

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA APLIKOVANÝCH VĚD
KATEDRA MECHANIKY
Obor: Stavitelství (STA)
Akademický rok: 2017/2018

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Analýza jeřábových drah pro nosnost jeřábu 10, 15 a 20 t

Vypracoval: Bc. Ladislav Hlaváč
Vedoucí práce: Ing. Petr Kesl

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

.....
podpis

Poděkování

Rád bych poděkoval svému vedoucímu diplomové práce p. Ing. Petru Keslovi za věnovaný čas, cenné rady, ochotu a trpělivost.

Anotace

Cílem této diplomové práce je koncepční řešení jeřábových drah. Samotné nosníky jeřábových drah a konzol jsou posuzovány z hlediska nejvýhodnějších typů profilů a tříd ocelí S235 a S355. Posouzení ocelových konstrukcí je provedeno v souladu s platnými normami ČSN EN. Práce obsahuje analýzu vypočtených konstrukcí z hlediska nejehospodárnějšího a nejvhodnějšího řešení.

Klíčová slova

Ocelová konstrukce, jeřáb, jeřábová dráha, nosník jeřábové dráhy, kolejnice, konzola, zatížení, životnost konstrukce, statický výpočet

Abstract

The goal of this diploma thesis is conceptual solutions for crane tracks. Itsself beams of the crane tracks and the brackets are judged from the perspective of the most advantageous types of profiles and class of steels S235 and S355. The Assessment of steel structures is carried out in accordance regarding the applicable standards ČSN EN. The work contains an analysis of the calculated structures from the perspective of the economically most advantageous solution.

Key words

Steel construction, crane, crane track, beam of crane track, rails, bracket, load, lifetime of the construction, static calculation

Obsah

ÚVOD	8
OCELOVÁ JEDNOLODNÍ HALA S JEŘÁBOVOU DRÁHOU	9
Popis konstrukce	9
Použitý materiál pro konstrukci haly	9
Použitý spojovací materiál	9
Ochrana proti korozi	9
Použité podklady	9
Použité normy a literatura	9
Použitá výpočetní technika	9
Dispozice konstrukce haly	10
Detaily	14
JEŘÁBOVÉ DRAHY	16
Úvod do problematiky	16
Definice	16
Nosník jeřábové dráhy	16
Kolejnice	16
Ložiska	17
Zásady navrhování	17
Průjezdny profil	17
Zatížení	17
Životnost	17
Poruchy a havárie na konstrukcích jeřábových drah	17
VÝPOČET JEŘÁBOVÉ DRAHY A KONZOLY	19
Účinky jeřábu GJMJ 10t / 13,80 m	20
Nosník jeřábové dráhy z ocelového profilu HEA 400 – S355	21
Konzola pro nosník JD z ocelového profilu HEA 240 – S355	33
ANALÝZA VÝSLEDKŮ PRÁCE	35
Nosníky jeřábových drah - využití	37
Porovnání tříd oceli S235 a S355	37
Porovnání profilů IPE, HEA a HEB	37
Nosníky jeřábových drah - cena	38
Porovnání tříd oceli S235 a S355	38
Nejhospodárnější a nejvhodnější návrhy nosníku JD pro dotčené velikosti jeřábů	38
Shrnutí nosníků jeřábových drah pomocí grafů	39
Konzoly pro nosníky JD – využití	43
Porovnání tříd oceli S235 a S355	43
Porovnání profilů I, IPE, HEA a HEB	43
Konzoly pro nosníky JD - cena	44

Porovnání tříd oceli S235 a S355	44
Nejhospodárnější a nejvhodnější návrhy konzol JD pro dotčené velikosti jeřábů	44
Shrnutí konzol pro nosníky JD pomocí grafů.....	45
ZÁVĚR	49
Seznam příloh a výkresů.....	50
Seznam příloh.....	50
Seznam výkresů	50
Seznam použitých zdrojů a softwaru	50
Normy a literatura	50
Internetové odkazy	50
Použitý software.....	50
Seznam tabulek	50
Seznam obrázků	51

ÚVOD

Tato diplomová práce se zabývá analýzou jeřábových drah pro nosnosti jeřábu 10, 15 a 20 tun.

Téma jsem si vybral proto, že jsem se chtěl dozvědět více informací ohledně dané problematiky. Zajímalo mě také, jaké typy profilů se nejvíce hodí pro návrh nosníku a konzoly jeřábové dráhy. V neposlední řadě jsem chtěl zjistit rozdíly cen jednotlivých typů profilů a tříd ocelí S235 a S355 pro dané nosnosti jeřábů.

První část práce se zabývá ocelovou jednolodní halou, která je navržena pro jeřáb o nosnosti 15 t. Ocelová konstrukce haly je vymodelována v programu Advance Steel, kde je staticky a konstrukčně posouzena. Z důvodu rozsáhlosti samotného tématu práce – jeřábové dráhy a jejich výpočtů, není statické posouzení konstrukce haly součástí. Z programu jsou jako ukázka použity obrázky dispozice konstrukce haly a hlavní spojovací a kotvicí detaily.

Druhá část práce se zabývá problematikou jeřábových drah. Zde jsou uvedeny a popsány jednotlivé části a jejich definice. Následně jsou uvedeny zásady samotného navrhování, zatěžování a popis doporučených životností konstrukce. Poslední sekce této části je věnována poruchám a haváriím na konstrukcích jeřábových drah.

Třetí část práce je věnována statickým výpočtům nosníků jeřábových drah a konzol. V této části jsou řešeny výpočty pro vybrané nosnosti jeřábů a k nim použité varianty profilů a tříd ocelí S235 a S355. V samotné práci je uveden výpočet nevhodnějšího nosníku jeřábové dráhy a konzoly pro navrženou jednolodní ocelovou halu. Veškeré ostatní výpočty viz příloha - STATICKÝ VÝPOČET.

Poslední, čtvrtá část práce je věnována analýze výsledků statických výpočtů. Výsledky využití a informace o cenách jednotlivých ocelových profilů jsou vyobrazeny pomocí grafů. Nejpodstatnější sekce této části je věnována vlastnímu uvážení o výsledcích. Jsou zde vyhodnoceny nejhospodárnější, konstrukčně nejvýhodnější a celkově nevhodnější profily a třídy oceli pro daná zatížení.

OCELOVÁ JEDNOLODNÍ HALA S JEŘÁBOVOU DRÁHOU

Popis konstrukce

Půdorysné osové rozměry jsou 14,8 x 42,0 m. Celkové půdorysné rozměry včetně opláštění jsou 15,5 x 42,48 m. Celková výška haly u hřebene je 8,63 m, u okapu pak 6,96 m. Sklon střechy činí 12,5°.

Hala je řešena jako jednodílná se sedlovou střechou. Hlavní nosnou konstrukci tvoří osm příčných rámu, které jsou vetknuty do betonových základových patek. Štítové rámy jsou tvořeny dvěma sloupy a příčlí. Příčle středových rámu jsou do 1/4 nabíhané. Náběh je tvořen plechy, které jsou přivařeny ke sloupu. Na konci náběhu je navržený šroubový momentový spoj s pokračováním klasické válcované příčle. Sloupy i příčle jsou zhotoveny z ocelových profilů IPE 400, náběhy příčlí pak z plechů. Štítové sloupy jsou navrženy z profilu IPE 270. Obvodový plášť je uložen na paždíkách, střešní plášť pak na vaznicích. Paždíky i vaznice jsou zhotoveny z ocelového profilu UPE 160.

Stabilita konstrukce je zajištěna prostorovým spolupůsobením. V podélném směru stabilitu zajišťuje střešní zavětrování a stěnová ztužidla. V příčném směru pak vetknutí sloupů a ztužidla konstrukce. Stěnová ztužidla v podélných stěnách jsou navrženy z ocelového profilu L 100x10. Střešní zavětrování je zhotoveno z ocelového profilu L 100x10.

Konzoly jeřábové dráhy, které nesou samotnou jeřábovou dráhu a jeřáb o nosnosti 15 tun jsou zhotoveny z ocelového profilu HEA 240. Nosník jeřábové dráhy je navržen z ocelového profilu HEA 400.

Použitý materiál pro konstrukci haly

Na výrobu primární ocelové konstrukce haly se použije válcovaná ocel třídy S355 a plechy stejné kvality. Paždíky, vaznice, stěnová ztužidla a střešní zavětrování je navrženo z oceli třídy S235. Nosné konstrukce haly jsou navrženy z běžných válcovaných profilů. Na výrobu nosníku JD se použije ocel třídy S355.

Použitý spojovací materiál

Svary - velikost a způsob dle dokumentace (není součástí)

Šrouby - pevnost 8.8, žárový zinek

Ochrana proti korozi

Na veškeré nosné i nenosné ocelové konstrukce haly je navrženo žárové zinkování.

Použité podklady

- Rozbor zatížení jeřábu GJMJ 15t / 13,80 m od GIGA, spol. s.r.o.

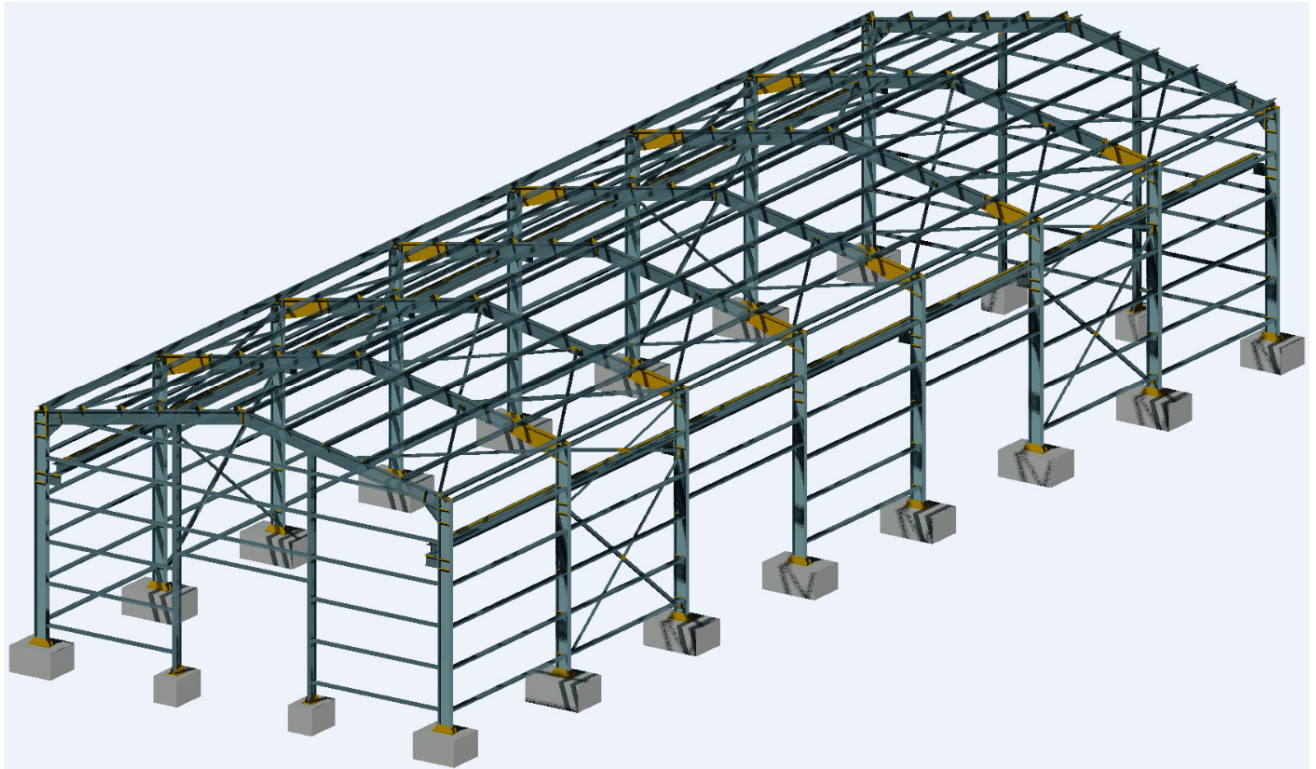
Použité normy a literatura

- ČSN EN 1990 - Zásady navrhování konstrukcí
- ČSN EN 1991 - Zatížení konstrukcí
- ČSN EN 1991-3 - Zatížení od jeřábů a strojního vybavení
- ČSN EN 1993 - Navrhování ocelových konstrukcí
- ČSN EN 1993-6 - Jeřábové dráhy

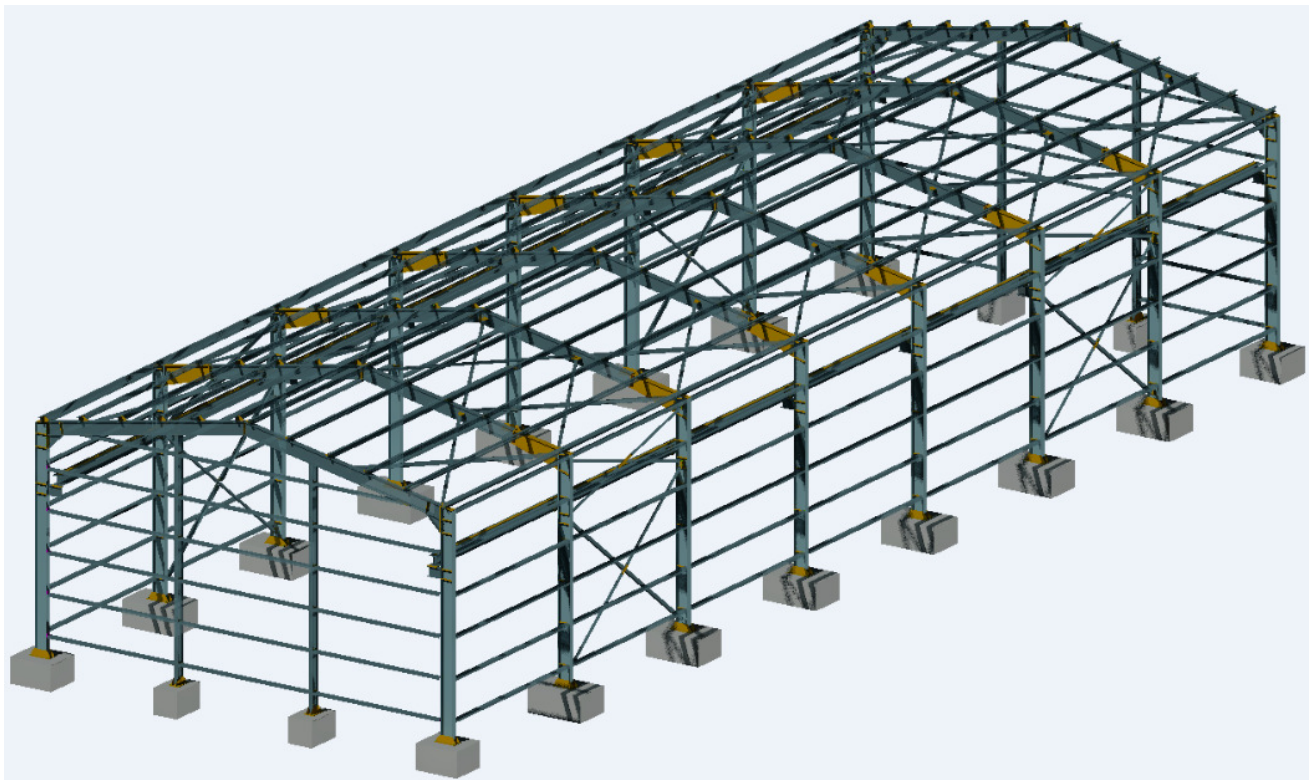
Použitá výpočetní technika

Pro výpočet deformací, vnitřních sil a reakcí posuzované ocelové konstrukce je použit tabulkový kalkulátor „EXCEL“.

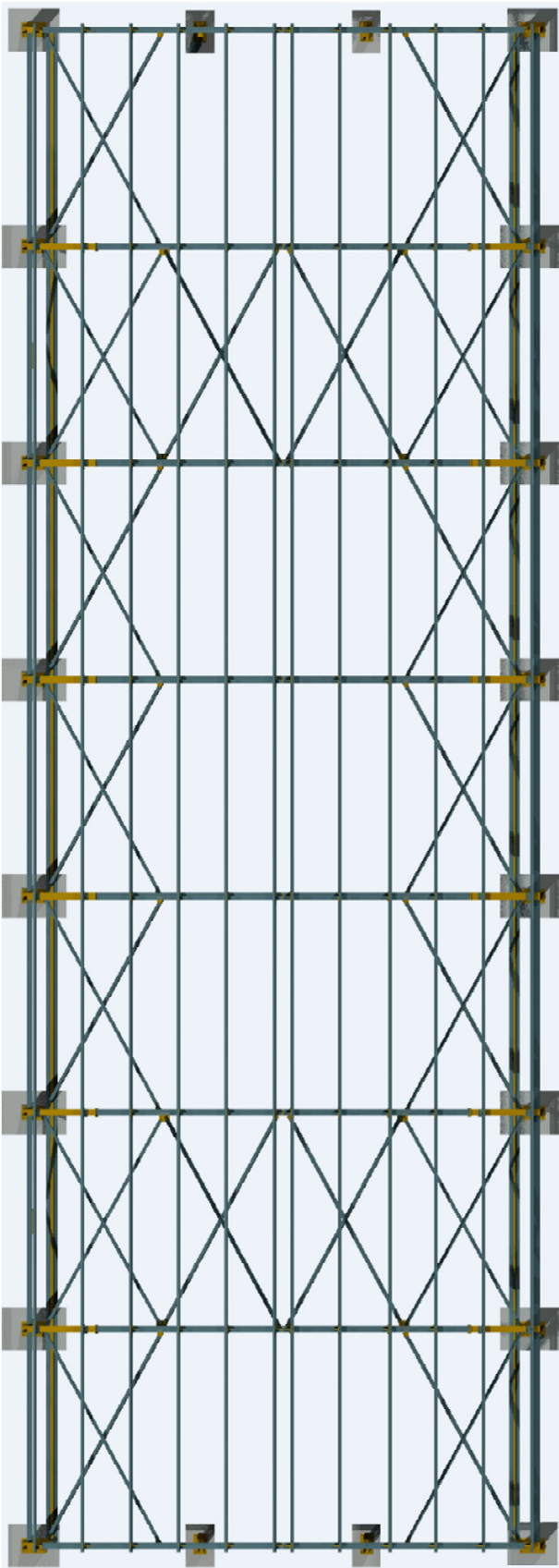
Dispozice konstrukce haly



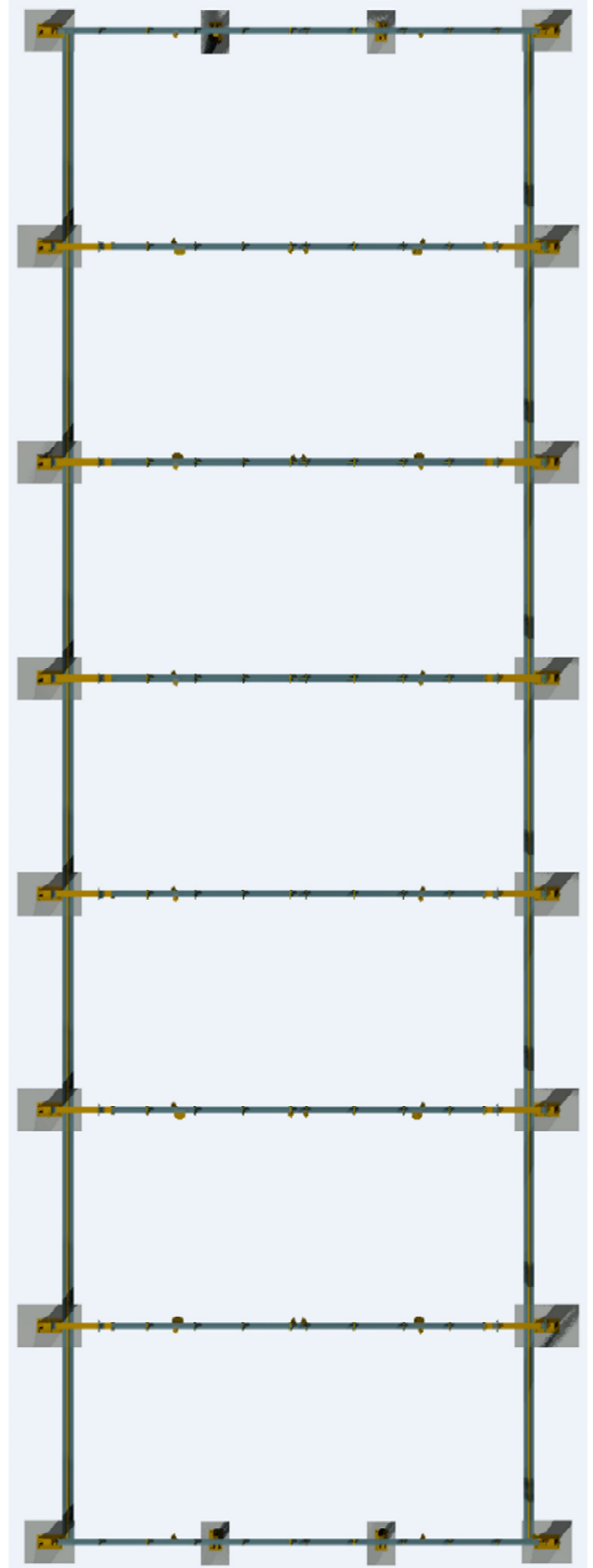
Obrázek 1 - 3D model ocelové konstrukce haly - 1



