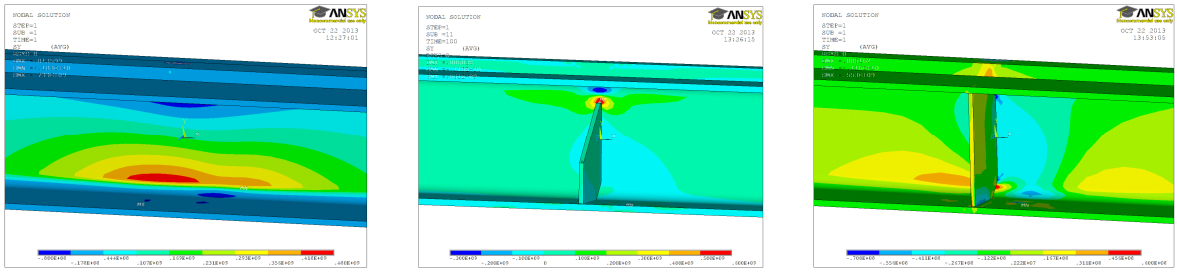
Obrázek 6.6 - Napětí σ_{Misses} nad střední podporou typu „a“, „b“, „c“, HEA 300, ZS4.

Stejným způsobem jsou zobrazeny rozdíly v průběhu napětí $\Sigma\sigma_x$, resp. $\Sigma\sigma_z$, resp. $\Sigma\tau_{xz}$ nad střední podporou pro konstrukční řešení podpory typu „a“, „b“ a „c“ na obrázcích č.6.7, resp.č.6.8, resp.č.6.9.

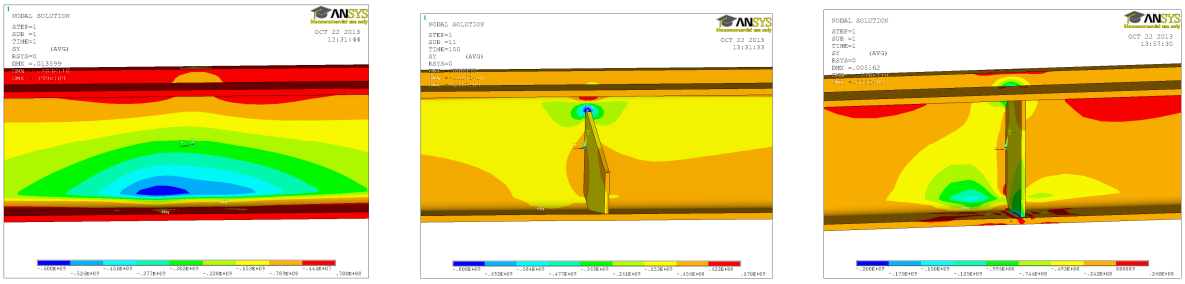


Typ „a“ Typ „b“ Typ „c“

Obrázek 6.7 - Napětí $\Sigma\sigma_x$ nad střední podporou typu „a“, „b“, „c“, HEA 300, ZS4.

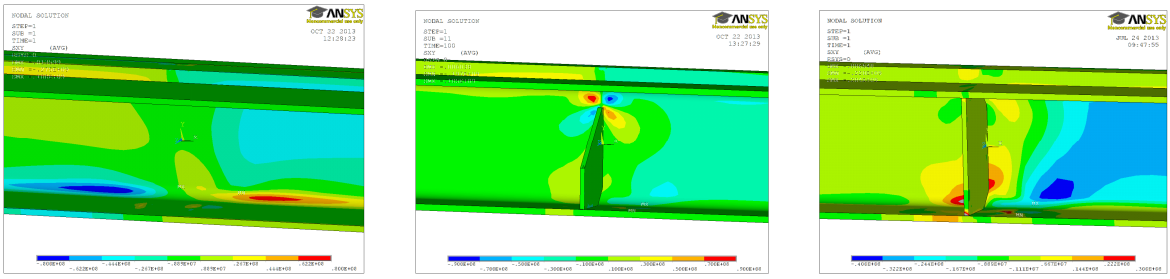


Pohled ze strany vláken „5“, „8“ a „10“.



Pohled ze strany vláken „1“, „9“ a „11 “.

Obrázek 6.8 - Napětí $\Sigma\sigma_z$ nad střední podporou typu „a“, „b“, „c“, HEA 300, ZS4.



Obrázek 6.9 - Napětí $\Sigma\tau_{xz}$ nad střední podporou typu „a“, „b“, „c“, HEA 300, ZS4.

- **Konstrukční řešení bez podporových výztuh – typ „a“ – posouzení na 1.MS:**

U konstrukčního řešení typu „a“ je rozhodující namáhání ve spodních vláknech stojiny průřezu (vlákna „10“ a „11“). Výsledné hodnoty napětí σ_{Misses} z numerických výpočtů u všech tří sledovaných průřezů jsou vyšší než jmenovitá hodnota meze kluzu f_y oceli S235. Výsledné hodnoty napětí σ_{Misses} z analytického výpočtu jsou nižší než jmenovitá hodnota meze kluzu f_y oceli S235, analytický výpočet neuvažuje lokální účinky od excentrického svislého a vodorovného zatížení.

- **Konstrukční řešení s částečnými výztuhami – typ „b“ – posouzení na 1.MS:**

U konstrukčního řešení typu „b“ jsou rozhodující účinky v horní části stojiny průřezu a to ve 2 místech, v horních vláknech stojiny pod rádiusemu k horní pásnici (vlákna „5“ a „9“) a na stojině v místě ukončení výztužného příčného žebra. Výsledné hodnoty napětí σ_{Misses} ve vláknech „5“ a „9“ z numerických výpočtů u průřezů HEA280 a HEA300 jsou vyšší než jmenovitá hodnota meze kluzu f_y oceli S235. Výsledné hodnoty napětí σ_{Misses} ve vláknech „5“ a „9“ z analytického výpočtu u všech tří sledovaných průřezů jsou nižší než jmenovitá hodnota meze kluzu f_y oceli S235, analytický výpočet neuvažuje lokální účinky od excentrického svislého a vodorovného zatížení.

Z obrázků 6.6 až 6.9 je vidět extrémní koncentrace napětí na stojině v místě horní hrany ukončení výztužného žebra. Dochází zde k lokálnímu ohybu stojiny. Hodnoty těchto napětí budou ve skutečnosti nižší vlivem příznivého provedení svarů v této oblasti, v objemovém modelu nebylo se svary uvažováno. Bližší studie tohoto místa průřezu nebyla předmětem práce.

- **Konstrukční řešení s výztuhami na celou výšku – typ „c“ – posouzení na 1.MS:**

U konstrukčního řešení typu „c“ jsou rozhodující v průřezu v ose střední podpory horní vlákna na stojině pod rádiusem k horní pásnici průřezu (vlákna „5“ a „9“). Výsledné hodnoty napětí σ_{Misses} z numerických výpočtů ANSYS a RFEM4 a z analytického výpočtu u všech tří sledovaných průřezů jsou nižší než jmenovitá hodnota meze kluzu f_y oceli S235.

Při celkovém pohledu na průběh napětí na nosníku nad střední podporou jsou u tohoto konstrukčního řešení rozhodující spodní vlákna stojiny v příčném řezu nosníku v místě připojovacích šroubů ložiska. V tomto řezu nebyla definovaná žádná vlákna ke sledování. Z barevného spektra napětí na obrázcích vyplynulo, že napětí σ_{Misses} dosahuje v tomto místě hodnot z intervalu 240-300 MPa, to je vyšších než je jmenovitá hodnota meze kluzu oceli S235. Problematika výpočtu napětí v tomto místě by vyžadovala další studii.

6.4 ZÁVĚRY STUDIE NAPJATOSTI NAD STŘEDNÍ PODPOROU

Posouzení napětí a srovnání výsledků analytických výpočtů a numerických modelů vede k následujícímu závěru. Konstrukční řešení typu „a“ nelze pro daný případ použít ani pro jeden ze sledovaných průřezů, návrhové hodnoty napětí z numerického výpočtu ve spodních vláknech stojiny průřezu (vlákna „10“ a „11“) jsou vyšší než mez kluzu použitého materiálu. Konstrukční řešení typu „b“ nelze provést pro průřezy HEA 280 a HEA 300, návrhové hodnoty napětí z numerického výpočtu v horních vláknech stojiny průřezů (vlákna „5“ a „9“) jsou vyšší než mez kluzu použitého materiálu. To znamená, že profil HEA 300, který byl výsledkem efektivního návrhu pro rozhodné místo v poli spojitého nosníku, provedený nad podporou konstrukčním řešením typu „b“ nelze pro tento případ použít. Konstrukční řešení typu „c“ lze pro daný případ použít pro všechny tři sledované průřezy.

U konstrukčního řešení typu „a“ je zcela rozhodující namáhání ve spodních vláknech stojiny průřezu (vlákna „10“ a „11“). Studie ukázala, že vzniká velký rozdíl mezi výsledky numerických výpočtů a výsledky analytického výpočtu. Analytický výpočet neuvažuje lokální účinky $\sigma_{x,loc}$ a $\sigma_{z,loc}$ ve spodních vláknech stojiny od excentrického svislého a vodorovného zatížení.

U konstrukčního řešení typu „b“ je rozhodující namáhání v horní části stojiny průřezu a to ve dvou místech: v horních vláknech stojiny pod rádiusem k horní pásnici (vlákna „5“ a „9“) a na stojině v místě ukončení výztužného příčného žebra (nebylo předmětem studie). V horních vláknech stojiny průřezu (vlákna „5“ a „9“) byly návrhové hodnoty napětí σ_{Misses} pro kombinaci zatěžovacích stavů (ZS2-ZS3) získané numerickým výpočtem vyšší než jmenovitá hodnota meze kluzu použitého materiálu. Hodnoty získané numerickým výpočtem byly v průměru o 70,1% vyšší než hodnoty vypočtené analyticky. Analytický výpočet neuvažuje lokální účinky $\sigma_{x,loc}$ a $\sigma_{z,loc}$ ve stojině od excentrického svislého i vodorovného zatížení kolem jeřábu.

U konstrukčního řešení typu „c“ je rozhodující namáhání v průřezu v ose střední podpory spojitého nosníku v horních vláknech na stojině pod rádiusem k horní pásnici průřezu (vlákna „5“ a „9“). Hodnoty napětí jsou nižší než jmenovitá hodnota meze kluzu f_y použité oceli S235. Porovnáním se ukázaly velké rozdíly ve výsledných hodnotách jednotlivých složek srovnávacího napětí získaných numerickým a analytickým výpočtem. Analytický výpočet neuvažuje lokální účinky $\sigma_{x,loc}$ a $\sigma_{z,loc}$ v horních vláknech stojiny od excentrického svislého a vodorovného zatížení.

Studie dále ukázala, že v případě konstrukčního řešení „c“ je rozhodující napětí ve spodních vláknech stojiny v příčném řezu nosníku zhruba v místě připojovacích šroubů ložiska. Problematika tohoto místa nebyla předmětem práce a vyžadovala by další studii.

7 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Rozdíl mezi výslednými hodnotami napětí ve spodní části stojiny průřezu z analytického výpočtu a numerického modelu a návrh zjednodušené inženýrské metody výpočtu lokálního napětí $\sigma_{z,t}$ ve spodních vláknech stojiny od příčného vodorovného zatížení kolem jeřábu vedl k provedení ověřovací zkoušky působení v daném místě. V rámci experimentální části byla pomocí hydraulického zařízení vyvozena síla ke zkoušení ocelového nosníku JD a jeho působení při vodorovném příčném kolovém zatížení od jeřábu na kolejnici.

Výsledkem zkoušky bylo získání hodnot lokálního napětí σ_z ve spodních vláknech na obou stranách stojiny průřezu a získání hodnot vodorovných deformací stojiny průřezu po její výšce. Tyto výsledky byly pak porovnány s výsledky numerického a navrženého zjednodušeného inženýrského výpočtu.

Příprava experimentů i samotná experimentální část probíhala v laboratořích ústavu kovových a dřevěných konstrukcí, Fakulty stavební, Vysokého učení technické v Brně.

7.1 PŘÍPRAVA EXPERIMENTU

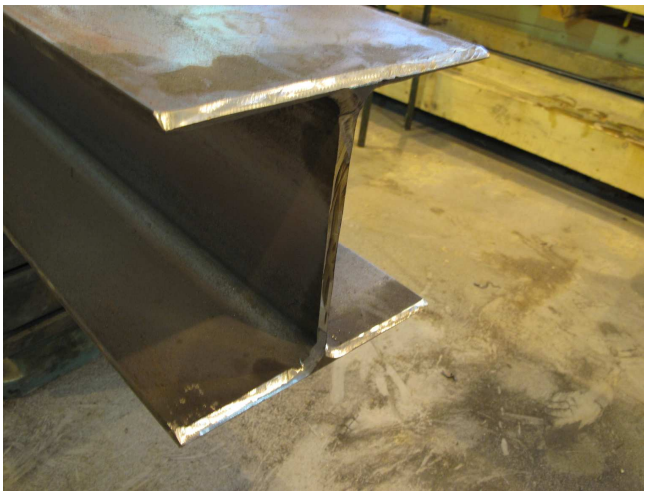
7.1.1 Zkušební těleso - popis

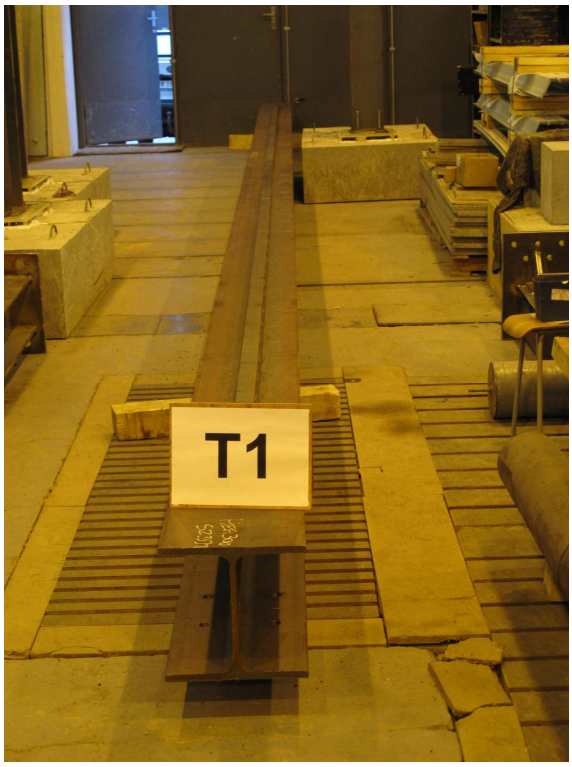
Zkušebním tělesem pro experiment byl spojitý nosník JD o dvou polích z válcovaného profilu HEA300 konstrukční oceli S235 s kolejnicí hranolem 50x30 mm z konstrukční oceli S355, konstrukční řešení průřezu nad střední podporou bez výztuh (typ „a“, viz. kapitola 6.1, obrázek č.6.3).