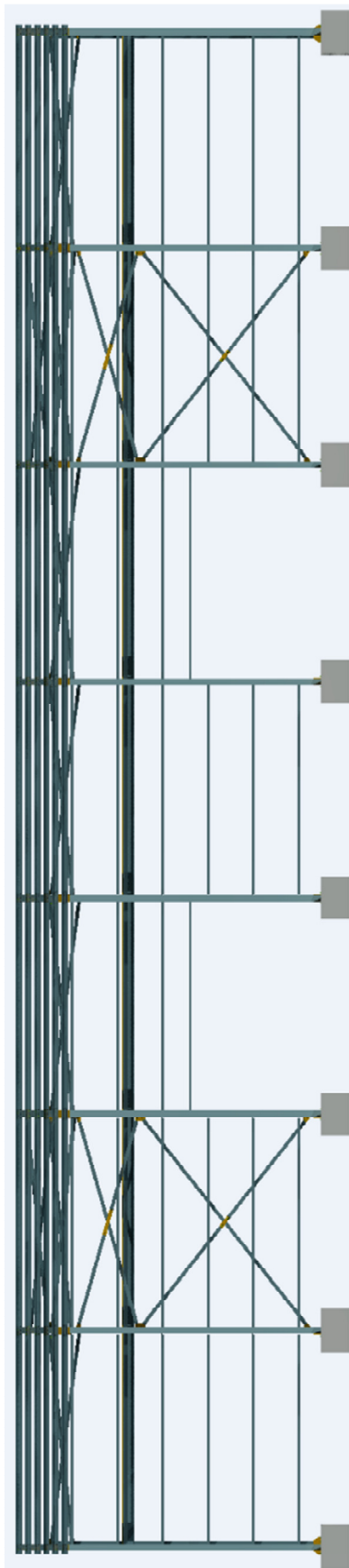
Obrázek 2 - 3D model ocelové konstrukce haly - 2



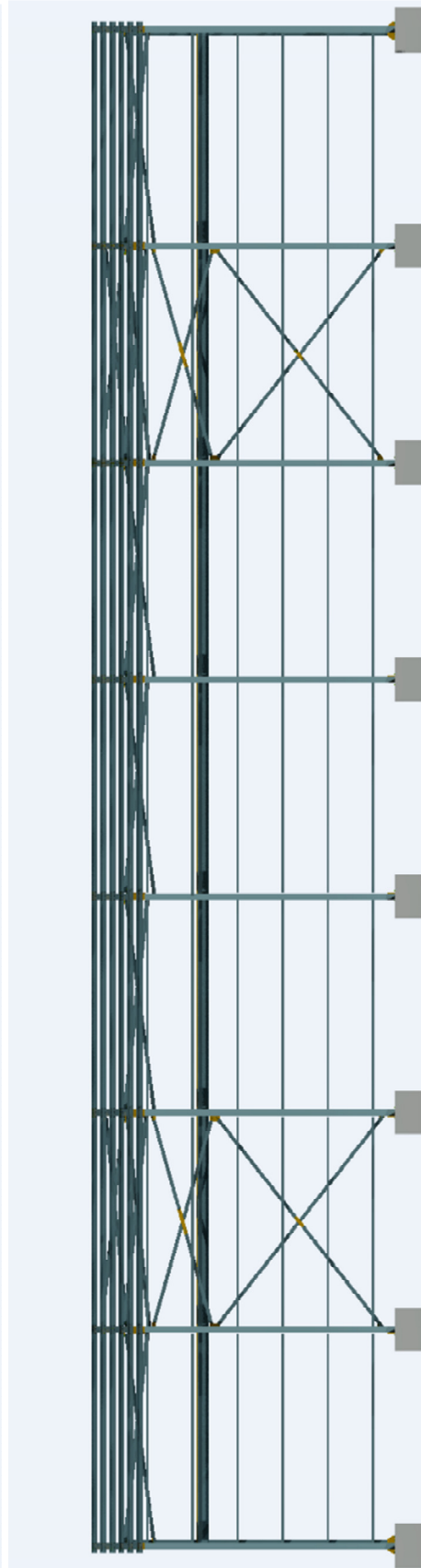
Obrázek 3 - Půdorys střechy



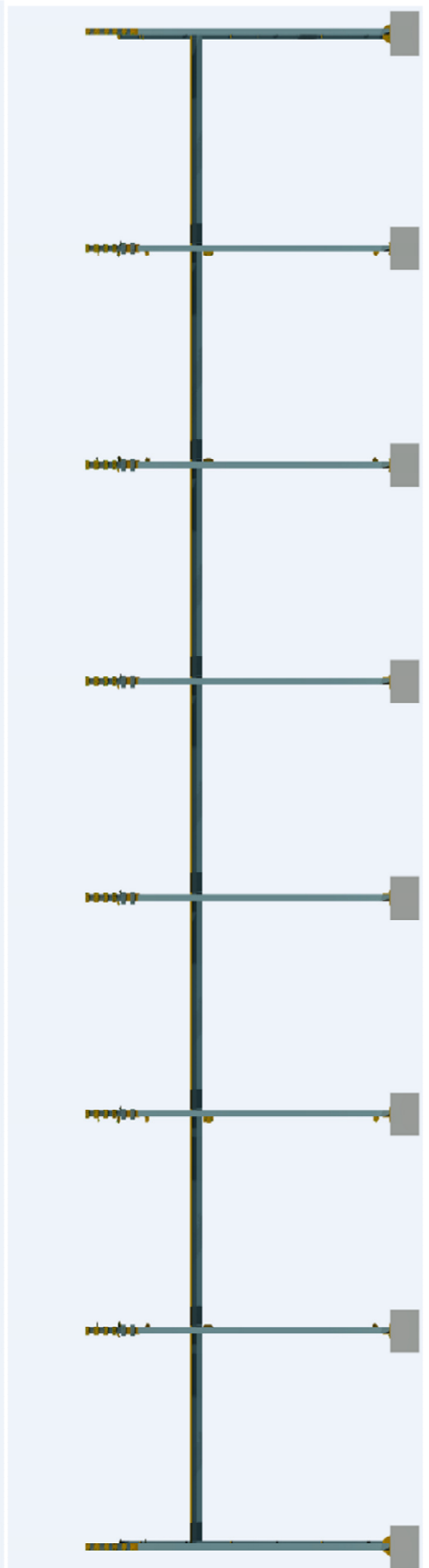
Obrázek 4 - Půdorys JD s rámy



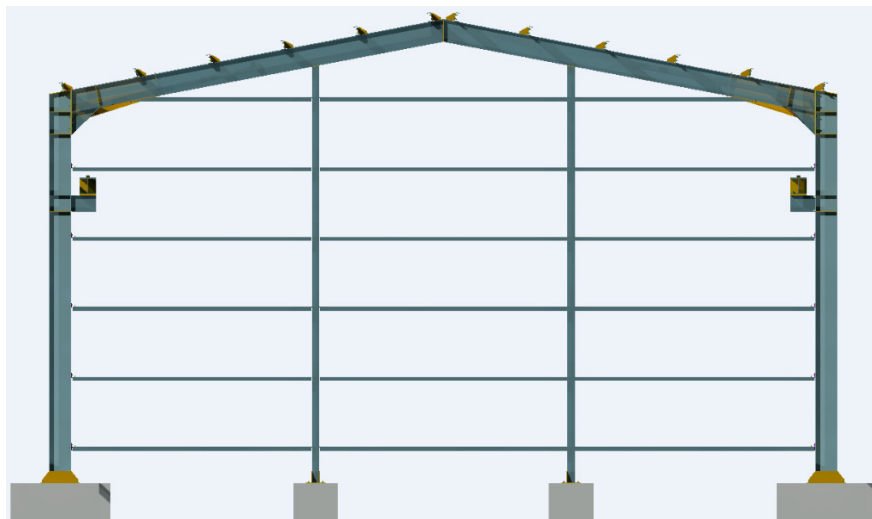
Obrázek 7 - Pohled jihovýchodní



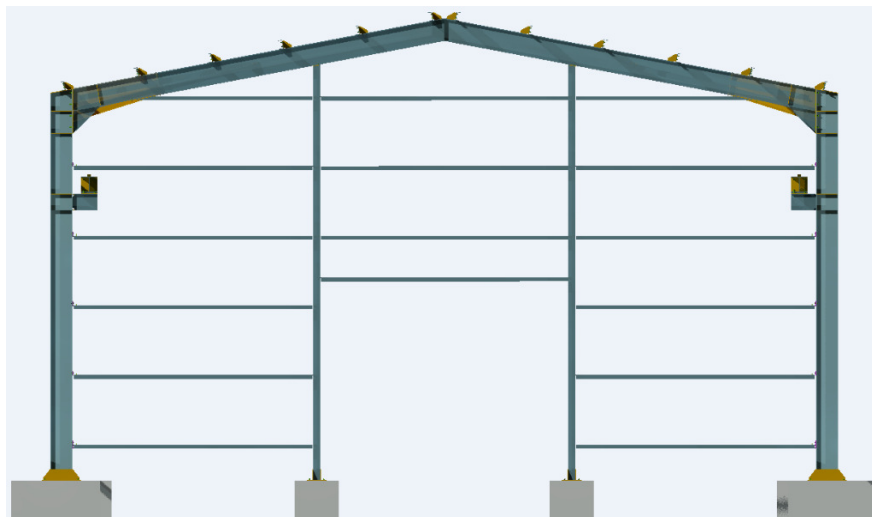
Obrázek 5 - Pohled severozápadní



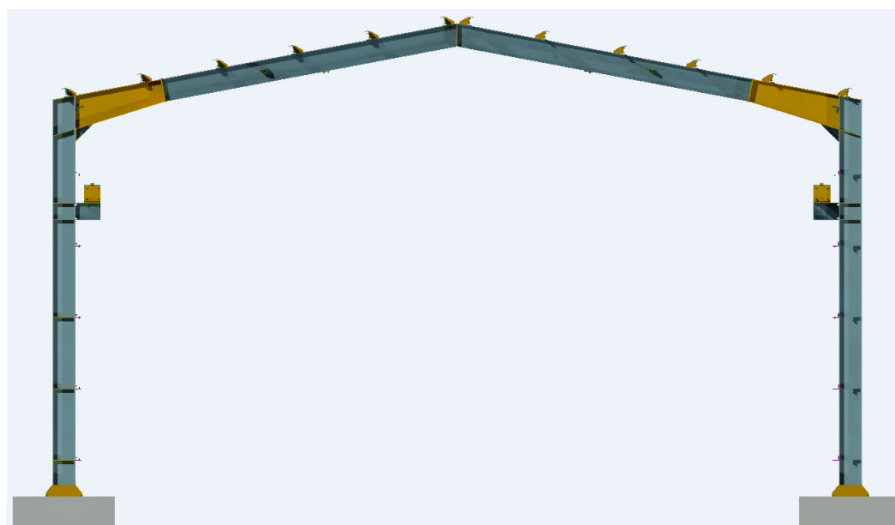
Obrázek 6 – Pohled na JD



Obrázek 8 - Pohled severovýchodní

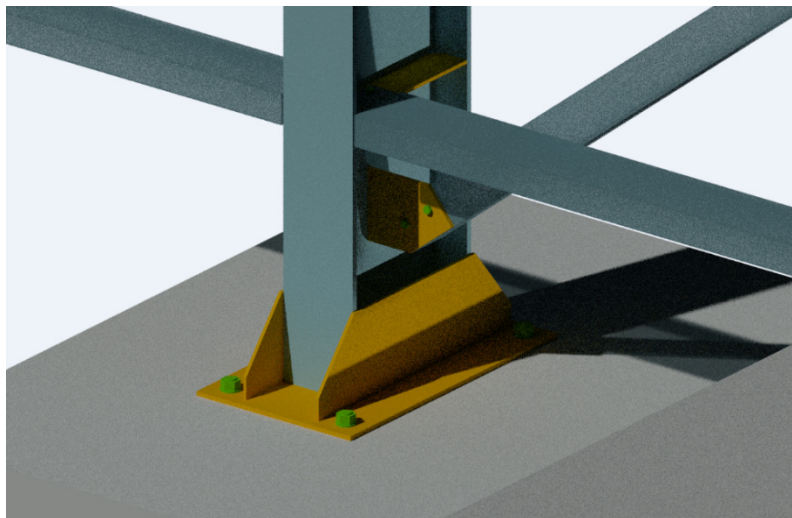


Obrázek 9 - Pohled jihozápadní

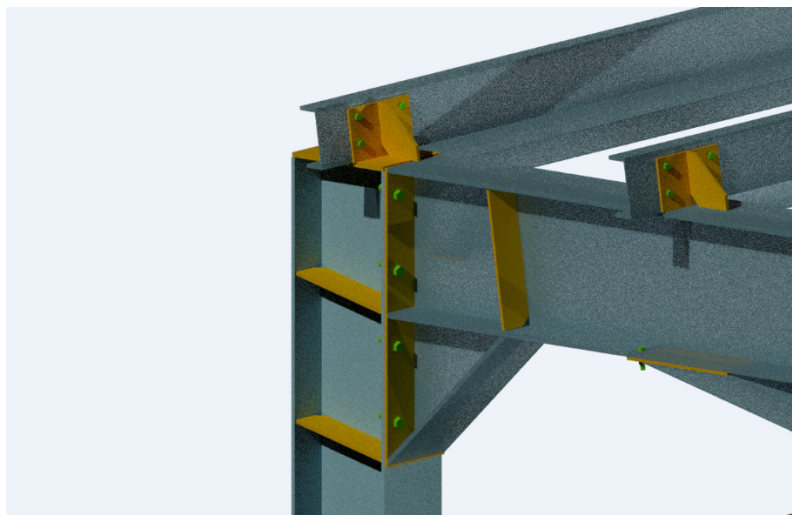


Obrázek 10 - Řez příčný

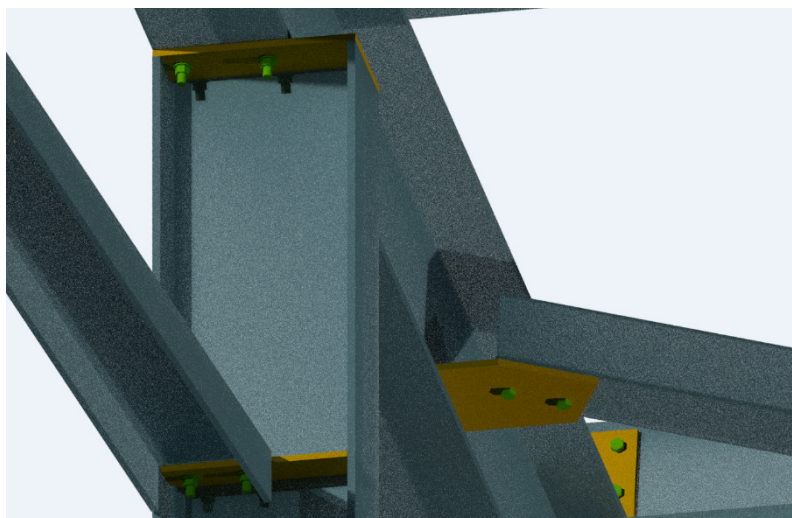
Details



Obrázek 11 – Kotvení sloupů, spoje: paždík – sloup, stěnové ztužidlo - sloup



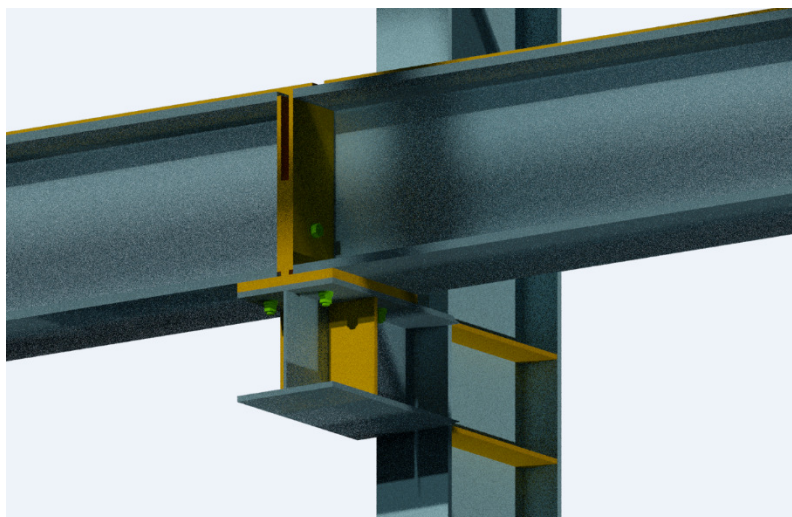
Obrázek 12 - Rámový roh štítové stěny, spoj: vaznice - rámová příčle



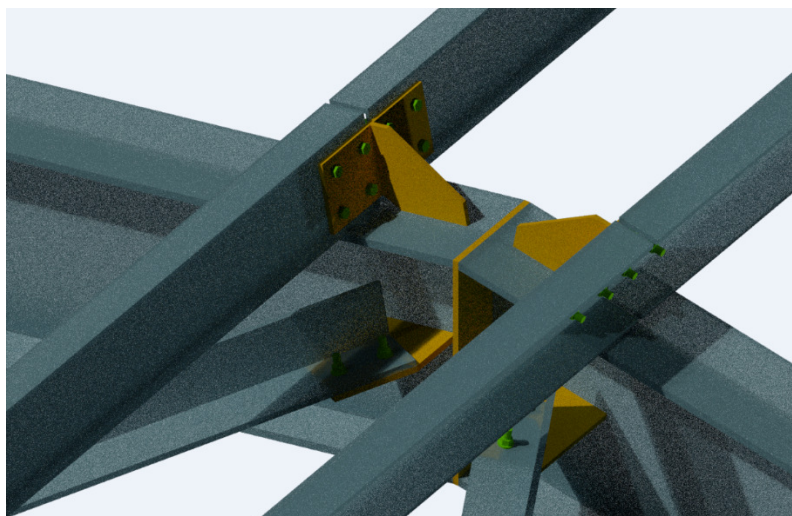
Obrázek 13 - Spoje: štítový sloup - rámová příčle, paždík - štítový sloup, střešní zavětrování - příčle



Obrázek 14 - Rámový roh vnitřního rámu, spoje: vaznice - rámová příčle, stěnové ztužidlo - sloup



Obrázek 15 - Konzola a nosník jeřábové dráhy



Obrázek 16 - Spoj: vrcholové vaznice – rámová příčle, střešní zavětrování - příčle

JEŘÁBOVÉ DRAHY

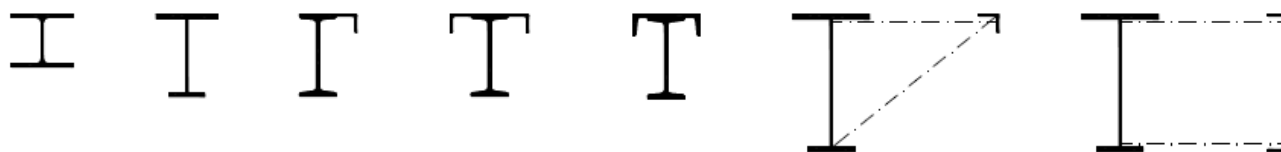
Úvod do problematiky

Definice

Jeřábovou dráhou (JD) se rozumí celá nosná konstrukce, potřebná pro umístění a bezpečný provoz mostových jeřábů. Hlavními prvky jeřábových drah jsou samotné nosníky, kolejnice, přípojovací prvky kolejnic, nárazníky a ložiska. Přes ložiska jsou nosníky JD uloženy na další nosnou konstrukci v podobě konzol a sloupů.