Z ohledem na prostorové možnosti v laboratoři byl základní modul nosníku proveden délky 5340 mm. Zkušební těleso bylo na místě vyrobeno ze 2 kusů o délkách 7550 mm a 3600 mm. Na obrázku č.7.1 je vidět příprava úkosů na pásnicích a stojině pro provedení kvalitního napojení průřezu a výsledný spoj. Kolejnice byla k hlavnímu průřezu přivařena přerušovanými koutovými svary a = 5 mm v délce 80 mm, přerušení 150 mm. V zatěžovaném místě nad střední podporou byla kolejnice přivařena průběžnými koutovými svary a = 5 mm v délce 500 mm od osy střední podpory na každou stranu. Ve spodní pásnici průřezu byly provedeny otvory Ø22 mm pro uchycení nosníku v ložiscích k podpěrné konstrukci (viz. obrázek č.7.2). Ilustrační fotografie hotového zkušebního tělesa nachystaného pro experiment je vidět na obrázku č.7.2.

7.1.2 Konstrukce pro uložení zkušebního tělesa

Byly vyrobeny podpory pro uložení zkušebního tělesa tak, aby odpovídaly skutečnému uložení nosníků JD v ložiscích. Pro výrobu podpor byla využita taktéž válcovaná tyč HEA 300 z konstrukční oceli S235. Krajní podpory byly zajištěny proti posunu uchycením k nosným sloupům stávající jeřábové dráhy v hale a jejich dostatečná tuhost byla ještě zesílená vzpěrou ke sloupu provedenou z I-profilu. Střední podpora byla také vyztužena vzpěrou a dále byla vybavena konstrukcí pro uložení hydraulického válce s tenzometrickým siloměrem. Bylo nutné všechny podpory provést dostatečně tuhé, aby nedocházelo k žádným přídavným deformacím, které by mohly ovlivnit výsledky měření.





Obrázek 7.1 ↑

Úkosy pro svarový spoj
napojení válcované tyče HEA 300.

Obrázek 7.2 – Ilustrační fotografie hotového zkušebního tělesa. →

Zkušební těleso bylo usazeno na podpory a ukotveno pouze přes spodní pásnici průřezu pomocí 4ks šroubů M20, 8.8 a to v každém ze tří ložisek.

Ilustrační fotografie krajních úložných konstrukcí jsou na obrázku 7.3 a 7.4. Ilustrační snímek střední podpěrné konstrukce je na obrázku 7.5.

Obrázky 7.3 ↑ a 7.4 →
Fotografie podpěrných konstrukcí krajních.

Obrázek 7.5 – Snímek střední podpěrné konstrukce.

Obrázek 7.6 – Přípravek pro aplikaci zatěžovací síly.

7.1.3 Aplikace zatěžovací síly

Důležitým požadavkem bylo aplikovat zatěžovací sílu při zkoušce tak, aby co nejlépe odpovídala skutečnému působení síly od kola jeřábu, to je co nejblíže horní hraně kolejnice. Za tím účelem byl vyrobený speciální přípravek (obrázek 7.6), přes který byla zatěžovací síla přenášena přímo do kolejnice na malou roznášecí plochu k její horní hraně. Přípravek byl položen na horní pásnici. Zespodu horní pásnice byl proveden tlustý plech, který měl jistit vysmeknutí přípravku v případě naklonění horní pásnice nosníku. Byla zajištěna dostatečná vůle mezi tímto zajišťovacím tlustým plechem a horní pásnicí jak zespodu tak i z boku pásnice a po celou dobu zatěžovací zkoušky byla tato vůle kontrolována.

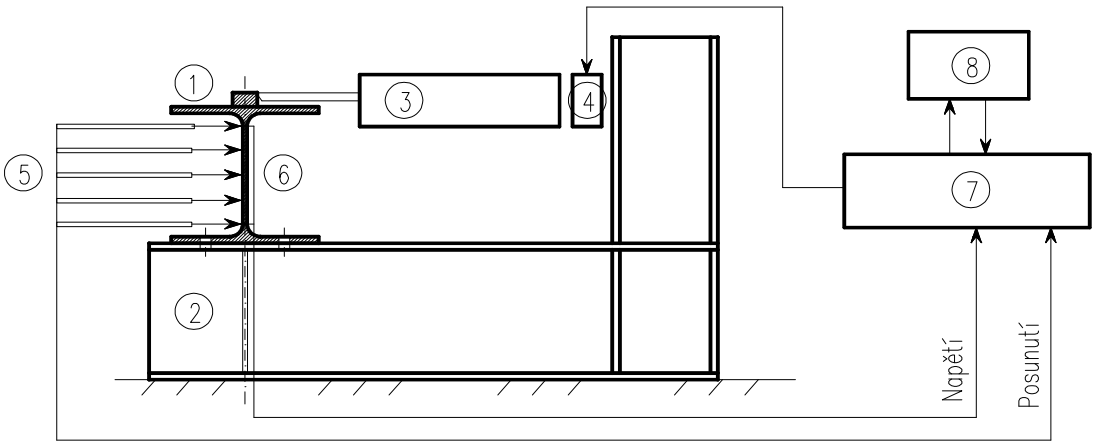
7.2 VLASTNÍ REALIZACE EXPERIMENTU

7.2.1 Popis experimentu

Úkolem experimentu bylo zjištění působení na stojině průřezu spojitého nosníku JD o 2 polích v ose střední podpory zatížené lokálním ohybem od zatížení vodorovnou příčnou silou kola mostového jeřábu v úrovni horní hrany kolejnice. Výsledkem experimentu byl průběh lokálního svislého napětí σ_z v definovaných vláknech stojiny průřezu v závislosti na hodnotě zatěžovací síly F_x a průběh vodorovných posuvů u_y v definovaných vláknech stojiny průřezu v závislosti na hodnotě zatěžovací síly F_x. Cílem bylo zjištění uvedených hodnot pro jejich porovnání s hodnotami vypočtenými analyticky a na numerickém modelu.

7.2.2 Experimentální sestava

Grafické schéma zatěžovací soustavy je uvedené na obrázku č.7.6.