Nosník jeřábové dráhy

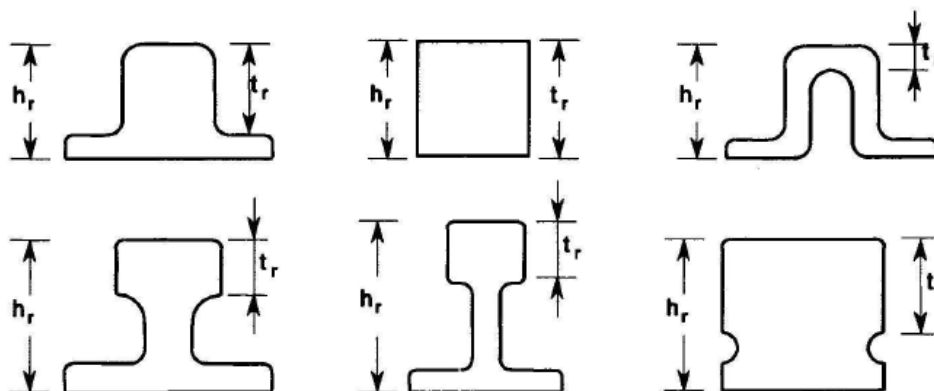
Jedná se o profil, na jehož horní pásnici je umístěna kolejnice, kterou pojíždí samotná kola jeřábu. Je to hlavní a nejvíce namáhaný prvek celé jeřábové konstrukce. Nosník jeřábové dráhy je uložený na sloupech či častěji konzolách přes ložiska.



Obrázek 17 - Příklady průřezů samotných nosníků JD

Kolejnice

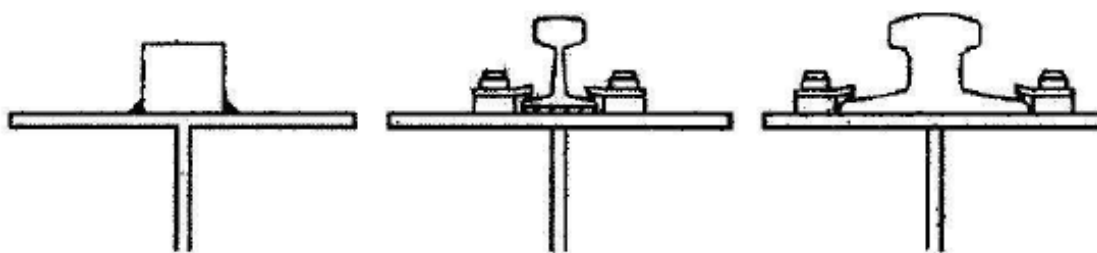
Kolejnice může být navržena z kolejnicových průřezů nebo z čtvercových či častěji obdélníkových tyčí. Přípoj kolejnice k hlavnímu nosníku JD lze zhotovit dvěma způsoby. Jedná se o neposuvný a posuvný konstrukční systém.



Obrázek 18 - Příklady průřezů kolejnic s nejmenší tloušťkou t_r pod pojížděným povrchem kolejnice

Neposuvný konstrukční systém - jedná se o připojení kolejnice k horní pásnici nosníku pomocí přerušovaných svarů nebo lícovaných či předpjatých šroubů. Tento systém se převážně používá u kolejnic z ocelových tyčí obdélníkového či čtvercového průřezu. Při samotném návrhu nosníku JD je výhodou tohoto systému možnost počítání celkového průřezu včetně kolejnice. Nicméně nelze uvažovat průřez kolejnice celý, nýbrž redukovaný, z důvodu opotřebení v průběhu životnosti. Nevýhodou tohoto systému je pak komplikovaná výměna samotné kolejnice, proto je nutno kolejnici navrhovat na celou životnost jeřábové dráhy. Neposuvný konstrukční systém se používá pro jeřáby menších hmotností a nižšího vytížení.

Posuvný konstrukční systém - jedná se o připojení kolejnice k horní pásnici nosníku pomocí přichytek a pružných roznášecích podložek. U tohoto systému nelze při návrhu průřezu nosníku JD kolejnici uvažovat. Výhoda je však v jednoduchosti výměny kolejnice po opotřebení. Posuvný konstrukční systém se používá pro jeřáby vyšších hmotností a vysokému vytížení.



Obrázek 19 - Způsoby připojení kolejnice k horní pásnici nosníku JD

Ložiska

Jedná se o konstrukční prvek, přes který je uložen samotný nosník JD na další konstrukci. Tento prvek musí umožňovat rektifikaci nosníků jeřábové dráhy nejen při montáži, ale po celou životnost JD z důvodu případných poklesů stavby.

Zásady navrhování

Průjezdny profil

Návrh JD spočívá nejprve v koordinaci vstupních požadavků investora, případně v návaznosti na stávající konstrukce. Ze vstupních údajů a požadavků se jako první navrhne vhodný příčný řez. V řezu se dále zohledňují minimální vzdálenosti jeřábu od ostatních konstrukcí normativně 100 mm, pokud není uvedeno dle výrobce jinak. Mezi požadavky investora patří např. velikost jeřábu, výška pro manipulaci s břemenem, četnost zdvihání břemene, dojezdy háků nebo rozdílný průjezd nad případnou vestavbou.

Zatížení

Nosníky jeřábových drah jsou zatěžovány zatížením stálým, proměnným a mimořádným.

Stálé zatížení - jedná se o zatížení od vlastní hmotnosti nosníku JD a kolejnice.

Proměnné zatížení - jedná se o zatížení od hmotnosti jeřábu a hmotnosti kladkostroje včetně břemene. Dělíme na zatížení svislé a vodorovné, které se odvíjí od změn hmotnosti břemene zavěšeného na kladkostroji jeřábu v čase a od změn polohy kladkostroje a jeřábu. Proměnné zatížení svislé se uvažuje od vlastní hmotnosti jeřábu a vlastní hmotnosti břemene včetně kladkostroje. Proměnné zatížení vodorovné se uvažuje z důvodů dynamických účinků jeřábu jako zrychlení a zpomalení jeřábu, zrychlení a zpomalení kočky a příčení jeřábu.

Mimořádné zatížení - jedná se o zatížení od jeřábu při případném nárazu na nárazník. Dále zatížení zkušební, které se používá po instalaci jeřábu při revizních zkouškách.

Životnost

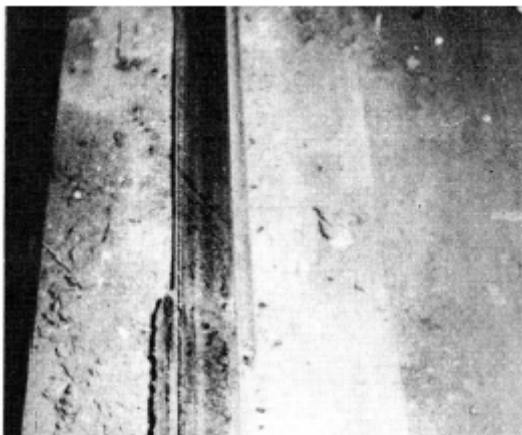
Dle ČSN EN 1993-6 je doporučená návrhová životnost jeřábových drah 25 let, je to doba, po kterou se požaduje plné funkčnosti konstrukce. Pro jeřáby vytížené méně a středně je v ČR životnost upravena normativně po dobu 50 let.

U jeřábů vyšších nosností a velkého vytížení je životnost jeřábových drah nižší a jednotlivé části jsou navrženy na životnost odlišnou. Kolejnice mohou být opotřebovány v řádech měsíců, nosníky JD pak v řádech několika let.

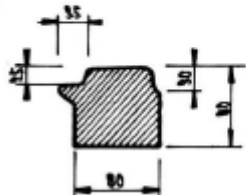
Poruchy a havárie na konstrukcích jeřábových drah

V této kapitole je poukázáno na možné závady a nehody na konstrukcích jeřábových drah. Při jakékoliv poruše nastávají velká rizika ohledně bezpečnosti konstrukce a následně bezpečnosti lidí.

Nejčastějšími závadami na konstrukci jeřábové dráhy je sjetí kolejnice či nákoků kol jeřábů. Tato závada je v průběhu užívání jeřábů nevyhnutelná, nicméně lze její velikost předcházet již při návrhu. Hlavním faktorem u tohoto typu poruchy jsou lokální síly od jeřábů a následně délka návrhu životnosti konstrukce.



ŘEZ KOLEJNICÍ

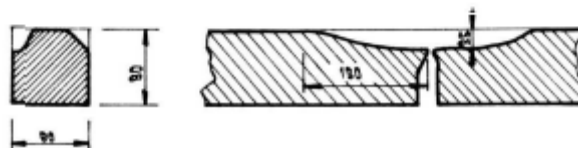


Obrázek 20 - Rozježděný styk a sjetí původně čtvercové kolejnice



PŘÍČNÝ ŘEZ

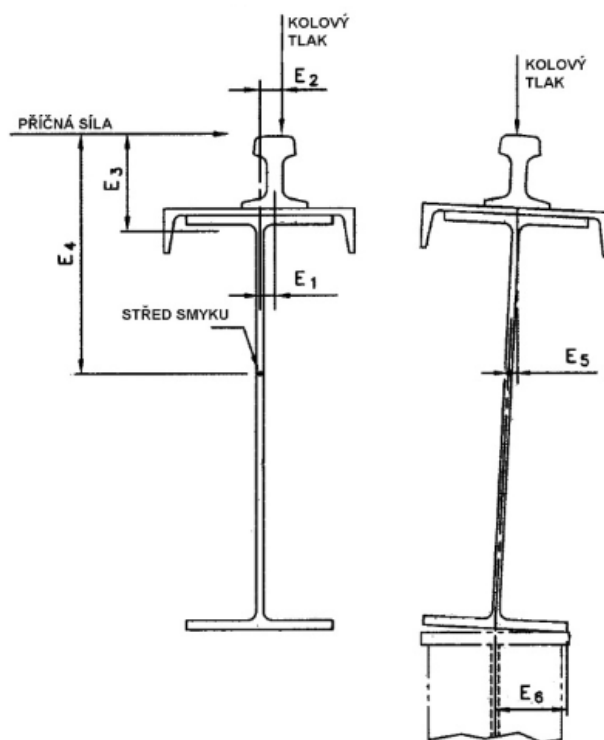
PODÉLNÝ ŘEZ



Obrázek 21 - Rozježděný dilatační styk kolejnice

Závady na konstrukcích jeřábových drah mohou nastat v jakékoliv fázi realizace. Při statickém výpočtu je také nutné dodržovat doporučené mezní posuvy sousedních sloupů, rámu a větví jeřábových drah. Významnou roli hraje dále založení sloupů jeřábové dráhy, při výpočtu je nutné brát v úvahu možné sedání konstrukce. Při samotném projektu se nesmí zapomenout na uložení jeřábové dráhy na podpory přes rektifikaci, díky které je možnost přesnějšího vyrovnání a odstranění tak předešlých nedostatků. Další chyby mohou nastat při samotné výrobě konstrukce. Jedná se o špatné vystředění kolejnice na horním pasu samotného nosníku, čímž vznikne dodatečné zatížení nosníku od excentrického uložení jeřábu.

Všechny výše uvedené nedostatky při projekci, chyby při výrobě a montáži či jiné nedostatky ovlivňují celkovou tuhost a stabilitu konstrukce. Nastávají nepředvídatelné deformace či dodatečné vnitřní síly, na které nebyly prvky jeřábové dráhy dimenzovány. V lepším případě nastává např. zhoršení plynulosti pojezdu jeřábu, v případě horším může nastat kolaps celé konstrukce.

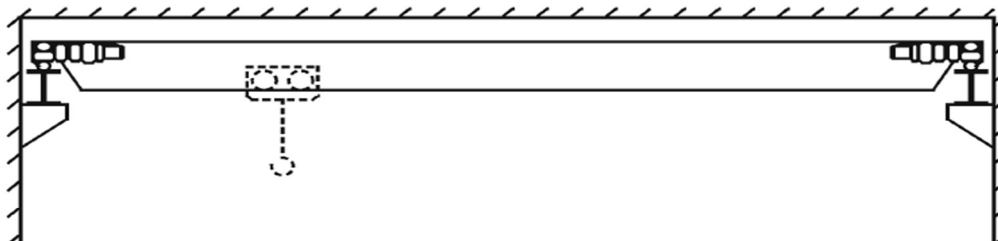


Obrázek 22 - Typy excentricit zatížení na nosnících jeřábových drah

VÝPOČET JEŘÁBOVÉ DRAHY A KONZOLY

Typ Jeřábu:

- Shora montovaný jeřáb s pojízdným kladkostrojem



Značky:

Q_c	vlastní tíha jeřábu
Q_h	zatížení kladkostroje
$H_{L,i}$	podélné síly způsobené zrychlením a zpomalením jeřábu
$H_{T,1, HT,2}$	příčné síly způsobené zrychlením a zpomalením jeřábu
S	síla na vodící prostředky způsobená přičením
H_S	vodorovné síly způsobené přičením jeřábu
$H_{T,3,i}$	příčné síly způsobené zrychlením a zpomalením kočky
Q_T	zkušební zatížení
H_B	síly na nárazníky
$\varphi_1, \dots, \varphi_7$	dynamický součinitel použitý pro zatížení způsobená jeřáby
$Q_{r,max}$	maximální zatížení na jedno kolo zatíženého jeřábu
$Q_{r,(max)}$	doprovodné zatížení na jedno kolo zatíženého jeřábu
$\sum Q_{r,max}$	součet maximálních zatížení $Q_{r,max}$ na jednu jeřábovou dráhu zatíženého jeřábu
$\sum Q_{r,(max)}$	součet doprovodných zatížení $Q_{r,(max)}$ na jednu jeřábovou dráhu zatíženého jeřábu
$Q_{r,min}$	minimální zatížení na jedno kolo zatíženého jeřábu
$Q_{r,(min)}$	doprovodné zatížení na jedno kolo nezatíženého jeřábu
$\sum Q_{r,min}$	součet minimálních zatížení $Q_{r,(min)}$ na jednu jeřábovou dráhu nezatíženého jeřábu
$\sum Q_{r,(min)}$	součet doprovodných zatížení $Q_{r,(min)}$ na jednu jeřábovou dráhu nezatíženého jeřábu

Druhy dynamických součinitelů:

φ_1	buzení vibrační konstrukce jeřábu při zvednutí zatížení kladkostroje ze země
φ_2	dynamické účinky zatížení kladkostroje při zvedání ze země k jeřábu
φ_3	dyn. účinek náhlého uvolnění užitečného zat., jestliže jsou použity např. drapáky nebo magnety
φ_4	dynamické účinky, vznikající při pojezdu na kolejkách nebo jeřábových drahách
φ_5	dynamické účinky vyvolané hnacími silami
φ_6	dynamické účinky zkušebního zatížení, které se pohybuje po dráze jeřábu pomocí pohonů
φ_7	dynamický pružný účinek nárazu na nárazníky

Účinky jeřábu GJMJ 10t / 13,80 m

ZATÍŽENÍ	VELIČINA	HODNOTA (kN)	$\gamma_{Q,sup}$
VLASTNÍ TÍHA JEŘÁBU	Q_C	10,35	1,35
ZATÍŽENÍ KLADKOSTROJE	Q_H	79,83	1,35
ZRYCHLENÍ MOSTU JEŘÁBU	H_{L1}	3,39	1,35
	H_{L2}	3,39	1,35
	H_{T1}	1,97	1,35
	H_{T2}	10,22	1,35
Síla na vedení	S	27,71	1,35
PŘÍČENÍ MOSTU JEŘÁBU	$H_{S,1,1,T}$	4,47	1,35
	$H_{S,2,1,T}$	23,23	1,35
ZRYCHLENÍ NEBO BRZDĚNÍ KOČKY	$H_{T3,1}$	7,98	1,35
	$H_{T3,2}$	0,70	1,35
VÍTR PŘI PROVOZU	F_W	-	-
ZKUŠEBNÍ ZATÍŽENÍ	$Q_{T,125}$	107,42	1
	$Q_{T,110}$	97,08	1
SÍLY NA NÁRAZNÍK	H_B	16,00	1,25
KLOPNÉ SÍLY	H_{TA}	-	-

VSTUPNÍ PARAMETRY JEŘÁBU

HMOTNOST CELKOVÁ	6 510,0 kg
HMOT.KOČKA	2 370,0 kg
NOSNOST	15 000,0 kg
RYCHLOST JEŘÁBU	32,0 m/min
RYCHL. ZDVIHU	4,0 m/min
ROZPĚTÍ	13,800 m
DOJEZD KOČKY	1,115 m
ROZVOR	2,6 m
KOLEJNICE	65,0 mm
VŮLE NÁKOLKŮ	15,0 mm

Kategorie zvedacího zařízení - Tab. B.1

HC2

DYNAMICKÉ SOUČINITELE	φ_1	=	1,10	HODNOTA (kN)	
	φ_2	=	1,12		
	φ_3	=	1,00		
	φ_4	=	1,00		
	φ_5	=	1,50		
	φ_6	=	1,00 (stat.)		
	φ_6	=	1,06 (dyn.)		
	φ_7	=	1,25		
KOLOVÝ TLAK - ZATÍŽENÍ CHARAKTERISTICKE			$Q_{r,k}$	101,01	
KOLOVÝ TLAK - ZATÍŽENÍ NAVRHOVE			$Q_{r,d}$	136,36	
KONTROLNÍ ÚDAJE	$\Sigma Q_{r,max}$	180,37 kN	$Q_{r,max}$	90,18 kN	
	svislé síly celkem	$\Sigma Q_{r,(max)}$	34,73 kN	$Q_{r,(max)}$	17,37 kN
	(bez dyn. součinitelů)	$\Sigma Q_{r,min}$	22,61 kN	$Q_{r,min}$	11,31 kN
		$\Sigma Q_{r,(min)}$	42,49 kN	$Q_{r,(min)}$	21,24 kN

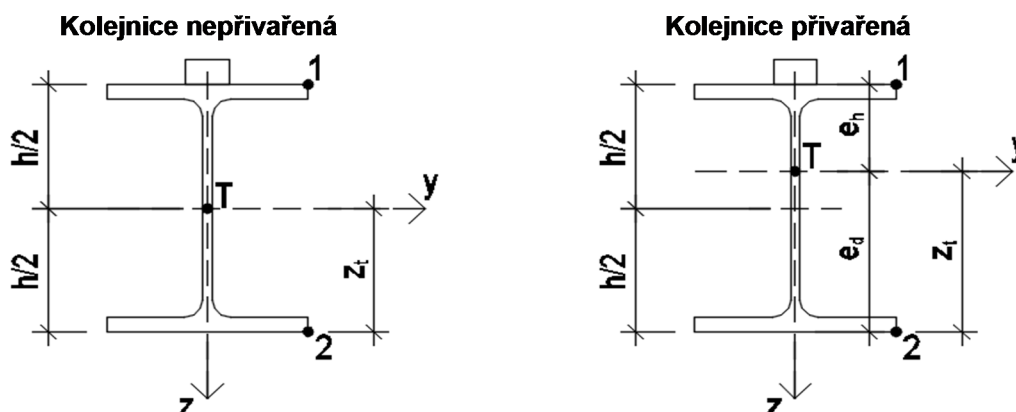
Skupiny zatížení a dynamických součinitelů viz ČSN EN 1991-3, tab. 2.2
Značení veličin a působení sil viz ČSN EN 1991-3 obr. 2.6; 2.7; 2.8; NA 2.4

Zpracoval :
V Příšovicích

Poláček
10.7.2017

1

¹ Podklad od GIGA, spol. s.r.o.

Nosník jeřábové dráhy z ocelového profilu HEA 400 – S355

Všeobecné údaje:

Nosnost jeřábu:	$V_b = 15$ t	Dojezd kočky:	$s_H = 1,115$ m
Pracovní režim jeřábu:	2 Střední	Rychlost pojezdu jeřábu:	$v_x = 32$ m/min = 0,5 m/s
Hmotnost celého jeřábu:	$m_j = 6,51$ t	Rychlost zdvihu břemene:	$v_y = 4$ m/min = 0,1 m/s
Z toho hmotnost kočky:	$m_K = 2,37$ t	Poměr nosnosti a hmotnosti:	$V_b/m_j = 2,3041$
Délka nosníku	$l = 6$ m	Umístění jeřábu:	i Interiér
Rozchod jeřábu:	$s = 13,8$ m	Stykovaná kolejnice:	a Stykovaná
Rozvor jeřábu:	$a = 2,2$ m	Přivařená kolejnice:	n Nepřivařená

Návrh profilu:
Navržený profil: HEA 400

$G = 125$ kg/m	$I_y = 450,70 \cdot 10^6$ mm ⁴	$I_z = 85,64 \cdot 10^6$ mm ⁴
$h = 390$ mm	$W_y = 2311,28 \cdot 10^3$ mm ³	$W_z = 570,93 \cdot 10^3$ mm ³
$b = 300$ mm	$W_{pl,y} = 2562,00 \cdot 10^3$ mm ³	$W_{pl,z} = 872,90 \cdot 10^3$ mm ³
$A = 15900$ mm ²	$W_w = 106,00 \cdot 10^6$ mm ⁴	$I_{\omega} = 2942,00 \cdot 10^9$ mm ⁶
$t_f = 19$ mm	$t_w = 11$ mm	$I_T = 1890,00 \cdot 10^3$ mm ⁴
Materiál: OCEL S 355	$f_y = 355$ Mpa	$r = 27$ mm

Kolejnice: PLO 65 x 40 Nepřivařená k nosníku

$G = 20,8$ kg/m	$I_y = 0,34667 \cdot 10^6$ mm ⁴	$I_z = 0,91542 \cdot 10^6$ mm ⁴
$h_r = 40$ mm	$W_y = 17,33 \cdot 10^3$ mm ³	$W_z = 28,17 \cdot 10^3$ mm ³
$b_r = 65$ mm	$W_{pl,y} = 26,00 \cdot 10^3$ mm ³	$W_{pl,z} = 42,25 \cdot 10^3$ mm ³
Materiál: OCEL S 235	$f_y = 235$ Mpa	$A = 2600$ mm ²

Celý profil:

$G = 145,8$ kg/m	$Z_t = 195,00$ mm	$W_{y,1} = 2311,28 \cdot 10^3$ mm ³
$h = 390$ mm	$e_h = 195,00$ mm	$W_{y,2} = 2311,28 \cdot 10^3$ mm ³
$b = 300$ mm	$e_d = 195,00$ mm	$I_z = 86,56 \cdot 10^6$ mm ⁴
$A = 15900$ mm ²	$I_y = 450,70 \cdot 10^6$ mm ⁴	$W_z = 577,04 \cdot 10^3$ mm ³

Součinitele spolehlivosti materiálu:

$\gamma_{M0} = 1,00$	$\gamma_{M1} = 1,00$	$\gamma_{M2} = 1,25$
----------------------	----------------------	----------------------

Zatížení

Doporučené hodnoty dílčích součinitelů spolehlivosti:

Zatížení	Značka	Situace	
		P/T	A
Stálá zatížení od jeřábů			
- nepříznivý	$\gamma_{G\ sup}$	1,35	1,00
- příznivý	$\gamma_{G\ inf}$	1,00	1,00
Proměnná zatížení od jeřábů			
- nepříznivý	$\gamma_{G\ sup}$	1,35	1,00
- příznivý	$\gamma_{G\ inf}$		
- s jeřábem		1,00	1,00
- bez jeřábu		0,00	0,00
Ostatní proměnná zatížení			
- nepříznivý	γ_Q	1,50	1,00
- příznivý		0,00	0,00
Mimořádná	γ_A	-	1,00

P - trvalá situace T- dočasná situace A - mimořádná situace

Hodnoty dynamických součinitelů:

$$\begin{matrix} \varphi_1 = 1,10 & \varphi_3 = 1,00 & \varphi_5 = 1,50 & \varphi_6 = 1,06 \text{ (dyn.)} \\ \varphi_2 = 1,12 & \varphi_4 = 1,00 & \varphi_6 = 1,00 \text{ (stat.)} & \varphi_6 = 1,25 \end{matrix}$$

Stálé (vl. tíha jeřábové dráhy):

- Vlastní tíha celého nosníku

Charakteristické:

$$g_k = 1,46 \text{ kN/m}$$

γ_G

$$1,35$$

Návrhové:

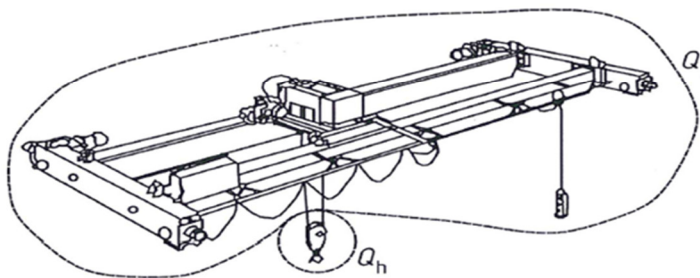
$$g_d = 1,97 \text{ kN/m}$$

Proměnné od jeřábu - svislé:

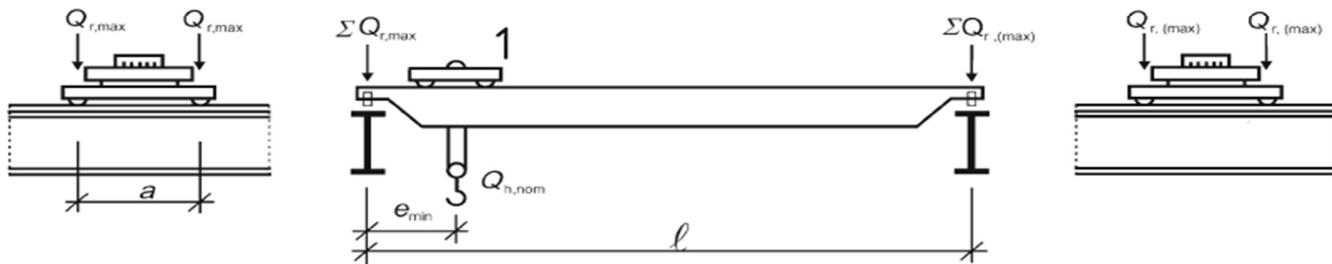
- Vlastní tíha jeřábu Q_c a zatížení kladkostroje Q_h

$$Q_c = 10,35 \text{ kN}$$

$$Q_h = 79,83 \text{ kN}$$

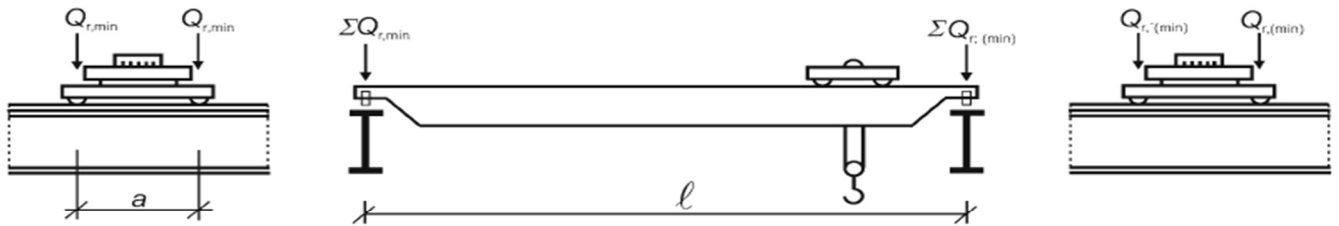


- Uspořádání zatíženého jeřábu při maximálním zatížení nosníku jeřábové dráhy



$$\sum Q_{r,max} = 180,37 \text{ kN} \quad \sum Q_{r,(max)} = 34,73 \text{ kN} \quad Q_{r,max} = 90,18 \text{ kN} \quad Q_{r,(max)} = 17,37 \text{ kN}$$

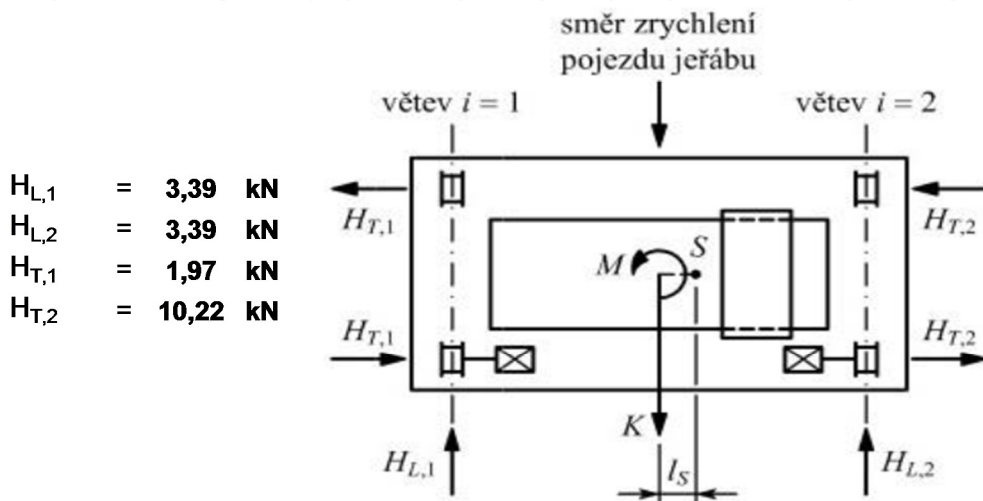
- Uspořádání zatíženého jeřábu při minimálním zatížení nosníku jeřábové dráhy



$$\Sigma Q_{r,min} = 22,61 \text{ kN} \quad \Sigma Q_{r,(min)} = 24,49 \text{ kN} \quad Q_{r,min} = 11,31 \text{ kN} \quad Q_{r,(min)} = 21,24 \text{ kN}$$

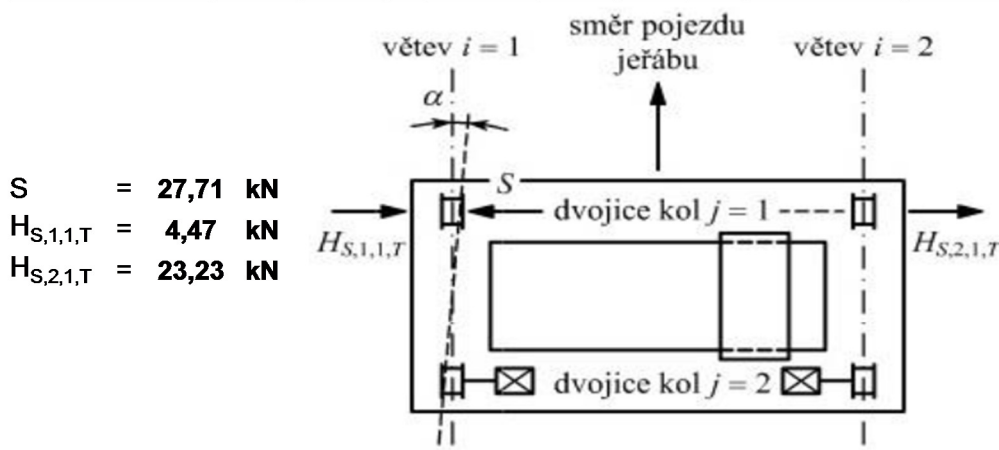
Proměnné od jeřábu - vodorovné:

- Zrychlení mostu jeřábu (Uspořádání podélných a příčných sil od kol, způsobených zrychlením a zpomalením)



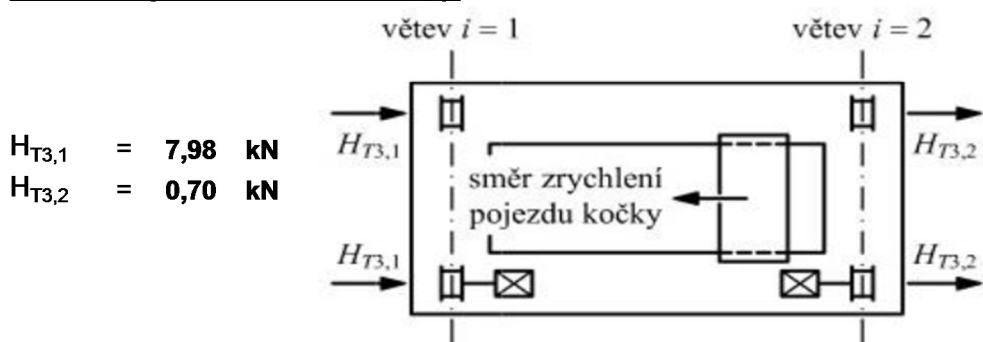
$$\begin{aligned} H_{L,1} &= 3,39 \text{ kN} \\ H_{L,2} &= 3,39 \text{ kN} \\ H_{T,1} &= 1,97 \text{ kN} \\ H_{T,2} &= 10,22 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Síla na vedení, příčení jeřábu (Uspořádání podélných a příčných vodorovných sil od kol, způsobených příčením)



$$\begin{aligned} S &= 27,71 \text{ kN} \\ H_{S,1,1,T} &= 4,47 \text{ kN} \\ H_{S,2,1,T} &= 23,23 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Síla od rozjezdu nebo brzdění kočky



$$\begin{aligned} H_{T3,1} &= 7,98 \text{ kN} \\ H_{T3,2} &= 0,70 \text{ kN} \end{aligned}$$

Rozbor skupin zatížení

Skupiny zatížení a dynamických součinitelů uvažovaných jako jedno charakteristické zat. od jeřábu:

Zatížení	Značka	Skupina zatížení				
		Mezní stav únosnosti				
		1	3	4	5	6
Vlastní tíha jeřábu	Q_C	φ_1	1	φ_4	φ_4	φ_4
Zatížení kladkostroje	Q_H	φ_2	-	φ_4	φ_4	φ_4
Zrychlení mostu jeřábu	H_L, H_t	φ_5	φ_5	φ_5	-	-
Příčení mostu jeřábu	H_S, S	-	-	-	1	-
Zrychlení kočky	H_{T3}	-	-	-	-	1

Mezní stav únosnosti - skupiny zatížení

Chrakteristické:	φ	S dynamickými součiniteli:	$\gamma_{G\ sup}$	Návrhové:
Zatěžovací skupina č. 1				
$Q_C = 10,35$ kN	φ_1	$10,35 \cdot 1,10 = 11,39$ kN	1,35	$11,39 \cdot 1,35 = 15,37$ kN
$Q_H = 79,83$ kN	φ_2	$79,83 \cdot 1,12 = 89,41$ kN	1,35	$89,41 \cdot 1,35 = 120,70$ kN
$H_{L,i} = 3,39$ kN	φ_5	$3,39 \cdot 1,50 = 5,09$ kN	1,35	$5,09 \cdot 1,35 = 6,86$ kN
$H_{T1} = 1,97$ kN	φ_5	$1,97 \cdot 1,50 = 2,96$ kN	1,35	$2,96 \cdot 1,35 = 3,99$ kN
$H_{T2} = 10,22$ kN	φ_5	$10,22 \cdot 1,50 = 15,33$ kN	1,35	$15,33 \cdot 1,35 = 20,70$ kN
Zatěžovací skupina č. 3				
$Q_C = 10,35$ kN	1	$10,4 \cdot 1 = 10,35$ kN	1,35	$10,35 \cdot 1,35 = 13,97$ kN
$Q_H = 79,83$ kN	-	$79,8 \cdot - = -$ kN	1,35	$- \cdot 1,35 = -$ kN
$H_{L,i} = 3,39$ kN	φ_5	$3,4 \cdot 1,50 = 5,09$ kN	1,35	$5,09 \cdot 1,35 = 6,86$ kN
$H_{T,1} = 1,97$ kN	φ_5	$2,0 \cdot 1,50 = 2,96$ kN	1,35	$2,96 \cdot 1,35 = 3,99$ kN
$H_{T,2} = 10,22$ kN	φ_5	$10,2 \cdot 1,50 = 15,33$ kN	1,35	$15,33 \cdot 1,35 = 20,70$ kN
Zatěžovací skupina č. 4				
$Q_C = 10,35$ kN	φ_4	$10,4 \cdot 1,00 = 10,35$ kN	1,35	$10,35 \cdot 1,35 = 13,97$ kN
$Q_H = 79,83$ kN	φ_4	$79,8 \cdot 1,00 = 79,83$ kN	1,35	$79,83 \cdot 1,35 = 107,77$ kN
$H_{L,i} = 3,39$ kN	φ_5	$3,4 \cdot 1,50 = 5,09$ kN	1,35	$5,09 \cdot 1,35 = 6,86$ kN
$H_{T,1} = 1,97$ kN	φ_5	$2,0 \cdot 1,50 = 2,96$ kN	1,35	$2,96 \cdot 1,35 = 3,99$ kN
$H_{T,2} = 10,22$ kN	φ_5	$10,2 \cdot 1,50 = 15,33$ kN	1,35	$15,33 \cdot 1,35 = 20,70$ kN
Zatěžovací skupina č. 5				
$Q_C = 10,35$ kN	φ_4	$10,4 \cdot 1,00 = 10,35$ kN	1,35	$10,35 \cdot 1,35 = 13,97$ kN
$Q_H = 79,83$ kN	φ_4	$79,8 \cdot 1,00 = 79,83$ kN	1,35	$79,83 \cdot 1,35 = 107,77$ kN
S = 27,71 kN	1	$27,7 \cdot 1 = 27,71$ kN	1,35	$27,71 \cdot 1,35 = 37,41$ kN
$H_{s,1,1} = 4,47$ kN	1	$4,5 \cdot 1 = 4,47$ kN	1,35	$4,47 \cdot 1,35 = 6,03$ kN
$H_{s,2,1} = 23,23$ kN	1	$23,2 \cdot 1 = 23,23$ kN	1,35	$23,23 \cdot 1,35 = 31,36$ kN
Zatěžovací skupina č. 6				
$Q_C = 10,35$ kN	φ_4	$10,4 \cdot 1,00 = 10,35$ kN	1,35	$10,35 \cdot 1,35 = 13,97$ kN
$Q_H = 79,83$ kN	φ_4	$79,8 \cdot 1,00 = 79,83$ kN	1,35	$79,83 \cdot 1,35 = 107,77$ kN
$H_{T3,1} = 7,98$ kN	1	$8,0 \cdot 1 = 7,98$ kN	1,35	$7,98 \cdot 1,35 = 10,77$ kN
$H_{T3,2} = 0,70$ kN	1	$0,7 \cdot 1 = 0,70$ kN	1,35	$0,70 \cdot 1,35 = 0,95$ kN

Výpočet vnitřních sil - rozhoduje skupina zatížení č. 1, č. 5 a č. 6

Vnitřní síly svislé

- Vnitřní síly od vlastní tíhy jeřábové dráhy

$$V_{g,Ed,z} = \frac{1}{2} \cdot g_d \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 1,97 \cdot 6 = 5,90 \text{ kN}$$

$$M_{g,Ed,y} = \frac{1}{8} \cdot g_d \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot 1,97 \cdot 6^2 = 8,86 \text{ kNm}$$