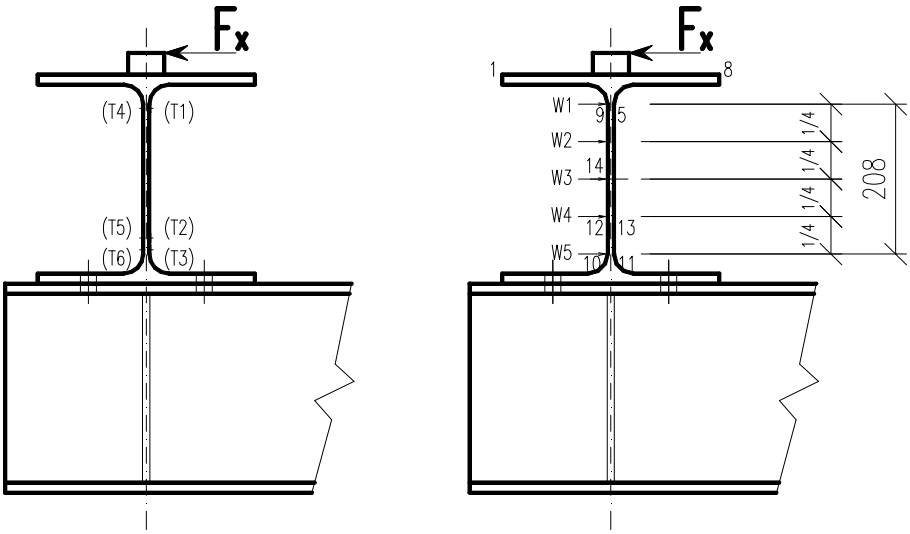


Obrázek 7.6 – Grafické schéma zatěžovací soustavy pro testování zkušebního tělesa.

Popis jednotlivých částí schématu:
1 - Zkušební těleso;
2 – Střední podpěrná konstrukce;
3 – Hydraulický válec Brano 25t;
4 – Tenzometrický siloměr C6A/200kN;
5 – Indukčnostní snímače polohy WA, HBM;
6 – Odporové tenzometry LY11 6/350, HBM;
7 – Multifunkční měřící ústředna MGC plus, HBM;
8 – Výpočetní software Catman Easy, HBM.

7.2.3 Měřené veličiny

Pět snímačů průhybů s odpruženým hrotem označených symboly W1, W2, W3, W4 a W5 snímalo vodorovná posunutí stojiny průřezu v pravidelných rozestupech po její výšce. Snímače byly fixovány na nezávislý vztažný blok. Na stojinu průřezu v ose podpory bylo osazeno šest odporových tenzometrů označených symboly T1, T2, T3, T4, T5 a T6. Prostřednictvím tenzometrů bylo měřeno napětí ve svislém směru, to je ve směru rovnoběžném se svislou osou „z“ průřezu zkušebního nosníku (σ_z). Hodnoty poměrných deformací z tenzometrů a hodnoty vodorovných posunů spolu se zatěžovací tlakovou sílou F_x byly měřeny a zaznamenávány elektronicky měřící ústřednou v intervalu 5 měření za 1 sekundu pro každý kanál. Polohy snímačů posunů a polohy tenzometrů s jejich označením jsou zakresleny na obrázku č.7.7 a vyfoceny na obrázku č.7.8.



Obrázek 7.7 – Příčný řez zkušebním tělesem v ose střední podpory s označením měřených bodů.

Obrázek 7.8 – Ilustrační fotografie upevnění snímačů posuvů a tenzometrů.

7.3 ZJEDNODUŠENÝ ANALYTICKÝ MODEL

Cílem bylo navrhnout vztah pro výpočet lokálního napětí ve spodních vláknech stojiny ve svislém směru $\sigma_{z,t}$ vznikajícího vlivem působení vodorovné příčné síly od kola jeřábu F_x, která působí v úrovni horní hrany kolejnice. Byla navržena zjednodušená praktická metoda výpočtu lokálního svislého napětí $\sigma_{z,t}$ ve spodních vláknech stojiny s uvážením roznášení účinků od vodorovné příčné síly na část stojiny průřezu nosníku, založená na stanovení účinné délky lokálně ohýbané spodní části stojiny průřezu nosníku JD nad střední podporou vlivem působení výše popsané síly F_x. Byla stanovena roznášecí délka pod úhlem 70° na každou stranu od podpory, viz. obrázek č.7.9. Zároveň je na obrázku zakreslena křivka průběhu napětí $\sigma_{z,t}$ ve spodních vláknech „11“ stojiny průřezu z numerického modelu Ansys pro návrhovou hodnotu vodorovné síly od příčení $H_{S,Ed} = F_x = 22{,}3$ kN.

Výše uvedeným způsobem vymezená část stojiny průřezu je dále řešena jako prutová konstrukce a to konzola ohýbaná příčnou vodorovnou silou na měkkou osu průřezu. Výpočetní vztah pro stanovení lokálního svislého napětí $\sigma_{z,t}$ je upraven následovně:

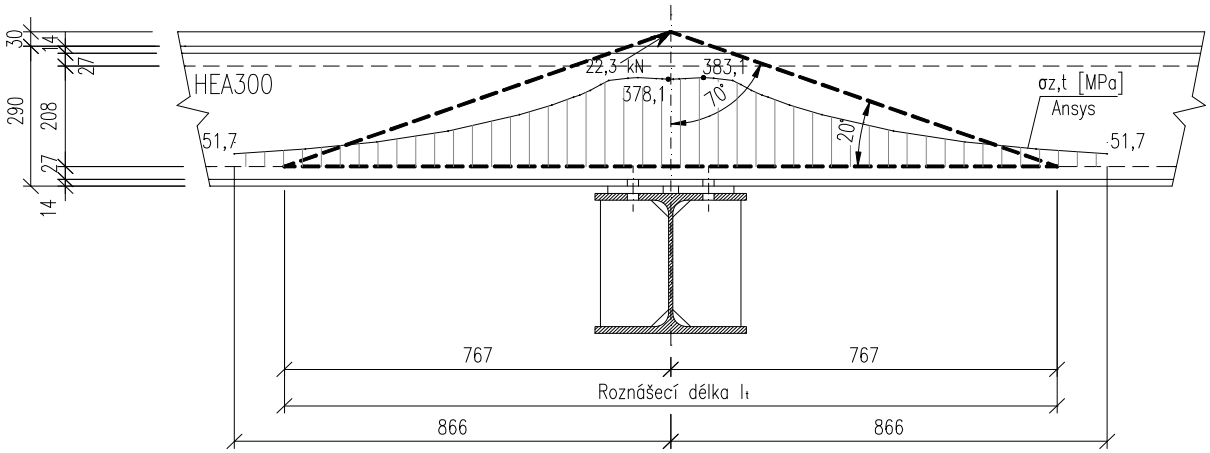
$$\sigma_{z,t,Ed} = \frac{M_{t,Ed}}{W_{y,t}} = \frac{F_{x,Ed}.e_t}{\frac{1}{6} l_t.t_w^2},$$

kde F_x … je návrhová hodnota vodorovné příčné síly kolového zatížení;

e_t … je excentricita působení vodorovné příčné síly od spodních vláken stojiny průřezu (to je vzdálenost horní hrany kolejnice od spodních vláken stojiny průřezu);

l_t … je účinná roznášecí délka stojiny lokálně ohýbané působením vodorovné příčné síly;

t_w … tloušťka stojiny.



Obrázek 7.9 – Nosník s vyznačenou roznášecí účinnou délkou lokálně ohýbané části stojiny průřezu působením vodorovné příčné síly F_x.