- Vnitřní síly od působení jeřábu

- Postavení kol pro vyvození max. vnitřních sil

Rozpětí nosníku $l = 6,00 \text{ m}$

Rozvor jeřábu $a = 2,20 \text{ m}$

Rozpětí nosníku $l/2 = 3,00 \text{ m}$

Rozvor jeřábu $a/4 = 0,55 \text{ m}$

- Síly od zatěžovací skupiny č. 1

$$F_1 = Q_C + Q_H = 136,07 \text{ kN}$$

$$F_2 = F_1 = 136,07 \text{ kN}$$

- Síly od zatěžovací skupiny č. 5

$$F_1 = Q_C + Q_H = 121,74 \text{ kN}$$

$$F_2 = F_1 = 121,74 \text{ kN}$$

- Síly od zatěžovací skupiny č. 6

$$F_1 = Q_C + Q_H = 121,74 \text{ kN}$$

$$F_2 = F_1 = 121,74 \text{ kN}$$

- Detailní výpočet pro skupinu č. 1

$$R_{b,z} = \frac{F_1 \cdot \left(\frac{l}{2} + \frac{a}{4} - a \right) + F_2 \cdot \left(\frac{l}{2} + \frac{a}{4} \right)}{l} = \frac{136,07 \cdot \left(\frac{6,0}{2} + \frac{2,2}{4} - 2,2 \right) + 136,07 \cdot \left(\frac{6,0}{2} + \frac{2,2}{4} \right)}{6,0} = 111,13 \text{ kN}$$

$$R_{a,z} = - R_{b,z} + 2 \cdot F_1 = - 111,13 + 2 \cdot 136,07 = 161,02 \text{ kN}$$

$$V_{1,Ed,z} = R_{a,z} = 161,02 \text{ kN}$$

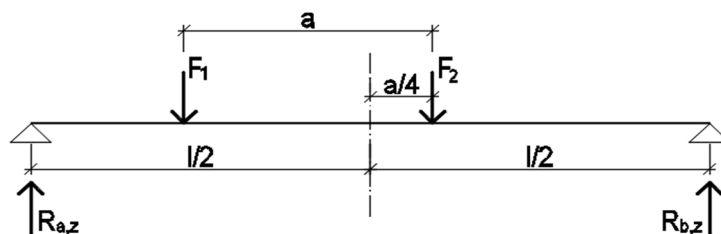
$$M_{1,Ed,y} = + R_{b,z} \cdot \left(\frac{l}{2} - \frac{a}{4} \right) = + 111,13 \cdot \left(\frac{6,0}{2} - \frac{2,2}{4} \right) = 272,26 \text{ kNm}$$

$$V_{5,Ed,z} = 144,06 \text{ kN}$$

$$M_{5,Ed,y} = 243,59 \text{ kNm}$$

$$V_{6,Ed,z} = 144,06 \text{ kN}$$

$$M_{6,Ed,y} = 243,59 \text{ kNm}$$



Vnitřní síly vodorovné - podélné

- Vnitřní síly od zrychlení mostu jeřábu

$$z = h + h_r = 390 + 40 = 430 \text{ mm}$$

$$R_{a,x} = H_{L,d} = 6,86 \text{ kN}$$

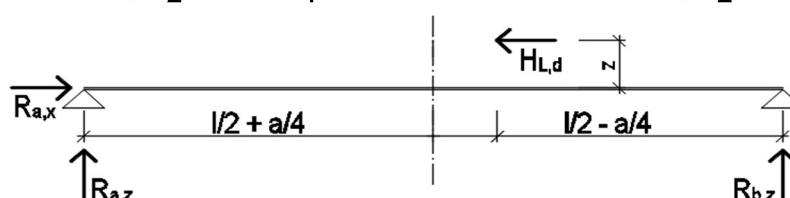
$$R_{a,z} = \frac{H_{L,d} \cdot z}{l} = \frac{6,86 \cdot 0,43}{6} = 0,49 \text{ kN}$$

$$R_{b,z} = - R_{a,z} = -0,49 \text{ kN}$$

$$N_{L,Ed} = R_{a,x} = 6,86 \text{ kN}$$

$$V_{L,Ed,z} = + R_{a,z} = 0,49 \text{ kN}$$

$$M_{L,Ed,y} = + R_{a,z} \cdot \left(\frac{l}{2} + \frac{a}{4} \right) = + 0,49 \cdot \left(\frac{6,0}{2} + \frac{2,2}{4} \right) = 1,75 \text{ kNm}$$



Vnitřní síly vodorovné - příčné

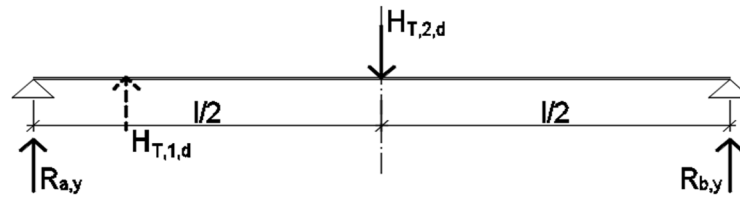
- Vnitřní síly od zrychlení mostu jeřábu

$$R_{a,y} = R_{b,y} = \frac{1}{2} \cdot H_{T,2,d} =$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 20,70 = 10,35 \text{ kN}$$

$$V_{H,T,Ed,y} = + R_{a,y} = 10,35 \text{ kN}$$

$$M_{H,T,Ed,z} = + R_{b,y} \cdot \left(\frac{l}{2} \right) = + 10,35 \cdot \left(\frac{6,00}{2} \right) = 31,04 \text{ kNm}$$



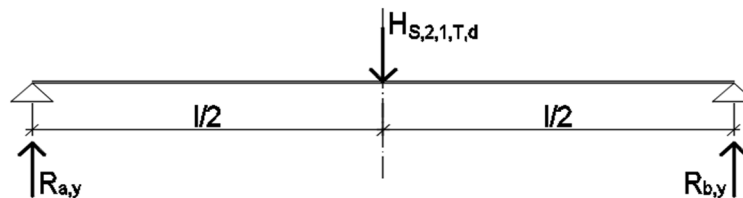
- Vnitřní síly od přičení mostu jeřábu

$$R_{a,y} = R_{b,y} = \frac{1}{2} \cdot H_{S,2,1,T,d} =$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 31,36 = 15,68 \text{ kN}$$

$$V_{S,Ed,y} = + R_{a,y} = 15,68 \text{ kN}$$

$$M_{S,Ed,z} = + R_{b,y} \cdot \left(\frac{l}{2} \right) = + 15,68 \cdot \left(\frac{6,00}{2} \right) = 47,04 \text{ kNm}$$



- Vnitřní síly od zrychlení kočky

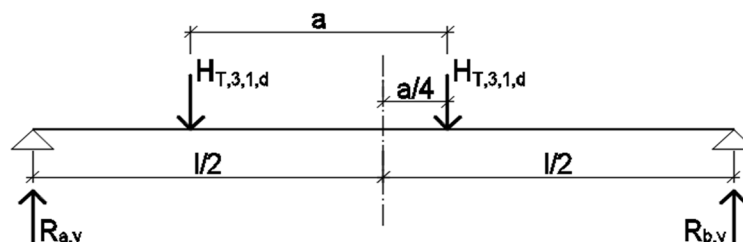
$$R_{b,y} = \frac{H_{T3,1,d} \cdot \left(\frac{l}{2} + \frac{a}{4} - a \right) + H_{T3,1,d} \cdot \left(\frac{l}{2} + \frac{a}{4} \right)}{l} =$$

$$= \frac{10,77 \cdot \left(\frac{6,0}{2} + \frac{2,2}{4} - 2,2 \right) + 10,77 \cdot \left(\frac{6,0}{2} + \frac{2,2}{4} \right)}{6,0} = 8,80 \text{ kN}$$

$$R_{a,y} = - R_{b,y} + 2 \cdot H_{T3,1,d} = - 8,8 + 2 \cdot 10,77 = 12,75 \text{ kN}$$

$$V_{T3,Ed,y} = R_{a,z} = 12,75 \text{ kN}$$

$$M_{T3,Ed,z} = + R_{b,y} \cdot \left(\frac{l}{2} - \frac{a}{4} \right) = + 8,80 \cdot \left(\frac{6,0}{2} - \frac{2,2}{4} \right) = 21,55 \text{ kNm}$$



- Výsledné vnitřní síly od svislého zatížení

Výsledné posouvající síly ve svislém směru $V_{i,z}$ (kN)						
Zatížení	Značka	Skupina zatížení				
		Mezní stav únosnosti				
		1	3	4	5	6
Vlastní tíha JD	g_d	5,90	-	-	5,90	5,90
Vlastní tíha jeřábu	Q_c	161,02	-	-	144,06	144,06
Zatížení kladkostroje	Q_h		-	-		
Zrychlení mostu jeřábu	H_L, H_t	0,49	-	-	-	-
Přičení mostu jeřábu	H_S, S	-	-	-	0	-
Zrychlení kočky	H_{T3}	-	-	-	-	0
Celkem		167,42	-	-	149,97	149,97

Výsledné posouvající síly ve svislém směru $M_{i,y}$ (kNm)						
Zatížení	Značka	Skupina zatížení				
		Mezní stav únosnosti				
		1	3	4	5	6
Vlastní tíha JD	g_d	8,86	-	-	8,86	8,86
Vlastní tíha jeřábu	Q_c	272,26	-	-	243,59	243,59
Zatížení kladkostroje	Q_h		-	-		
Zrychlení mostu jeřábu	H_L, H_t	1,75	-	-	-	-
Přičení mostu jeřábu	H_S, S	-	-	-	0	-
Zrychlení kočky	H_{T3}	-	-	-	-	0
Celkem		282,86	-	-	252,44	252,44

- Výsledné vnitřní síly od vodorovného zatížení

Výsledné posouvající síly ve svislém směru $V_{i,y}$ (kN)						
Zatížení	Značka	Skupina zatížení				
		Mezní stav únosnosti				
		1	3	4	5	6
Vlastní tíha JD	g_d	0	-	-	0	0
Vlastní tíha jeřábu	Q_c	0	-	-	0	0
Zatížení kladkostroje	Q_h		-	-		
Zrychlení mostu jeřábu	H_L, H_t	10,35	-	-	-	-
Přičení mostu jeřábu	H_S, S	-	-	-	15,68	-
Zrychlení kočky	H_{T3}	-	-	-	-	12,75
Celkem		10,35	-	-	15,68	12,75

Výsledné posouvající síly ve svislém směru $M_{i,z}$ (kNm)						
Zatížení	Značka	Skupina zatížení				
		Mezní stav únosnosti				
		1	3	4	5	6
Vlastní tíha JD	g_d	0	-	-	0	0
Vlastní tíha jeřábu	Q_c	0	-	-	0	0
Zatížení kladkostroje	Q_h		-	-		
Zrychlení mostu jeřábu	H_L, H_t	31,04	-	-	-	-
Přičení mostu jeřábu	H_S, S	-	-	-	47,04	-
Zrychlení kočky	H_{T3}	-	-	-	-	21,55
Celkem		31,04	-	-	47,04	21,55

Posouzení - Mezní stav únosnosti (MSÚ)- Návrhové hodnoty zatížení

Vnitřní síla	Skupina zatížení			Jednotky
	1	5	6	
$N_{i,Ed}$	6,86	0	0	kN
$V_{i,z,Ed}$	167,42	149,97	149,97	kN
$M_{i,y,Ed}$	282,86	252,44	252,44	kNm
$V_{i,y,Ed}$	10,35	15,68	12,75	kN
$M_{i,z,Ed}$	31,04	47,04	21,55	kNm

Ve svislém směru je rozhodující skupina zatížení č. 1

Ve vodorovném směru je rozhodující skupina zatížení č. 5

Napětí ve spodních vláknech

$$\sigma_{1,s,Ed} = \frac{M_{1,y,Ed}}{I_y} \cdot e_d = \frac{282,9 \cdot 10^6}{450,7 \cdot 10^6} \cdot 195 = 122,38 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{5,s,Ed} = \frac{M_{5,y,Ed}}{I_y} \cdot e_d = \frac{252,44 \cdot 10^6}{450,7 \cdot 10^6} \cdot 195 = 109,22 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{LIM} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{355}{1,00} = 355,00 \text{ MPa} \quad \sigma_{s,Ed} < \sigma_{LIM} \quad \text{Vyhoví}$$

$$122,38 < 355,00 \text{ (MPa)}$$

Napětí v horních vláknech

$$\sigma_{1,h,Ed} = \frac{M_{1,y,Ed}}{I_y} \cdot e_h + \frac{M_{1,z,Ed}}{I_z} \cdot e_y + \frac{N_{1,Ed}}{A} = \frac{282,9 \cdot 10^6}{450,7 \cdot 10^6} \cdot 195 + \frac{31 \cdot 10^6}{86,6 \cdot 10^6} \cdot 150 + \frac{6,9 \cdot 10^3}{15900} = 122,38 + 69,94 + 0,43 = 192,75 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{5,h,Ed} = \frac{M_{5,y,Ed}}{I_y} \cdot e_h + \frac{M_{5,z,Ed}}{I_z} \cdot e_y + \frac{N_{5,Ed}}{A} = \frac{252,44 \cdot 10^6}{450,7 \cdot 10^6} \cdot 195 + \frac{47,04 \cdot 10^6}{86,56 \cdot 10^6} \cdot 150 + 0,00 = 109,22 + 105,98 = 215,20 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{h,Ed} < \sigma_{LIM} \quad \text{Vyhoví}$$

$$\sigma_{LIM} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{355}{1,00} = 355,00 \text{ MPa} \quad 215,20 < 355,00 \text{ (MPa)}$$

Interakce klopení a kroucení- klopení $k_w = 1$ pro nosník, na kterém není bráněno deplanaci $k_z = 1$ pro nosník, na kterém není bráněno deplanaci

$$e = \frac{h}{2} + h_r = \frac{390}{2} + 40 = 235 \text{ mm}$$

 $z_g = e$ souřadnice působišť zatížení vzhledem ke středu smyku, je roven hodnotě e

$$k_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot l} \cdot \sqrt{\left(\frac{E \cdot I_\omega}{G \cdot I_t} \right)} = \frac{\pi}{1 \cdot 6000} \cdot \sqrt{\left(\frac{210 \cdot 10^3 \cdot 2942 \cdot 10^9}{81 \cdot 10^3 \cdot 1890 \cdot 10^3} \right)} = 1,05$$

$$\zeta_g = \frac{\pi \cdot z_g}{k_z \cdot l} \cdot \sqrt{\left(\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t} \right)} = \frac{\pi \cdot 235}{1 \cdot 6000} \cdot \sqrt{\left(\frac{210 \cdot 10^3 \cdot 86,6 \cdot 10^6}{81 \cdot 10^3 \cdot 1890 \cdot 10^3} \right)} = 1,28$$

$\zeta_j = 0$ bezrozměrný parametr pro symetrické průřezy

$$C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0}) \cdot k_{wt} = 1,13 + (1,13 - 1,13) \cdot 1,05 = 1,13 *$$

$C_2 = 0,46 *$
 $C_3 = 0,53 *$ * součinitele závislé na zatížení a podmínkách uložení konců nosníku

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \left[\sqrt{1 + k_{wt}^2 + (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j)^2} - (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j) \right] =$$

$$= \frac{1,13}{1} \cdot \left[\sqrt{1 + 1,05^2 + (0,46 \cdot 1,28 - 0,53 \cdot 0)^2} - (0,46 \cdot 1,28 - 0,53 \cdot 0) \right] = 1,10$$

$$M_{y,cr} = \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{(E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t)}}{l} = 1,10 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{(E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t)}}{6000} =$$

$$= 1,10 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{(210 \cdot 10^3 \cdot 85,6 \cdot 10^6 \cdot 81 \cdot 10^3 \cdot 1890 \cdot 10^3)}}{6000} = 959,40 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\left(\frac{W_{el,y} \cdot f_y}{M_{y,cr}} \right)} = \sqrt{\left(\frac{2311,3 \cdot 355}{959,40} \right)} = 0,92$$

$$h/b = 1,30 < 2$$

$\alpha_{LT} = 0,34$ součinitel imperfekce při klopení

$\beta = 0,75$ opravný součinitel pro křivky klopení válcovaných průřezů

$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$ délka vodorovné části křivky klopení válcovaných průřezů

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,92 - 0,4) + 0,75 \cdot 0,92^2] = 0,91$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,91 + \sqrt{0,91^2 - 0,75 \cdot 0,92^2}} = 0,75$$

- Kroucení

$$K_T = L \cdot \sqrt{\left(\frac{G \cdot I_t}{E \cdot I_\omega} \right)} = 6000 \cdot \sqrt{\left(\frac{81 \cdot 10^3 \cdot 1890 \cdot 10^3}{210 \cdot 10^3 \cdot 2942 \cdot 10^9} \right)} = 2,99$$

$\alpha = 3,70 *$
 $\beta = 1,08 *$ * součinitele závislé na zatížení a podmínkách uložení konců nosníku

$$k = \frac{1}{\beta + \left(\frac{\alpha}{K_T} \right)^2} = \frac{1}{1,08 + \left(\frac{3,70}{2,99} \right)^2} = 0,38$$

$$B_{1,Ed} = M_{1,z,Ed} \cdot e \cdot (1 - k) = 31,04 \cdot 0,235 \cdot (1 - 0,38) = 4,51 \text{ kNm}^2$$

$$B_{5,Ed} = M_{5,z,Ed} \cdot e \cdot (1 - k) = 47,04 \cdot 0,235 \cdot (1 - 0,38) = 6,83 \text{ kNm}^2$$

- Posouzení interakce klopení a kroucení

- Detailní posouzení pro skupinu zatížení č. 1 v bodě 1

$$\omega_{max} = \frac{b \cdot h}{4} = \frac{300 \cdot 390}{4} = 29250 \text{ mm}^2$$

$$B_{Rk} = f_y \cdot \frac{I_\omega}{\omega_{max}} = 235 \cdot \frac{2942 \cdot 10^9}{29250} = 39,3 \text{ kNm}^2$$

$$k_{1,w} = 0,7 \cdot \frac{0,2 \cdot B_{1,Ed}}{B_{Rk}} = 0,7 \cdot \frac{0,2 \cdot 4,51 \cdot 10^9}{39,28 \cdot 10^9} = 0,68$$

$$\gamma_{M1} = 1,00$$

$$k_{1,zw} = 1 - \frac{M_{1,z,Ed}}{W_{el,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} = 1 - \frac{31,04 \cdot 10^6}{577 \cdot 10^3 \cdot \frac{355}{1,00}} = 0,85$$

$$k_{1,a} = \frac{1}{1 - \frac{M_{1,y,Ed}}{M_{y,cr}}} = \frac{1}{1 - \frac{282,86 \cdot 10^6}{959,4 \cdot 10^6}} = 1,42$$

	$\frac{M_{1,y,Ed}}{W_{el,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{1,z,Ed}}{W_{el,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_{1,w} \cdot k_{1,zw} \cdot k_{1,a} \cdot B_{1,Ed}}{\frac{B_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$	
	$\frac{282,86 \cdot 10^6}{0,75 \cdot 2311,3 \cdot 10^3 \cdot \frac{355}{1,00}} + \frac{31,04 \cdot 10^6}{577 \cdot 10^3 \cdot \frac{355}{1,00}} + \frac{0,68 \cdot 0,85 \cdot 1,42 \cdot 4,51 \cdot 10^9}{\frac{39,28 \cdot 10^9}{1,00}} \leq 1,0$	
- Posouzení pro zatěžovací skupinu č. 1 v bobě 1	0,46 + 0,15 + 0,09 ≤ 1,0	Vyhoví
	0,71 < 1,0 (-)	
- Posouzení pro zatěžovací skupinu č. 5 v bobě 1	0,41 + 0,23 + 0,12 ≤ 1,0	Vyhoví
	0,76 < 1,0 (-)	
- Posouzení pro zatěžovací skupinu č. 1 v bobě 2	0,34 + 0,15 + 0,09 ≤ 1,0	Vyhoví
	0,59 < 1,0 (-)	
- Posouzení pro zatěžovací skupinu č. 5 v bobě 2	0,31 + 0,23 + 0,12 ≤ 1,0	Vyhoví
	0,66 < 1,0 (-)	

Lokální tlakové a smykové napětí

- Tlakové napětí

I_r moment setrvačnosti kolejnice k její vlastní vodorovné ose

$I_{f,eff}$ moment setrvačnosti pásnice k její vlastní vodorovné ose

$I_y = 0,35 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$ - uvažováno opotřebení kolejnice rovné 25 % tloušťky materiálu

$I_r = 0,26 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$

$b_r = 65 \text{ mm}$

$h_r = 40 \text{ mm}$

$b_{eff} = b_r + 0,75 \cdot h_r + t_f = 65 + 0,75 \cdot 40 + 19 = 114 \text{ mm}$

$I_{f,eff} = \frac{1}{12} \cdot b_{eff} \cdot t_f^3 = \frac{1}{12} \cdot 114 \cdot 19^3 = 65,2 \cdot 10^3 \text{ mm}^4$

$L_{eff} = 3,25 \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{I_r + I_{f,eff}}{t_w}\right)} = 3,25 \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{0,26 \cdot 10^6 + 65,16 \cdot 10^3}{11}\right)} = 100,49 \text{ mm}$

$\sigma_{oz,Ed} = \frac{F_{ed}}{L_{eff} \cdot t_w} = \frac{136,1 \cdot 10^3}{100,5 \cdot 11} = 123,10 \text{ Mpa}$ **Vyhoví**

$\sigma_{oz,Ed} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{355}{1,00} = 355,00 \text{ MPa}$ **123,10 < 355,00 (MPa)**

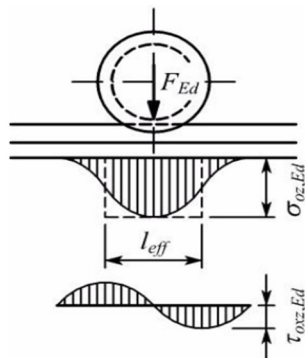
- Smykové napětí

- Největší hodnota lokálního smykového napětí se má uvažovat rovna 20 % největšího lokálního svislého napětí **Vyhoví**

$\tau_{oxz,Ed} = 0,2 \cdot \sigma_{oz,Ed} = 0,2 \cdot 123,1 = 24,62 \text{ Mpa}$

$\tau_{oxz,Ed} \leq \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{355}{\sqrt{3} \cdot 1,00} = 204,96 \text{ MPa}$ **24,62 < 204,96 (MPa)**

- Interakce normálového a smykového napětí



$$\sqrt{(\sigma_{oxz,Ed}^2 + 3 \cdot \tau_{oxz,Ed}^2)} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$\sqrt{(123,1^2 + 3 \cdot 24,62^2)} \leq \frac{355}{1,00}$$

Vyhoví

130,28 < 355,00 (MPa)

Interakce lokálního boulení a ohybového momentu

- Lokální boulení

$h_w = 352$ výška stojiny mezi pásnicemi

$a = 6000$ - vzdálenost výztuh

$k_F = 6,0$ součinitel boulení

$S_S = l_{eff} - 2 \cdot t_f = 100,49 - 2 \cdot 19 = 62,49$ mm

$m_1 = \frac{b}{t_w} = \frac{300}{11} = 27,27$ mm

$m_2 = 0,02 \cdot \left(\frac{h_w}{t_f}\right)^2 = 0,02 \cdot \left(\frac{352}{19}\right)^2 = 6,9$ pro $\bar{\lambda}_F > 0,5$, jinak $m_2 = 0$

$k_F = 6+2 \cdot \left(\frac{h_w}{a}\right)^2 = 6+2 \cdot \left(\frac{352}{6000}\right)^2 = 6,01$

$F_{cr} = 0,9 \cdot k_F \cdot E \cdot \frac{t_w^3}{h_w} = 0,9 \cdot 6 \cdot 210 \cdot 10^3 \cdot \frac{11^3}{352} = 4292,9$ kN

$l_y = S_S + 2 \cdot t_f \cdot (1 + \sqrt{(m_1 + m_2)}) = 62,5 + 2 \cdot 19 \cdot (1 + \sqrt{(27,3 + 0)}) = 298,94$ mm

$\bar{\lambda}_F = \sqrt{\left(\frac{l_y \cdot t_w \cdot f_y}{F_{cr}}\right)} = \sqrt{\left(\frac{298,9 \cdot 11 \cdot 355}{4292,9 \cdot 10^3}\right)} = 0,52$

$l_y = S_S + 2 \cdot t_f \cdot (1 + \sqrt{(m_1 + m_2)}) = 62,5 + 2 \cdot 19 \cdot (1 + \sqrt{27,3 + 6,86}) = 322,51$ mm

$\chi_F = \frac{0,5}{\bar{\lambda}_F} = \frac{0,5}{0,52} = 0,959 \leq 1,0$

$L_{eff} = \chi_F \cdot l_y = 0,959 \cdot 322,51 = 309,23$ mm

$F_{Rd} = \frac{f_y \cdot L_{eff} \cdot t_w}{\gamma_{M1}} = \frac{355 \cdot 309,23 \cdot 11}{1,00} = 1207,56$ kN

Vyhoví

$F_{Ed} = F_1 = 136,07$ kN $\leq F_{Rd}$ **136,1 < 1207,6 (kN)**

- Interakce lokálního boulení a ohybového momentu

$M_{pl,Rd} = W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 2562 \cdot 10^3 \cdot \frac{355}{1,00} = 909,51$ kNm

$\frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} + 0,8 \cdot \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} \leq 1,40$

$\frac{136,1 \cdot 10^3}{1207,6 \cdot 10^3} + 0,8 \cdot \frac{282,9 \cdot 10^6}{909,5 \cdot 10^6} \leq 1,40$

Vyhoví

0,11 + 0,25 \leq 1,40 **0,36 < 1,40 (-)**

Globální smykové napětí

$$S_{f,y} = b \cdot t_f \cdot \left(e_z - \frac{t_f}{2} \right) = 300 \cdot 19 \cdot \left(195 - \frac{19}{2} \right) = 1057,4 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$\tau_{v,Ed} = \frac{V_{1,z,Ed} \cdot S_{f,y}}{I_y \cdot t_w} = \frac{167,4 \cdot 10^3 \cdot 1057,4 \cdot 10^3}{450,7 \cdot 10^6 \cdot 11} = 35,71 \text{ Mpa} \quad \text{Vyhoví}$$

$$\tau_{v,Ed} \leq \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{355}{\sqrt{3} \cdot 1,00} = 204,96 \text{ MPa} \quad 35,71 < 204,96 \text{ (MPa)}$$

Posouzení - Mezní stav použitelnosti (MSP)
Svislý průhyb

$$F_1 = Q_{r,max} = 90,18 \text{ kN}$$

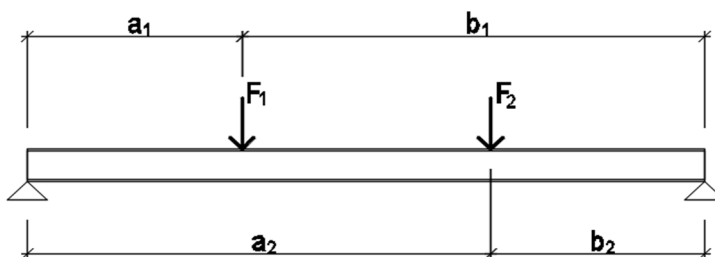
$$F_2 = Q_{r,max} = 90,18 \text{ kN}$$

$$a_1 = 1,9 \text{ m}$$

$$a_2 = 4,1 \text{ m}$$

$$b_1 = 4,1 \text{ m}$$

$$b_2 = 1,9 \text{ m}$$



$$\delta_{y,b} = \frac{5 \cdot (g_k) \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I_y} + \frac{F_1 \cdot a_1 \cdot b_1}{27 \cdot E \cdot I_y \cdot l} \cdot \sqrt{(3 \cdot a_1 \cdot (l + b_1))^3} + \frac{F_2 \cdot a_2 \cdot b_2}{27 \cdot E \cdot I_y \cdot l} \cdot \sqrt{(3 \cdot b_2 \cdot (l + a_2))^3} =$$

$$= 0,260 + 3,511 + 3,511 = 7,282 \text{ mm} \quad \delta_{y,b} < \delta_{LIM} \quad \text{Vyhoví}$$

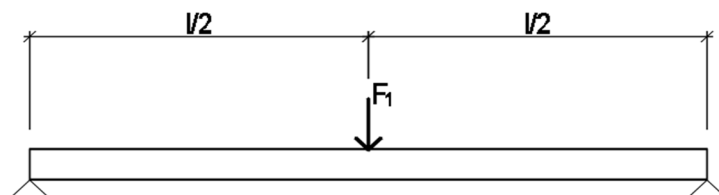
$$\delta_{LIM} = \frac{L}{600} = \frac{6000}{600} = 10,000 \text{ mm} \quad 7,282 < 10,000 \text{ (mm)}$$

Vodorovný průhyb od přičení jeřábu

$$F_1 = H_{s,2,1} = 23,23 \text{ kN}$$

$$l = 6 \text{ m}$$

$$l/2 = 3 \text{ m}$$



$$\delta_{z,b1} = - + \frac{H_{s,2,1} \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I_z} = 5,751 \text{ mm} \quad \delta_{z,b1} < \delta_{LIM} \quad \text{Vyhoví}$$

$$\delta_{LIM} = \frac{L}{1000} = \frac{6000}{1000} = 6,000 \text{ mm} \quad 5,751 < 6,000 \text{ (mm)}$$

Vodorovný průhyb od brzdění kočky

$$F_1 = H_{T3,1} = 7,98 \text{ kN}$$

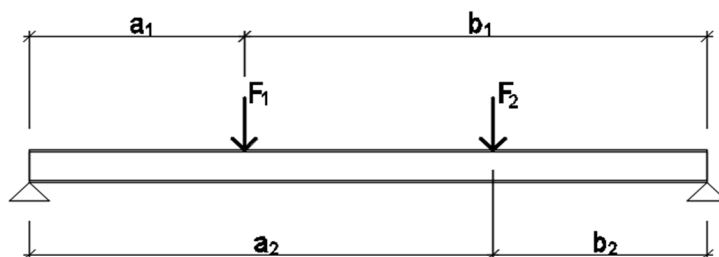
$$F_2 = H_{T3,1} = 7,98 \text{ kN}$$

$$a_1 = 1,9 \text{ m}$$

$$a_2 = 4,1 \text{ m}$$

$$b_1 = 4,1 \text{ m}$$

$$b_2 = 1,9 \text{ m}$$



$$\delta_{z,b} = - + \frac{H_{T3,1} \cdot a_1 \cdot b_1}{27 \cdot E \cdot I_z \cdot l} \cdot \sqrt{(3 \cdot a_1 \cdot (l + b_1))^3} + \frac{H_{T3,1} \cdot a_2 \cdot b_2}{27 \cdot E \cdot I_z \cdot l} \cdot \sqrt{(3 \cdot b_2 \cdot (l + a_2))^3} =$$

$$= - + 1,618 + 1,618 = 3,236 \text{ mm} \quad \delta_{z,b} < \delta_{LIM} \quad \text{Vyhoví}$$

$$\delta_{LIM} = \frac{L}{1000} = \frac{6000}{1000} = 6,000 \text{ mm} \quad 3,236 < 6,000 \text{ (mm)}$$

Konzola pro nosník JD z ocelového profilu HEA 240 – S355

Návrh konzoly

Profil: HEA 240	H = 230 mm	B = 240 mm	Ocel S 355 Mpa
$L_y = 700$ mm	$\beta_y = 2$ [-]	$L_{cr,y} = 1400$ mm	$\gamma_f = 1,00$ [-]
$L_z = 700$ mm	$\beta_z = 2$ [-]	$L_{cr,z} = 1400$ mm	$\alpha_{y,1} = 0,34$ [-]
$L_\omega = 700$ mm	$\beta_\omega = 2$ [-]	$L_{cr,\omega} = 1400$ mm	$\alpha_{z,1} = 0,49$ [-]
			$\alpha_{LT} = 0,21$ [-]

Průřez. charakteristiky:

$m = 60,3$ kg/m'	$A = 7684$ mm ²	$A_{vz} = 2520$ mm ²	$y_T = 0$ mm
$I_y = 77,63 \cdot 10^6$ mm ⁴	$I_\omega = 325,5 \cdot 10^9$ mm ⁶	$t_f = 12$ mm	$t_w = 7,5$ mm
$I_z = 27,69 \cdot 10^6$ mm ⁴	$i_y = 100,5$ mm	$W_{el,y} = 675 \cdot 10^3$ mm ³	$W_{pl,y} = 745 \cdot 10^3$ mm ³
$I_t = 415,5 \cdot 10^3$ mm ⁴	$i_z = 60,0$ mm	$W_{el,z} = 230,8 \cdot 10^3$ mm ³	$W_{pl,z} = 352 \cdot 10^3$ mm ³

Vnitřní síly

- Vnitřní síly od vlastní tíhy konzoly

$$V_{g1,Ed,z} = \frac{1}{1} \cdot g_{d1} \cdot L_y = \frac{1}{1} \cdot 0,603 \cdot 0,70 = 0,42 \text{ kN}$$

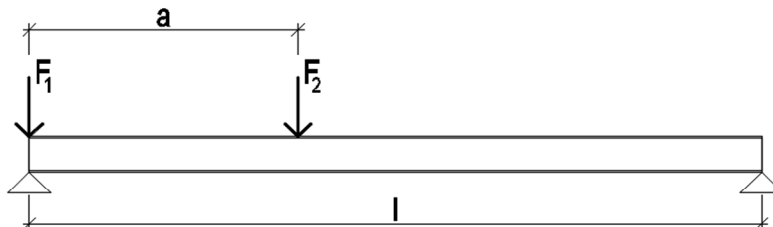
- Vnitřní síly od vlastní tíhy jeřábové dráhy

$$V_{g2,Ed,z} = \frac{1}{2} \cdot g_{d2} \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 1,608 \cdot 6,00 = 4,82 \text{ kN}$$

- Vnitřní síly od působení jeřábu

- Postavení kol pro vyvození max. posouvající síly na konzolu

Rozpětí nosníku $l = 6,00$ m Rozvor jeřábu $a = 2,20$ m



- Síly od zatěžovací skupiny č. 1 - rozhoduje

$$F_1 = Q_c + Q_H = 136,1 \text{ kN} \quad F_2 = F_1 = 136,1 \text{ kN}$$

$$V_{1,Ed,z} = \frac{F_1 \cdot l}{l} + \frac{F_2 \cdot (l - a)}{l} = \frac{136,1 \cdot 6,0}{6,0} + \frac{136,1 \cdot (6,0 - 2,20)}{6,0} = 222,2 \text{ kN}$$

$$V_{z,Sd} = V_{g1,Ed,z} + V_{g2,Ed,z} + V_{1,Ed,z} = 0,42 + 4,82 + 222,25 = 227,5 \text{ kN}$$

$$M_{y,Sd} = V_{z,Sd} \cdot L_y = 227,49 \cdot 0,7 = 159,2 \text{ kNm}$$

Vnitřní síly:

$$N_{Sd} = 0 \text{ kN} \quad V_{z,Sd} = 227,5 \text{ kN} \quad M_{y,Sd} = 159,2 \text{ kNm} \quad M_{z,Sd} = 0 \text{ kNm}$$

Vzpěr $\lambda_y = 13,9 [-]$ $\bar{\lambda}_y = \lambda_y / 93,9 = 0,15 [-]$ $\lambda_z = 23,3 [-]$ $\bar{\lambda}_z = \lambda_z / 93,9 = 0,248 [-]$
 Pro $\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{y,1} \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,15 - 0,2) + 0,15^2] = 0,502 [-]$
 $\bar{\lambda}_y: \chi = 1 / [\Phi_y + \nu(\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2)] = 1 / [0,5 + \nu(0,5^2 - 0,15^2)] = 1,00 [-]$
 Pro $\Phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{z,1} \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,25 - 0,2) + 0,25^2] = 0,54 [-]$
 $\bar{\lambda}_z: \chi = 1 / [\Phi_z + \nu(\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2)] = 1 / [0,54 + \nu(0,54^2 - 0,25^2)] = 0,98 [-]$

Klopení: $\delta = 2 / h \cdot \nu(I_w / I_z) = 2 / 218 \cdot \nu(325500 / 27,69) = 0,99 [-]$
 $\alpha_t = 0,62 \cdot [L_{cr,z} / (h - t_f)] \cdot \nu(I_t / I_z) = 0,62 \cdot [1400 / (230 - 12)] \cdot \nu(415,5 / 27690) = 0,49 [-]$
 $d_{z,\omega} = \delta^2 \cdot (L_{cr,z} / L_{cr,\omega})^2 + 4 \cdot \alpha_t^2 / \pi^2 = 0,99^2 \cdot (1400 / 1400)^2 + 4 \cdot 0,488^2 / 3,14^2 = 1,096 [-]$

Vzdál. působíště zatížení od středu smyku - kladné na tažené straně a naopak, pro moment "0".

$e_z = -115 \text{ mm}$ $e_h = 2 \cdot e_z / h = -1 [-]$

Typ zatížení: a) koncové ohybové momenty $\rightarrow n = 1$ pro $n = 1 [-]$
 b) jediné osamělé přeměno na prutu $\rightarrow n = 2$ $k_1 = 1,00 [-]$
 c) spojitě a jiné zatížení na prutu $\rightarrow n = 3$ $k_2 = 1,00 [-]$

$\gamma = \sqrt{\frac{1}{k_1 \cdot [e_h + \nu(e_h^2 + k_2 \cdot d_{z,\omega})]}} = \sqrt{\frac{1}{1 \cdot [-1 + \nu(-1^2 + 1 \cdot 1,1)]}} = 1,49 [-]$
 $\lambda = \gamma \cdot [2 \cdot L_{cr,z} / (h - t_f)] \cdot \nu(I_y / I_z) = 1,49 \cdot [2 \cdot 1400 / (230 - 12)] \cdot \nu(77,63 / 27,69) = 32,13 [-]$
 $\lambda_{LT} = \lambda \cdot \nu(W_{y,pl} / W_{y,e}) = 32,1 \cdot \nu(744,6 / 675,04) = 33,7 [-]$ $\bar{\lambda}_{LT} = 0,36 [-]$
 $\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,36 - 0,2) + 0,36^2] = 0,58 [-]$
 $\chi_{LT,a} = 1 / [\Phi_{LT} + \nu(\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2)] = 1 / [0,58 + \nu(0,58^2 - 0,36^2)] = 0,96 [-]$

$\chi_{\min} = 0,975 [-]$ $\chi_{LT} = 0,96 [-]$

Posouzení konzoly

Únosnost:

$N_{x,b,Rd+} = 1,0 \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1} = 1,00 \cdot 7684 \cdot 0,355 / 1 = 2728 \text{ kN} > N_{Sd}^+ = 0 \text{ kN}$
 $N_{x,b,Rd-} = \chi_{\min} \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1} = 0,975 \cdot 7684 \cdot 0,355 / 1 = 2661 \text{ kN} > N_{Sd}^- = 0 \text{ kN}$
 $M_{y,b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y / \gamma_{M1} = 0,963 \cdot 744,6 \cdot 0,355 / 1 = 255 \text{ kNm} > M_{Sd} = 159,2 \text{ kNm}$
 $M_{z,b,Rd} = 1 \cdot W_{pl,z} \cdot f_y / \gamma_{M1} = 1,00 \cdot 351,7 \cdot 0,355 / 1 = 125 \text{ kNm} > M_{Sd} = 0 \text{ kNm}$
 $V_{z,pl,Rd} = A_{vz} \cdot f_y / \gamma_{M0} \cdot \sqrt{3} = 2520 \cdot 0,355 / 1 \cdot \sqrt{3} = 516 \text{ kN} > 2 \cdot V_z = 455 \text{ kN}$

Kombinace pro tah $\frac{0}{2728} + \frac{159}{255} + \frac{0}{124,9} = 0,63 < 1,00$ **Vyhoví**

Kombinace pro tlak $\frac{0}{2661} + \frac{159,2}{255} + \frac{0,00}{124,9} = 0,63 < 1,00$ **Vyhoví**

Kombinace smyk $\frac{455}{516} = 0,88 < 1,00$ **Vyhoví**

Deformace:

$\delta_z = \frac{V_{z,Sd} \cdot L_y^3}{3 \cdot E \cdot I_y} = \frac{227,49 \cdot 10^3 + 700^3}{3 \cdot 210\,000 \cdot 77,63 \cdot 10^6} = 1,60 \text{ mm}$

$\delta_{lim} = \frac{2 \cdot l}{600} = \frac{2 \cdot 700}{600} = 2,33 \text{ mm}$ **1,60 < 2,33 Vyhoví**

ANALÝZA VÝSLEDKŮ PRÁCE



Nabídka č.: 428738

Ze dne: 02/01/2018
Poptávka kupujícího: HLAVÁČ LADISLAV

Strana: 1

Prodávající:

Feronia, a.s.; Havlíčkova čp. 1043/11, 111 82 Praha 1

IČO: 26440181; zapsána v OR M&S v Praze B.7143

Kontaktní adresa pobočky:

Na Roudné 178; 303 63 Plzeň

Bankovní spojení: 797003208/8150

IBAN: CZ51 8150 0000 0007 9700 3208

BIC(SWIFT): MIDLCZPP

Peněžní ústav: HSBC Bank plc - pobočka Praha

Na Florenci 15, 110 00 Praha 1

SKLAD 21 PLZEŇ

303 63 .