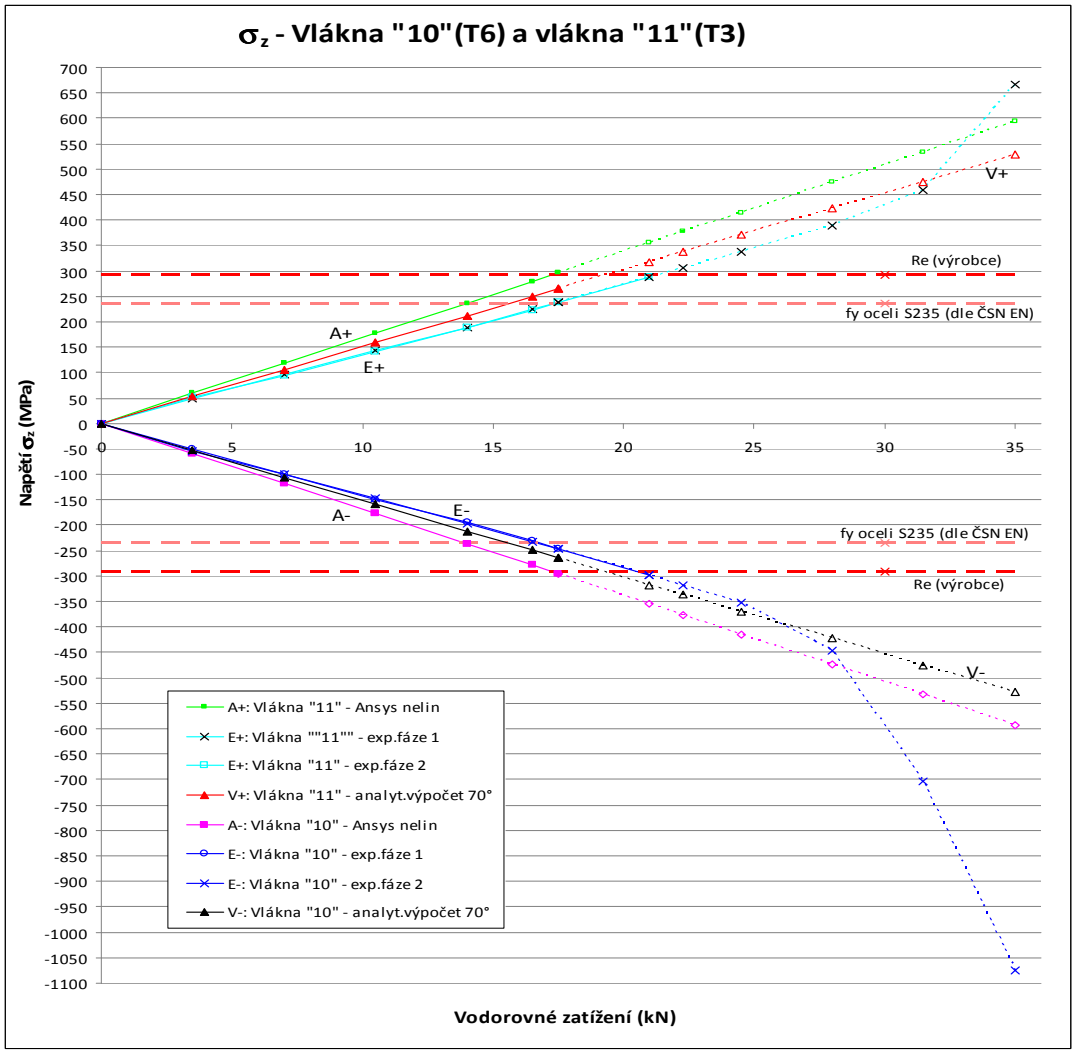
Pro výpočet průhybu vymezené oblasti stojiny jako prutové konstrukce byl uvažován obdélníkový průřez prutu o proměnné šířce.

7.4 VÝSLEDKY A VYHODNOCENÍ PRÁCE

Experimentálně zjištěné hodnoty lokálního svislého napětí ve spodní části stojiny průřezu $\sigma_{z,t}$ a vodorovných posunů u_y byly porovnány s hodnotami vypočtenými analyticky pomocí navržené metody výpočtu na prutovém modelu s vymezením roznášecích účinků na část stojiny nosníku, viz. kapitola 7.3, a taktéž s hodnotami získanými řešením numerického modelu softwarem Ansys.

7.4.1 Lokální svislé napětí ve spodních vláknech stojiny průřezu

Hodnoty lokálního svislého napětí $\sigma_{z,t}$ ve vláknech „10“ a „11“ průřezu získané z experimentu jsou v grafu č.13 porovnány s hodnotami lokálního svislého napětí vypočítaného podle navržené analytické metody, viz. kapitola 7.3, a pomocí numerického modelu. Křivky v grafu znázorňují závislost hodnot napětí $\sigma_{z,t}$ na velikosti zatěžovací síly F_x, to je vodorovné příčné síly kola jeřábu.

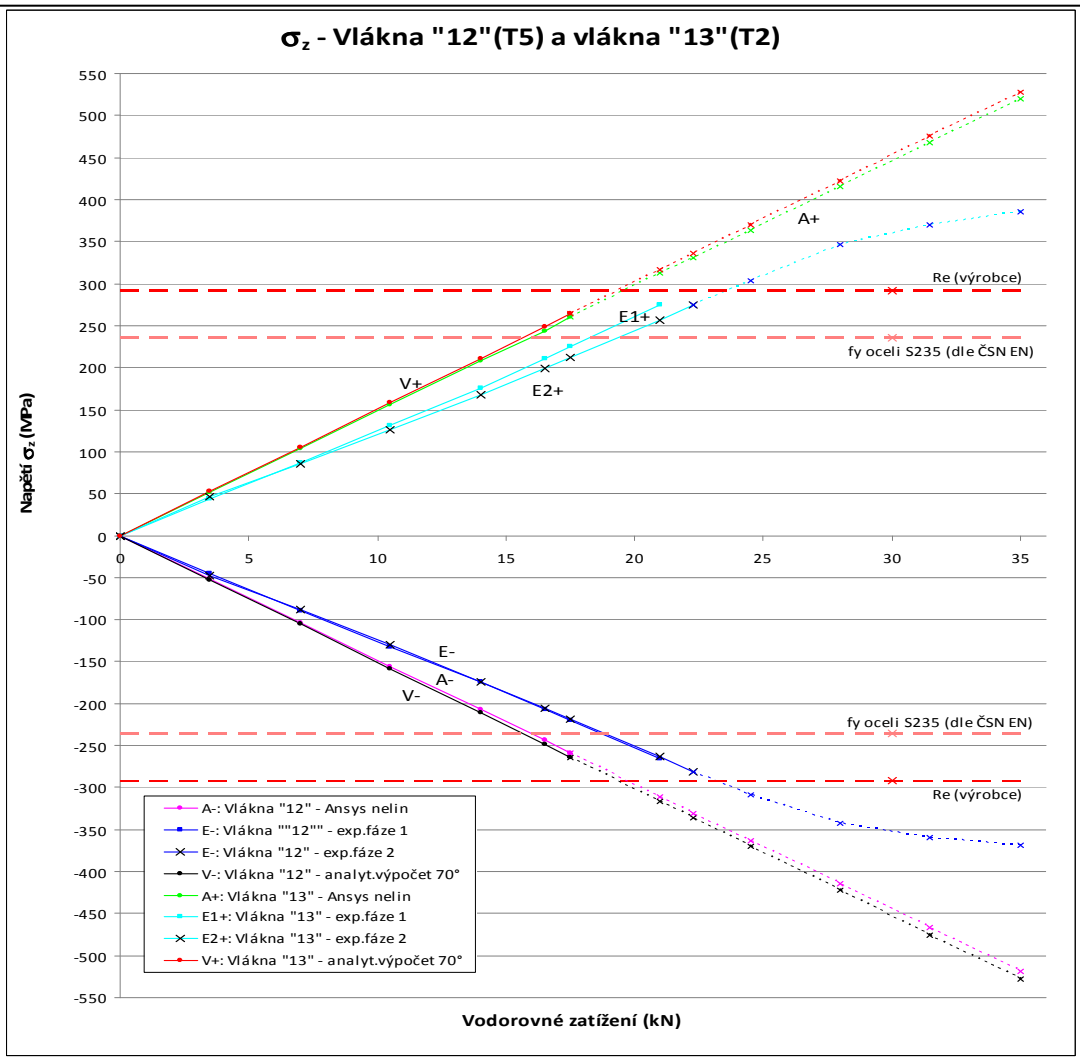


Graf 13 – Hodnoty napětí $\sigma_{z,t}$ – vlákna „10“(T6) a „11“(T3).

V grafu jsou čárkovanými přímkami vyznačeny hodnota meze kluzu dle ČSN EN 1993-1-1 (f_y = 235 MPa) a hodnota meze kluzu dle certifikátu hutního výrobku od výrobce (R_e = 291,3 MPa). Získané hodnoty napětí, které jsou vyšší než je výrobcem doložená mez kluzu použitého materiálu, nejsou relevantní a jejich křivky jsou vyznačeny pouze tečkovaně.

Z grafu je patrné, že hodnoty napětí získané z experimentu jsou mírně nižší než hodnoty získané analytickým výpočtem a numerickým výpočtem. Hodnoty získané navrženou zjednodušenou metodou s uvážením roznesení účinků od vodorovné příčné síly na část stojiny se pohybují mezi hodnotami z experimentu a hodnotami z numerického modelu Ansys.

Hodnoty lokálního svislého napětí $\sigma_{z,t}$ ve vláknech „12“ a „13“ průřezu získané z experimentu jsou porovnány v grafu č.14 s hodnotami vypočítanými podle navržené analytické metody, viz. kapitola 7.3, a hodnotami vypočítanými pomocí numerického modelu.



Graf 14 – Hodnoty napětí $\sigma_{z,t}$ – vlákna „12“(T5) a „13“(T2).

Z grafu je patrné, že hodnoty napětí získané z experimentu jsou mírně nižší než hodnoty získané analytickým výpočtem a numerickým modelováním v softwaru Ansys. Hodnoty získané navrženou analytickou metodou s uvážením roznesení účinků od vodorovné příčné síly na část stojiny koresponduji s hodnotami z numerického modelu Ansys.

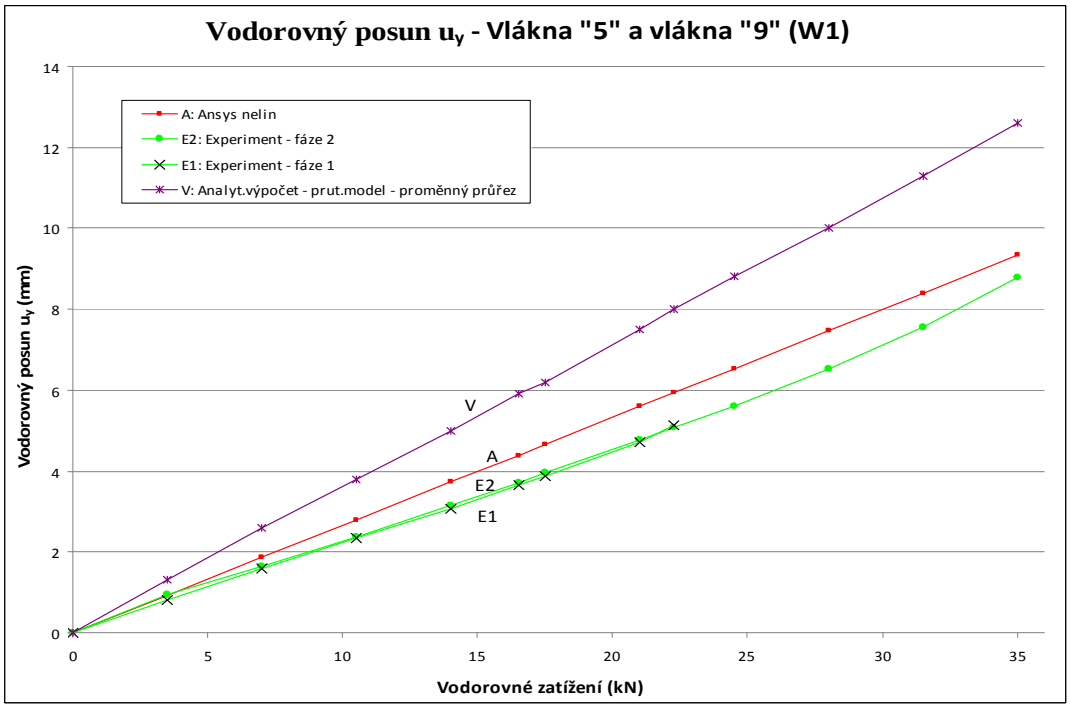
7.4.2 Deformace u_y stojiny průřezu

Hodnoty experimentálně naměřených vodorovných posunů u_y ve vláknech „5“ a „9“ průřezu měřidlem posuvu W1 jsou v grafu č.15 porovnány s hodnotami posunů vypočítaných podle navržené analytické metody, viz. kapitola 7.3, a pomocí numerického modelu. Křivky v grafu znázorňují závislost hodnot vodorovných posunů u_y na velikosti zatěžovací síly F_x, tj. vodorovné příčné síly kola jeřábu. Znaménková konvence je z důvodu přehlednosti kladná pro posun ve směru působení zatěžovací síly F_x.

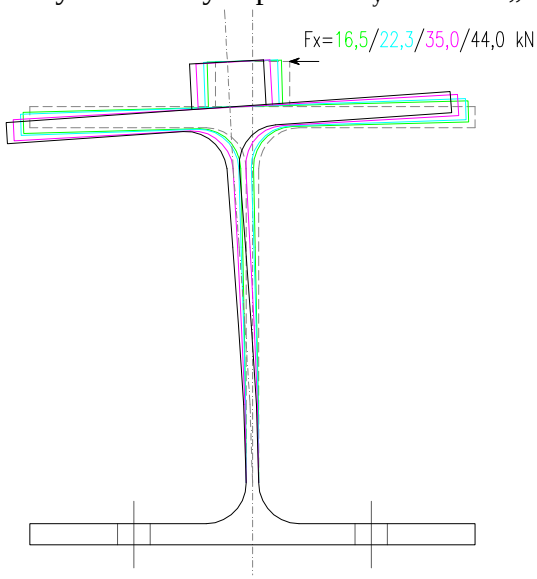
Hodnoty posunů získané z numerického modelu Ansys téměř korespondují (odchylka do +0,5 mm) s experimentálně naměřenými hodnotami. Hodnoty získané navrženou analytickou metodou jsou mírně vyšší než hodnoty získané z experimentu a numerického modelu Ansys.