Platební podmínky:

DIČ: CZ26440181

Způsob platby: Hotově

Kupující:

IČO: .

DIČ:

Číslo zákazníka: 21

Místo plnění (dodání zboží):

NEREGISTROVANÝ ZÁKAZNÍK SKL.21

Výdejní sklad:SKLAD 21, PLZEŇ
NA ROUDNÉ 178
PLZEŇ VL. VL.**Doprava:**

ODVOZ - zajisti kupující

301 00 .

	Množství MJ	Cena za MJ	Sazba DPH %	Cena celkem bez DPH	Měna
1 PROFIL HEA DIN 1025-3, EN 10025-2, zn. S235JR Rozměr: 340					
Čís.položky: 1M00410 Termín: 02/01/2018	1,000 M	2 719,993	21 %	2 720,00	CZK
CN kód: 72163390 Základní MJ: M	108,000 KG	25,185			
Množstevní sleva 5% (160620/ 43) 143,16 CZK					
2 PROFIL HEA DIN 1025-3, EN 10025-2, zn. S235JR Rozměr: 450					
Čís.položky: 1M0044R Termín: 02/01/2018	1,000 M	3 773,030	21 %	3 773,03	CZK
CN kód: 72163390 Základní MJ: M	143,000 KG	26,385			
Množstevní sleva 5% (160620/ 43) 198,58 CZK					
3 PROFIL HEA DIN 1025-3, EN 10025-2, zn. S235JR Rozměr: 500					
Čís.položky: 1M0045S Termín: 02/01/2018	1,000 M	4 195,181	21 %	4 195,19	CZK
CN kód: 72163390 Základní MJ: M	159,000 KG	26,385			
Množstevní sleva 5% (160620/ 43) 220,80 CZK					
4 PROFIL HEB DIN 1025-2, EN 10025-2, zn. S235JR Rozměr: 300					
Čís.položky: 1M0052Z Termín: 02/01/2018	1,000 M	2 901,623	21 %	2 901,63	CZK
CN kód: 72163390 Základní MJ: M	120,000 KG	24,180			
Množstevní sleva 5% (160620/ 43) 152,72 CZK					
5 PROFIL HEB DIN 1025-2, EN 10025-2, zn. S235JR Rozměr: 340					
Čís.položky: 1M0054B Termín: 02/01/2018	1,000 M	3 421,549	21 %	3 421,55	CZK
CN kód: 72163390 Základní MJ: M	137,000 KG	24,975			
Množstevní sleva 5% (160620/ 43) 180,08 CZK					
6 PROFIL HEB DIN 1025-2, EN 10025-2, zn. S235JR Rozměr: 400					
Čís.položky: 1M0056D Termín: 02/01/2018	1,000 M	3 970,991	21 %	3 971,00	CZK
CN kód: 72163390 Základní MJ: M	159,000 KG	24,975			
Množstevní sleva 5% (160620/ 43) 209,00 CZK					
7 PROFIL HEA DIN 1025-3, EN 10025-2, zn. S355J2 Rozměr: 320					
Čís.položky: 1M0078Z Termín: 02/01/2018	1,000 M	2 586,280	21 %	2 586,28	CZK
CN kód: 72163390 Základní MJ: M	100,000 KG	25,863			
Množstevní sleva 5% (160620/ 43) 136,12 CZK					
8 PROFIL HEA DIN 1025-3, EN 10025-2, zn. S355J2 Rozměr: 400					
Čís.položky: 1M0081C Termín: 02/01/2018	1,000 M	3 412,153	21 %	3 412,16	CZK
CN kód: 72163390 Základní MJ: M	128,000 KG	26,657			
Množstevní sleva 5% (160620/ 43) 179,59 CZK					

2

2 Podklad od Feronia, a.s. 1/2

9 PROFIL HEA DIN 1025-3, EN 10025-2, zn. S355J2 Rozměr: 500					
Čís.položky: 1M0083E	Termín: 02/01/2018	1,000 M	4 429,271	21 %	4 429,28 CZK
CN kód: 72163390	Základní MJ: M	159,000 KG	27,857		
Množstevní sleva 5% (160620/43) 233,12 CZK					
10 PROFIL HEB DIN 1025-2, EN 10025-2, zn. S355J2 Rozměr: 300					
Čís.položky: 1M0065M	Termín: 02/01/2018	1,000 M	3 078,304	21 %	3 078,31 CZK
CN kód: 72163390	Základní MJ: M	120,000 KG	25,653		
Množstevní sleva 5% (160620/43) 162,02 CZK					
11 PROFIL HEB DIN 1025-2, EN 10025-2, zn. S355J2 Rozměr: 340					
Čís.položky: 1M00670	Termín: 02/01/2018	1,000 M	3 623,262	21 %	3 623,27 CZK
CN kód: 72163390	Základní MJ: M	137,000 KG	26,447		
Množstevní sleva 5% (160620/43) 190,70 CZK					
12 PROFIL HEB DIN 1025-2, EN 10025-2, zn. S355J2 Rozměr: 360					
Čís.položky: 1M0068P	Termín: 02/01/2018	1,000 M	3 861,275	21 %	3 861,28 CZK
CN kód: 72163390	Základní MJ: M	146,000 KG	26,447		
Množstevní sleva 5% (160620/43) 203,23 CZK					
13 PROFIL IPE VÁLC. ZA TEPLA DIN 1025-5, EN 10025-2, zn. S235JR Rozměr: 300					
Čís.položky: 1M0017Q	Termín: 02/01/2018	1,000 M	1 058,510	21 %	1 058,51 CZK
CN kód: 72163291	Základní MJ: M	43,000 KG	24,617		
14 PROFIL IPE VÁLC. ZA TEPLA DIN 1025-5, EN 10025-2, zn. S235JR Rozměr: 360					
Čís.položky: 1M0015O	Termín: 02/01/2018	1,000 M	1 491,550	21 %	1 491,55 CZK
CN kód: 72163291	Základní MJ: M	58,600 KG	25,453		
15 PROFIL IPE VÁLC. ZA TEPLA DIN 1025-5, EN 10025-2, zn. S235JR Rozměr: 400					
Čís.položky: 1M0014N	Termín: 02/01/2018	1,000 M	1 730,800	21 %	1 730,80 CZK
CN kód: 72163291	Základní MJ: M	68,000 KG	25,453		
16 PROFIL IPE VÁLC. ZA TEPLA DIN 1025-5, EN 10025-2, zn. S355J2 Rozměr: 270					
Čís.položky: 1M0022V	Termín: 02/01/2018	1,000 M	968,160	21 %	968,16 CZK
CN kód: 72163291	Základní MJ: M	37,000 KG	26,166		
17 PROFIL IPE VÁLC. ZA TEPLA DIN 1025-5, EN 10025-2, zn. S355J2 Rozměr: 300					
Čís.položky: 1M0023W	Termín: 02/01/2018	1,000 M	1 125,160	21 %	1 125,16 CZK
CN kód: 72163291	Základní MJ: M	43,000 KG	26,167		
18 PROFIL IPE VÁLC. ZA TEPLA DIN 1025-5, EN 10025-2, zn. S355J2 Rozměr: 330					
Čís.položky: 1M0024X	Termín: 02/01/2018	1,000 M	1 350,130	21 %	1 350,13 CZK
CN kód: 72163291	Základní MJ: M	50,000 KG	27,003		
19 PROFIL HEA DIN 1025-3, EN 10025-2, zn. S235JR Rozměr: 240					
Čís.položky: 1M0036J	Termín: 04/01/2018	1,000 M	1 591,810	21 %	1 591,81 CZK
CN kód: 72163390	Základní MJ: M	62,000 KG	25,674		
20 PROFIL HEA DIN 1025-3, EN 10025-2, zn. S235JR Rozměr: 300					
Čís.položky: 1M0039M	Termín: 04/01/2018	1,000 M	2 195,146	21 %	2 195,15 CZK
CN kód: 72163390	Základní MJ: M	90,000 KG	24,391		
Množstevní sleva 5% (160620/43) 115,53 CZK					
21 PROFIL HEA DIN 1025-3, EN 10025-2, zn. S235JR Rozměr: 340					
Čís.položky: 1M0041O	Termín: 04/01/2018	1,000 M	2 719,993	21 %	2 720,00 CZK
CN kód: 72163390	Základní MJ: M	108,000 KG	25,185		
Množstevní sleva 5% (160620/43) 143,16 CZK					
22 PROFIL HEA DIN 1025-3, EN 10025-2, zn. S355J2 Rozměr: 200					
Čís.položky: 1M0092N	Termín: 04/01/2018	1,000 M	1 134,670	21 %	1 134,67 CZK
CN kód: 72163390	Základní MJ: M	43,000 KG	26,388		
23 PROFIL HEA DIN 1025-3, EN 10025-2, zn. S355J2 Rozměr: 240					
Čís.položky: 1M0074V	Termín: 04/01/2018	1,000 M	1 687,890	21 %	1 687,89 CZK
CN kód: 72163390	Základní MJ: M	62,000 KG	27,224		
24 PROFIL HEA DIN 1025-3, EN 10025-2, zn. S355J2 Rozměr: 260					
Čís.položky: 1M0075W	Termín: 04/01/2018	1,000 M	1 905,680	21 %	1 905,68 CZK
CN kód: 72163390	Základní MJ: M	70,000 KG	27,224		

Prodejce: SKLAD 21-PLZEŇ-P.VOKÁČOVÁ Na Roudné 178 303 63 Plzeň +420 72615 5242	Referent (nabídku vystavil): PROCHÁZKOVÁ Blanka Na Roudné 178 303 63 Plzeň +420 72615 5227 Tel.: +420378025224 E-mail: prochazkova@plzen.ferona.cz	Celkem za nabídku: Cena: <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td style="text-align: right;">60 932,49</td><td>CZK bez DPH</td></tr><tr><td style="text-align: right;">73 728,39</td><td>CZK s DPH</td></tr></table> Orientační hmotnost: 2 350,60 Kg	60 932,49	CZK bez DPH	73 728,39	CZK s DPH
60 932,49	CZK bez DPH					
73 728,39	CZK s DPH					

Ferona.a.s. • Havlíčkova čp. 1043/11 • 111 82 Praha 1 • IČO 26440181 • OR M&S Praha, oddíl B, vložka 7143 • Ferona, a.s. je plátcem DPH

3

³ Podklad od Ferona, a.s. 2/2

Veškeré hodnoty využití a jejich výpočty viz příloha - STATICKÝ VÝPOČET

Nosníky jeřábových drah - využití

	Ocel	Profil	Hm. profilu (kg/m)	Využití 1.MS (%)	Využití 2.MS - svisle (%)	Využití 2.MS - vodorovně (%)
GJMJ 10t 13,80 m	S235	HEA 340	108,0	96,1	80,9	77,8
	S235	HEB 300	120,0	87,5	89,4	67,7
	S355	HEA 320	100,0	77,3	97,5	82,8
	S355	HEB 300	120,0	62,4	89,4	67,7
GJMJ 15t 13,80 m	S235	HEA 450	143,0	89,5	51,7	86,8
	S235	HEB 340	137,0	99,4	89,7	84,8
	S355	HEA 400	128,0	76,3	72,8	95,6
	S355	HEB 340	137,0	71,0	89,7	84,8
GJMJ 20t 13,80 m	S235	HEA 500	159,0	96,6	47,3	100,0
	S235	HEB 400	159,0	101,1	71,3	96,4
	S355	HEA 500	159,0	70,3	47,3	100,0
	S355	HEB 360	146,0	82,2	94,9	100,3

Tabulka 1 - Nosníky jeřábových drah - využití

Porovnání tříd oceli S235 a S355

Z výsledků je patrné, že navrhované profily z oceli třídy S355 jsou svojí velikostí podobné, v některých případech dokonce stejné, jako u oceli třídy S235. V tabulce lze dále vyčíst, že ve všech případech použití oceli třídy S355 rozhodují deformace. To je dáno tím, že ocel třídy S355 je sice lepší ze statického hlediska pevnosti, nicméně hospodárnějšímu využití mezního stavu únosnosti zabraňují velké svislé a vodorovné deformace.

Nejhospodárnějším řešením v kombinaci dotčených velikostí jeřábů a nosníků jeřábových drah z válcovaných ocelových profilů viz detailní vyčíslení - **Nosníky jeřábových drah – cena**.

Porovnání profilů IPE, HEA a HEB

Použití ocelového profilu IPE jako samostatného nosníku jeřábové dráhy není v dotčených velikostech jeřábů vhodným řešením. U tohoto typu profilu převládá výška nad šířkou, proto je nutné kvůli vodorovným účinkům profil zabezpečit. Jako samostatný nezabezpečený je profil vhodný pro jeřáby o malých nosnostech.

Z výsledků je patrné, že u jeřábu o nosnosti 10 tun je nejhospodárnějším návrhem u třídy oceli S235 profil HEA 340, u třídy oceli S355 pak profil HEA 320. V prvním případě převládá využití profilu z hlediska únosnosti, v druhém případě převládá pak kvůli oceli vyšší pevnosti využití z hlediska použitelnosti. Profil HEA 340 – S235 je využit na 96,1 % při své hmotnosti 108 kg/m. Profil HEA 320 – S355 je využit na 97,5 % při své hmotnosti 100 kg/m. Nejhospodárnější a nejvhodnější návrh pro jeřáb o nosnosti 10 tun viz detailní vyčíslení - **Nosníky jeřábových drah – cena**.

Z výsledků je patrné, že u jeřábu o nosnosti 15 tun je nejhospodárnějším návrhem u třídy oceli S235 profil HEB 340, u třídy oceli S355 pak profil HEA 400. V prvním případě převládá využití profilu z hlediska únosnosti, v druhém případě převládá pak kvůli oceli vyšší pevnosti využití z hlediska použitelnosti. Nicméně je třeba podotknout, že profil HEB 340 – S235 je využit na 99,4 %, při své hmotnosti 134 kg/m. Druhým nejhospodárnějším návrhem u stejné třídy oceli je profil HEA 450 – S235, který je využit na 89,5 %, při své hmotnosti 140 kg/m. Je tedy otázka, zda není vhodnějším řešením druhý profil, který je pouze o 6 kg/m těžší, ale je navržen s větší rezervou. Podle mého názoru je z hlediska celkových nákladů na stavbu haly s jeřábem rozdíl 6 kg/m u jeřábové dráhy zanedbatelný, proto volím u třídy oceli S235 profil HEA 450. Nejhospodárnější a nejvhodnější návrh pro jeřáb o nosnosti 15 tun viz detailní vyčíslení - **Nosníky jeřábových drah – cena**

Z výsledků je patrné, že u jeřábu o nosnosti 20 tun je nejehospodárnějším návrhem u třídy oceli S235 profil HEA 500 a HEB 400, u třídy oceli S355 pak profil HEB 360. Ocelový profil HEA 500 – S235 je z hlediska únosnosti využit na 96,6 %, z hlediska deformací pak 47,3 % - svislé, 100 % - vodorovné, při své hmotnosti 155 kg/m. Ocelový profil HEB 400 – S235 je z hlediska únosnosti využit na 101,1 %, z hlediska deformací pak 71,3 % - svislé, 96,4 % - vodorovné, při své hmotnosti 155 kg/m. U třídy oceli S235 volím profil HEA 500, protože je celkově méně využitý než profil HEB 400, a to hlavně z hlediska únosnosti a použitelnosti ve svislém směru. Nejehospodárnější a nevhodnější návrh pro jeřáb o nosnosti 15 tun viz detailní vyčíslení - **Nosníky jeřábových drah – cena**

Z hlediska únosnosti jsou profily typu HEA a HEB podobné, závisí na konkrétní zatěžovací situaci.

Z hlediska použitelnosti je ve vodorovném směru díky své celkové masivnosti odolnějším profilem typ HEB, ve svislém směru je pak neporovnatelně lepším profilem typ HEA.

Nosníky jeřábových drah - cena

	Ocel	Profil	Hm. profilu (kg/m)	Cena - profil (Kč/kg)	Cena - pole 2x 6,0 m (Kč)	Cena - celkem 14x 6,0 m (Kč)
13,80 m	S235	HEA 340	108,0	25,19	32639,76	228478,32
	S235	HEB 300	120,0	24,18	34819,20	243734,40
	S355	HEA 320	100,0	25,86	31035,60	217249,20
	S355	HEB 300	120,0	25,65	36940,32	258582,24
13,80 m	S235	HEA 450	143,0	26,39	45276,66	316936,62
	S235	HEB 340	137,0	24,98	41058,90	287412,30
	S355	HEA 400	128,0	26,66	40945,15	286616,06
	S355	HEB 340	137,0	26,45	43478,87	304352,08
13,80 m	S235	HEA 500	159,0	26,39	50342,58	352398,06
	S235	HEB 400	159,0	24,98	47652,30	333566,10
	S355	HEA 500	159,0	27,86	53151,16	372058,09
	S355	HEB 360	146,0	26,45	46335,14	324346,01

Tabulka 2 - Nosníky jeřábových drah - cena

Porovnání tříd oceli S235 a S355

Cenový rozdíl standardní oceli třídy S235 je v porovnání s ocelí vyšších tříd malý. Dle internetových zdrojů jsou náklady na oceli vyšších tříd cca o 10 – 15 % dražší. Dle cenové nabídky od Ferona, a.s. jsou náklady na oceli vyšších tříd cca o 5 – 10 % dražší. Závisí na typu profilu a jeho velikosti. U dotčených profilů se rozdíl ceny pohybuje průměrně okolo 1,50 Kč na jeden kg materiálu.

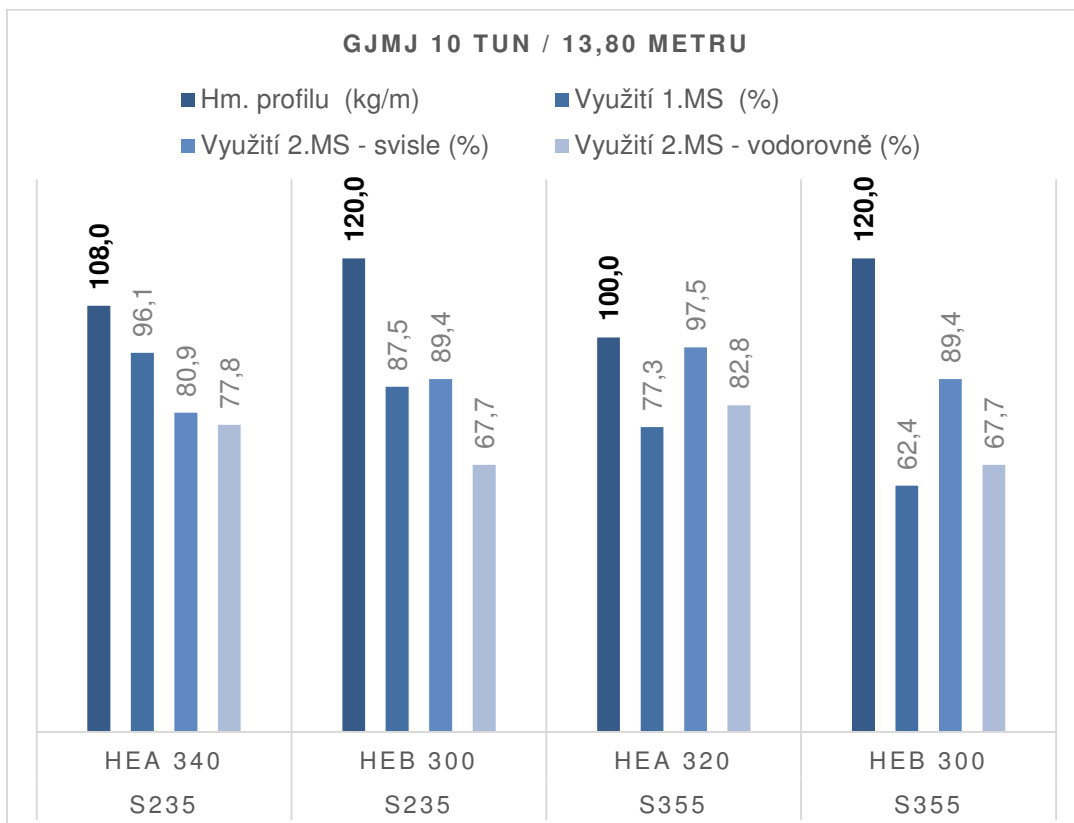
Nejehospodárnější a nevhodnější návrhy nosníku JD pro dotčené velikosti jeřábů

Nejehospodárnějším návrhem pro jeřáb o nosnosti 10 tun je profil HEA 320 – S355. Dle mého názoru, díky zanedbatelnému cenovému rozdílu a odlišnému využití profilů, je nevhodnějším návrhem jako nosník jeřábové dráhy pro jeřáb GJMJ 10 tun / 13,80 m ocelový profil **HEA 340 – S235**.