Na obrázku č.7.10 jsou vykresleny deformace průřezu pro zatěžovací sílu F_x = 16,5 kN; 22,3 kN; 35,0 kN a 44,0 kN. Síla F_x = 16,5 kN je síla rovna charakteristickému zatížení od příčení H_s realizované jeřábové dráhy. Síla F_x = 22,3 kN je hodnota návrhové síly od příčení jeřábu $H_{s,Ed} = \gamma.H_s$ =

1,35.16,5 = 22,3 kN. Síla F_x = 44,0 kN je síla, při které došlo k selhání zatěžovací sestavy a byl ukončen experiment.



Graf 15 – Hodnoty vodorovných posunů u_y – vlákna „5“ a „9“ (W1).



Obrázek 7.10 – Deformace průřezu HEA 300 nad střední podporou od vodorovné příčné síly F_x.

7.4.3 Shrnutí výsledků experimentální části

Hlavním přínosem provedeného experimentu bylo získání informací o působení v průřezu pro konstrukční řešení bez výztuh (typ „a“) nad střední podporou spojitého nosníku namáhaného vodorovným příčným zatížením od kola jeřábu.

Z uvedených grafů porovnávajících hodnoty změřené experimentálně a hodnoty získané analytickým výpočtem a numerickým výpočtem pomocí 3D konečných prvků lze konstatovat, že navržený zjednodušený inženýrský výpočet, viz. kapitola 7.3, odpovídá skutečnému působení ve spodních vláknech stojiny průřezu.

8 ZÁVĚR

Předkládaná disertační práce byla věnovaná problematice efektivního a spolehlivého navrhování nosné ocelové konstrukce jeřábových drah řešených ocelovým válcovaným HEA profilem bez vodorovného výztužného nosníku. Cílů stanovených na počátku práce bylo dosaženo.

Byly provedeny dvě parametrické studie návrhu válcovaného HEA profilu pro nosník JD, jejichž výsledkem bylo stanovení vhodnosti použití v současnosti nových přístupů, tj. využití konstrukční oceli S355 a využití statického řešení nosníku JD jako spojitého o 2 polích.

Parametrické studie byly provedeny pro jeřábovou dráhu s modulem délky L = 6,0 m pojížděnou jedním jeřábem. Souhrnné grafy získaných výsledků ukázaly, že použitím konstrukční oceli S355 při návrhu prostého nosníku JD může dojít v řadě případu k úspoře materiálu a to až 32% hmotnosti navrženého válcovaného profilu. Použití konstrukční oceli S355 je efektivní v případech, kdy rozhoduje posouzení na 1.MS a poškození na únavu, a není efektivní v případech, kdy rozhoduje posouzení na 2.MS. Souhrnný graf získaných výsledků druhé parametrické studie prokázal, že použitím statického řešení nosníku JD jako spojitého o 2 polích dojde při návrhu průřezu k úspoře materiálu a to až 30% hmotnosti navrženého válcovaného profilu. Použití statického řešení spojitých nosníků je efektivní v případech, kdy rozhoduje posudek jak na 1.MS tak na 2.MS. Výsledky v obou studiích ukázaly, že existuje skupina případů, ve kterých rozhoduje posouzení na 1.MS v horních vláknech stojiny průřezu.

Na konkrétním vybraném realizovaném případu konstrukce jeřábové dráhy byly sledovány účinky svislého a vodorovného zatížení od kola jeřábu v nejnepříznivější poloze pro namáhání průřezu nad střední podporou včetně uvažování excentricit působení zatížení, které mohou nastat. Byly porovnány výsledky analytického výpočtu napětí v řezu nad střední podporou s hodnotami získanými z numerických výpočtů objemových modelů řešených pomocí 3D konečných prvků.

Z důvodu velkého rozdílu mezi výsledky napětí numerických výpočtů na objemových modelech a výsledky analytického výpočtu u konstrukčního řešení bez výztuh (typ „a“) ve spodních vláknech stojiny průřezu a s cílem zpřesnění výpočtu byla navržena zjednodušená metoda pro výpočet lokálního napětí $\sigma_{z,t}$ ve spodních vláknech stojiny ve svislém směru vznikajícího vlivem působení vodorovné příčné síly od kola jeřábu. Výpočet vychází z roznesení účinků od vodorovné příčné síly do vymezené oblasti stojiny průřezu nosníku.

Ověření vhodnosti navržené analytické metody vyžadovalo provedení laboratorního testu. Experimentálně změřené hodnoty deformací a napětí byly porovnány s výsledky numerického modelu a navrženého analytického výpočtu. Srovnáním výsledků se potvrdila vhodnost navržené zjednodušené výpočetní metody. Aplikací této zjednodušené metody výpočtu lokálního svislého napětí ve stojině průřezu v důsledku působení vodorovné příčné síly došlo ke zpřesnění výpočtu napětí ve spodních vláknech stojiny průřezu v ose střední podpory realizovaného spojitého nosníku JD a prokázalo se, že stojina v daném místě pro konstrukční ocel S235 při posouzení na mezní stav únosnosti (1.MS) nevyhoví. Průřez je nutné vyztužit a stabilizovat stojinu v její spodní části provedením výztužných žeber.

LITERATURA

[1] MacCrimmon, R.A.: Crane-Supporting Steel Structures; CISC, Ontario, 2005.

[2] Thompson, G.: Best praktice of crane support structures design – an expert survey; University of Stellenbosh, 2007.

[3] Mitjugov, E.A.: Razvitie metodiki rasčeta pročnosti stenki v jeřábových nosnících; MGSU, Moskva, 1990.

[4] Melcher, J., Straka, B.: Některé obecné poznámky o nehodách a příklady závad ocelových konstrukcí; In Sborník referátů z konference „Havárie ocelových konstrukcí“; ČSVTS Praha, 1970.

[5] Lederer, F., a kol.: Ocelové konstrukce pozemních staveb; SNTL, Praha, 1971.

[6] Vlasov, V.Z.: Tenkostěnné pružné pruty; SNTL, Praha, 1962.

[7] Djubek, J., Mrázik,A.: Medzné stavy ocelových konštrukcií; VSAV, Bratislava, 1970.

[8] Faltus, F.: Prvky ocelových konstrukcí; ČAV, Praha, 1962.

[9] Šmiřák, S.: Pružnost a plasticita I.; CERM, Brno, 1999.

[10] Fuchs, J., Rec,M., Šefl,E.: Statické hodnoty kovových válcovaných průřezů; SNTL, Praha, 1984.

[11] ČSN 27 0140 Jeřáby a zdvihadla – Projektování a konstruování, ČNI Praha.

[12] ČSN EN 1991-3 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 3: Zatížení od jeřábů a strojního vybavení, ČNI Praha, 2008.

[13] ČSN EN 1993-6 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 6: Jeřábové dráhy, ČNI Praha, 2008.

[14] ČSN P EN 1993-6 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 6: Jeřábové dráhy, ČNI Praha, 2000.

[15] ČSN 73 1401 Navrhování ocelových konstrukcí, ÚNM Praha, 1984.

[16] EN 1993-1-5 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-5: Boulení stěn, ČNI Praha, 2008.

[17] ABUS Kransysteme GmbH: Planning documentation overhead cranes, Gummersbach, 1998.

[18] ČSN EN 1993 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí, ČNI Praha, 2006.

[19] EN 1993-1-9 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-9: Únava, ČNI Praha, 2006.

[20] ČSN EN 13001-1 Jeřáby – Návrh všeobecně – Základní principy a požadavky.

[21] ČSN EN 13001-2 Jeřáby – Návrh všeobecně – Účinky zatížení.

[22] ČSN EN 1991 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí, ČNI Praha.

[23] ČSN 73 5130 Jeřábové dráhy.

[24] Lukáš, J.: Kandidátská disertace – Napjatost a únava jeřábových drah; SVŠT, Bratislava, 1989.

[25] AISC Manual of Steel Construction: Load and Resistance Factor Design – Structural Members, Specifications and Codes; American Institute of Steel Construction, Inc.; 1999.

[26] AISC Manual of Steel Construction: Load and Resistance Factor Design – Connections; American Institute of Steel Construction, Inc.; 1999.

[27] СНиП II-23-90 Строительные нормы и правила: Нормы проектирования – Стальные конструкции; Москва; 1990.

[28] Pechar, J., Bureš, J., Studnička, J., Šafka, J.: Prvky kovových konstrukcí; SNTL, Praha, 1984.
[29] Lehar, F. a kolektiv: Detaily a dílce ocelových konstrukcí průmyslových budov 1, Konstrukční řešení; SNTL, Praha, 1969.
[30] Lehar, F. a kolektiv: Detaily a dílce ocelových konstrukcí průmyslových budov 2, Výpočtové pomůcky; SNTL, Praha, 1969.
[31] Pilgr, M.: Kovové konstrukce, Výpočet jeřábové dráhy pro mostové jeřáby podle ČSN EN 1991-3 a ČSN EN 1993-6; CERM, Brno, 2012.
[32] Novák, O.: Technický průvodce 3, Nauka o pružnosti a pevnosti ve stavitelství; SNTL, Praha, 1963.
[33] Svoboda, M., Melcher, J.: Vybrané stati prvků ocelových konstrukcí; VUT v Brně, 1967.
[34] Teplý, B., Šmiřák, S.: Pružnost a plasticita II.; VUT v Brně, 1993.

ŽIVOTOPIS Ing. Jindřiška Kočařová

Osobní údaje:

Narození: 12. května 1971 v Ostravě
Státní občanství: Česká republika
Rodinný stav: Vdaná, 3 děti

Kontaktní údaje:

Trvalé bydliště: Kavčí 12, 635 00 Brno, Česká republika
Telefon: (+420) 725 544 924
E-mail: jindriska.kocarova@seznam.cz

Vzdělání:

1985 – 1989 Gymnázium ul. Dr. Šmerala, Ostrava
Zaměření: cizí jazyky a programování

1989 – 1994 Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební
Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby
Specializace: Ocelové konstrukce a mosty

1994 – 1996 Vysoké učení technické v Brně, Fakulta podnikatelská
Studijní obor: Ekonomika a řízení v průmyslu

Studijní pobyty:

05-08/1991 Durham University, Teeside Polytechnic, Darlington College of Technology, Velká Británie

Ocenění:

06/1994 Uznání děkana Fakulty stavební VUT v Brně za vzorně vypracovanou diplomovou práci a její obhajobu při státní zkoušce.

Profesní praxe:

1992 – 1994 Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební
Ústav kovových a dřevěných konstrukcí: pomocná vědecká síla.

1996 – 1998 Projekční kancelář Prokon, Ostrava
Projekční činnost ve stavebnictví zaměřena na ocelové konstrukce průmyslových objektů, zejména průmyslových budov, výrobních a skladových hal. Realizace projektů pro stavební povolení, projektů provedení stavby, výrobní a montážní dokumentace.

1999 – 2003 Iteco s.r.o., Brno
Projekční činnost zaměřena na nosné konstrukce pro zdvihací techniku. Statika nosných ocelových konstrukcí jeřábů a nosných konstrukcí pro provoz zdvihacích zařízení (jeřábové dráhy, podvěsné dráhy, podvěsné drážky kladkostroje, závěsné prostředky, manipulátory apod.)

2003 - dosud OSVČ
Projekční činnost ve stavebnictví zaměřena na nosné ocelové konstrukce pro zdvihací techniku, zejména jeřábové dráhy, podvěsné dráhy a podvěsné drážky kladkostroje a dále zaměřena na ocelové konstrukce průmyslových budov, výrobních a skladovacích hal. Realizace projektů pro stavební povolení, projektů provedení stavby a výrobní a montážní dokumentace.

Výběr z realizovaných projektů:

DAJANA PET s.r.o., Bohuňovice: Přístavba 2. lodi skladovací haly v areálu společnosti. Půdorysný rozměr haly 8,69 m x 36,66 m, výška u okapu 9,1 m, výška v hřebeni 10,0 m. Projektová dokumentace pro SP, DPS, výrobní dokumentace ocelové konstrukce. (r.2013)

MITAS a.s. Otrokovice, lisovna AGRO: Podvěsné dráhy 3x PD 0,5 t / 6,8 m – 56,59 m. Variantní studie přemístění stávajících podvěsných drah do nového výrobního objektu. (r.2012)

Industrial Machine Service s.r.o., Brníčko, Uničov: 3 nové jeřábové dráhy JD 12,5t+8,0t / 9,0m - 136,87 m vestavěné do stávající trojlodní výrobní haly. Projektová dokumentace provedení stavby a výrobní a montážní dokumentace. (r.2011)

Démos Trade, a.s., Ostrava – Kunčičky: Skladový areál v obci Sokolnice u Brna. Projekty DUR, DSP, DPS nosné ocelové konstrukce administrativní budovy a halových objektů (sklad NK, nářezové centrum a skladová dvouhala). Parametry skladové dvouhaly: systémová šířka 2x 40,0 m, délka haly 60,0 m, výška u okapu 8,63 m. (r.2010)

Antonín Němčič, Autolakovna Bohuňovice: Jednolodní uzavřená hala se sedlovou střechou, šířka haly 14,12 m, délka haly 23,3 m, výška haly u okapu 5,078 m. DPS, výrobní a montážní dokumentace ocelové konstrukce haly. (r.2009)

Industrial production s.r.o., Brno: Jeřábová dráha JD 3,2t / 4,5m – 27,3 m. DPS, výrobní a montážní dokumentace. (r.2008)

BSH Holice, a.s., Holice: Jeřábová dráha JD 2x20,0t / 6,0m délky 114,5 m pro provoz 2 jeřábů Demag ZKKE 20,0 t o rozpětí 22,9 m a jeřábová dráha JD 50,0t+20,0t / 6,0m délky 114,5 m pro provoz jednoho jeřábu Demag ZKKE 50,0 t o rozpětí 22,9 m a jednoho jeřábu Demag ZKKE 20,0 t o rozpětí 22,9 m. DPS, výrobní a montážní dokumentace. (r.2005)

POCLAIN HYDRAULICS a.s., Brno: Nosná ocelová konstrukce pro zavěšení podvěsného systému 2x Demag EHK-KBK o nosnosti 500 kg a rozpětí 4,4 m. DPS, výrobní a montážní dokumentace. (r.2004)