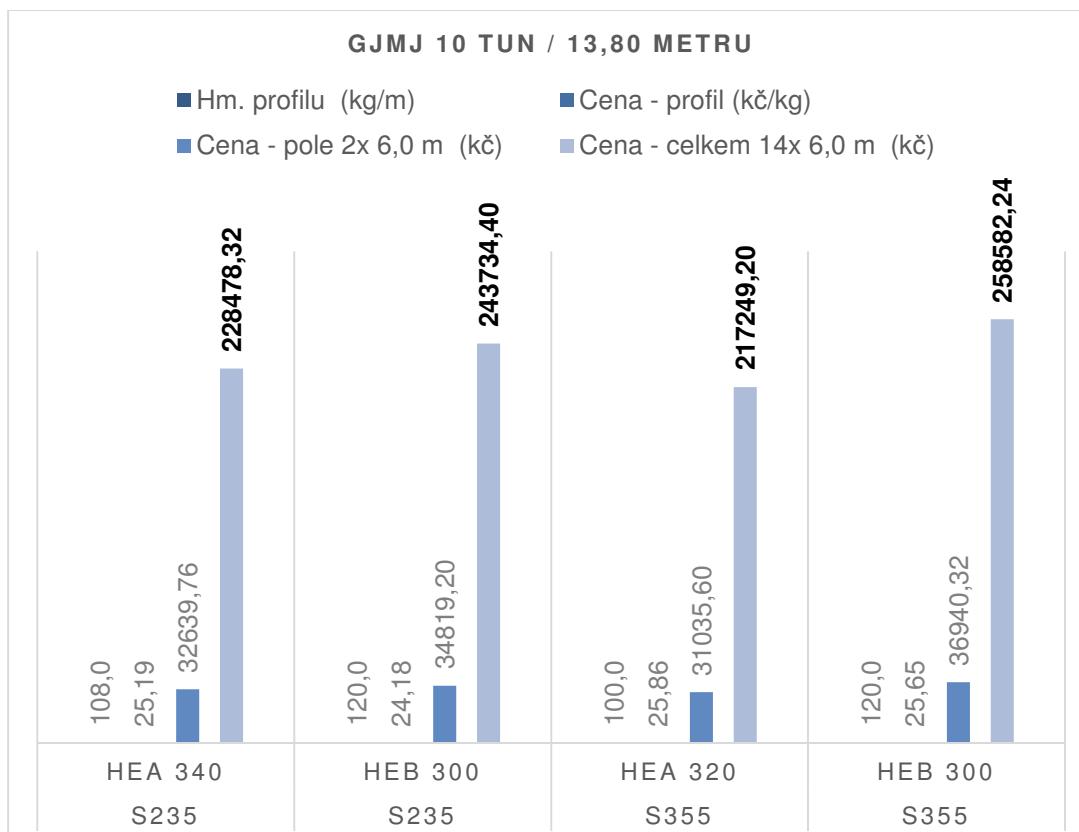
Nejehospodárnějším návrhem pro jeřáb o nosnosti 15 tun je profil HEA 400 – S355. Dle nejmenšího využití u dotčených průřezů je nevhodnějším návrhem profil HEA 450 – S235. Díky zanedbatelnému cenovému rozdílu těchto dvou profilů je dle mého názoru nevhodnějším návrhem, jako nosník jeřábové dráhy pro jeřáb GJMJ 15 tun / 13,80 m ocelový profil **HEA 400 – S355**.

Nejehospodárnějším návrhem pro jeřáb o nosnosti 20 tun je profil HEB 360 – S355. Dle nejmenšího využití u dotčených průřezů je nevhodnějším návrhem také profil HEB 360 – S355. Je tedy jasné, že nevhodnějším návrhem jako nosník jeřábové dráhy pro jeřáb GJMJ 20 tun / 13,80 m je ocelový profil **HEB 360 – S355**.

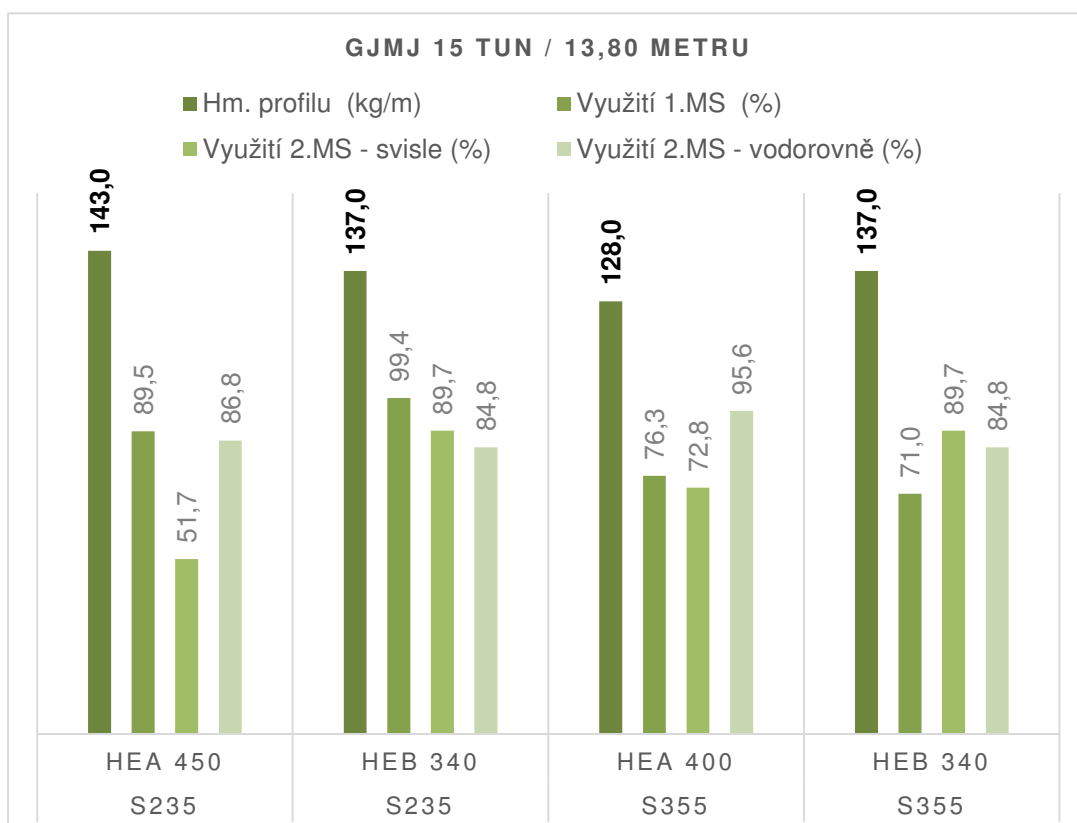
Shrnutí nosníků jeřábových drah pomocí grafů



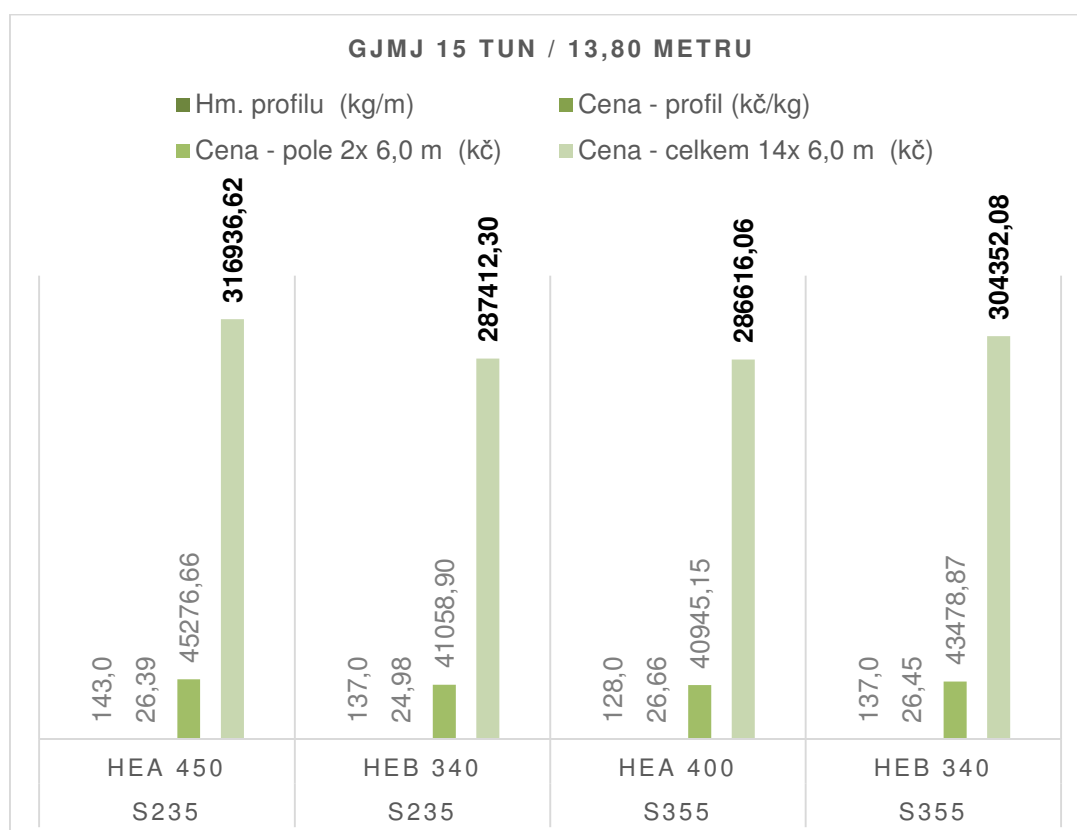
Tabulka 3 - Srovnání hmotnosti a využití nosníků jeřábových drah pro jeřáb GJMJ 10 t / 13,80 m



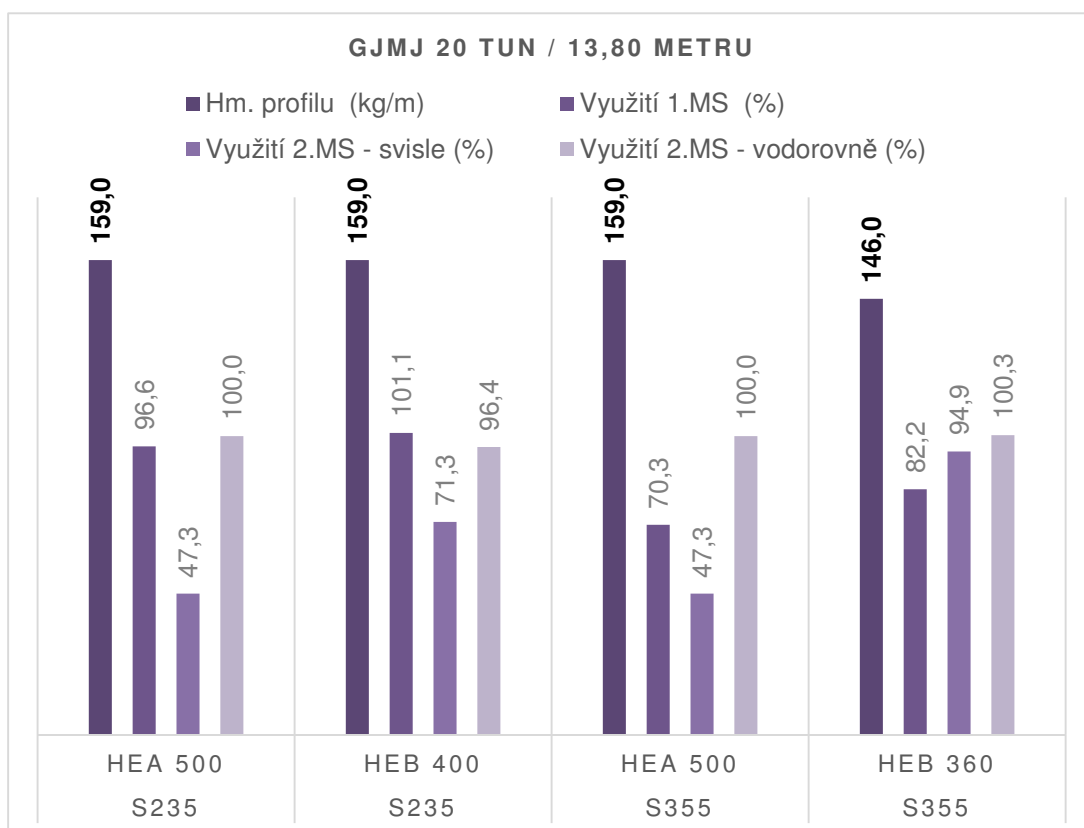
Tabulka 4 - Srovnání nákladů na nosníky jeřábových drah pro jeřáb GJMJ 10 t / 13,80 m



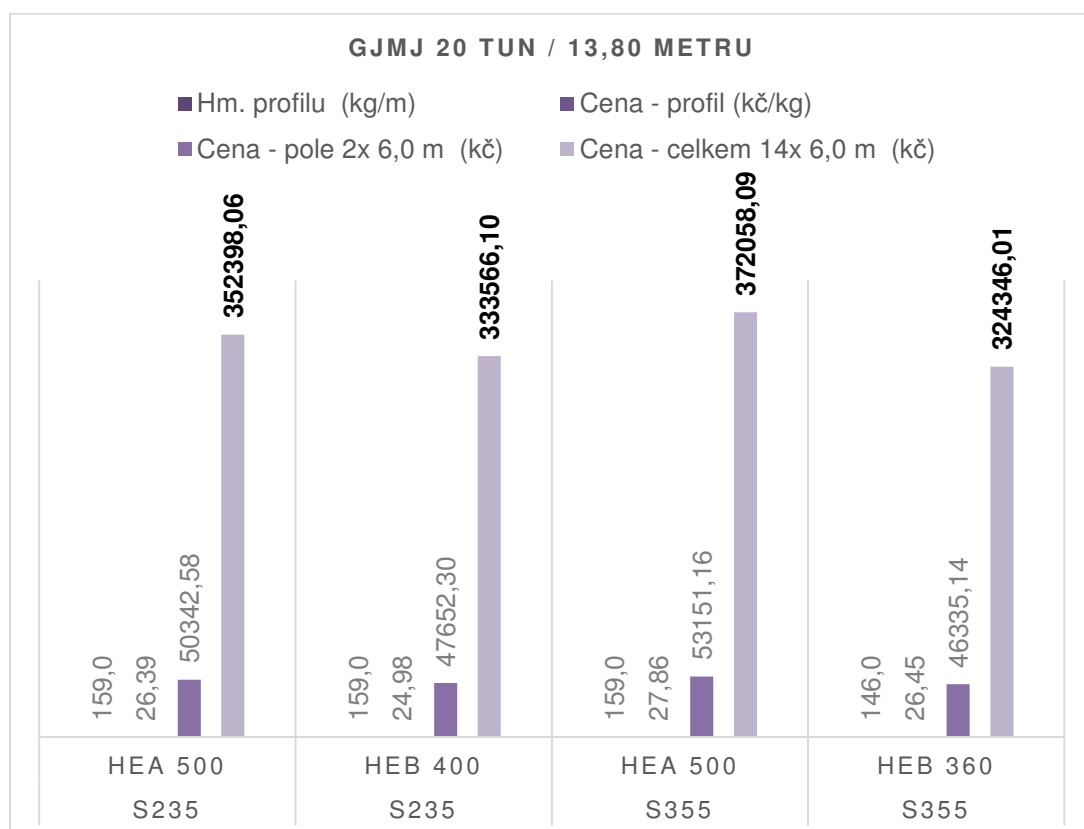
Tabulka 5 - Srovnání hmotnosti a využití nosníků jeřábových drah pro jeřáb GJMJ 15 t / 13,80 m



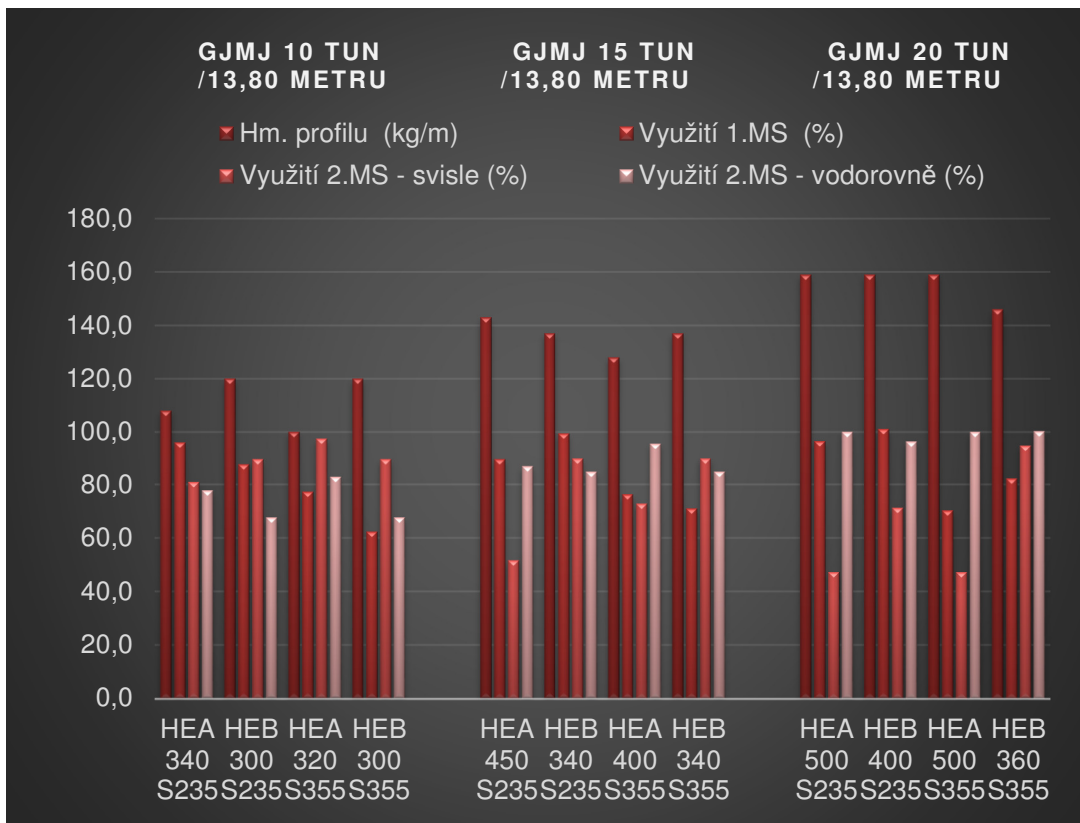
Tabulka 6 - Srovnání nákladů na nosníky jeřábových drah pro jeřáb GJMJ 15 t / 13,80 m



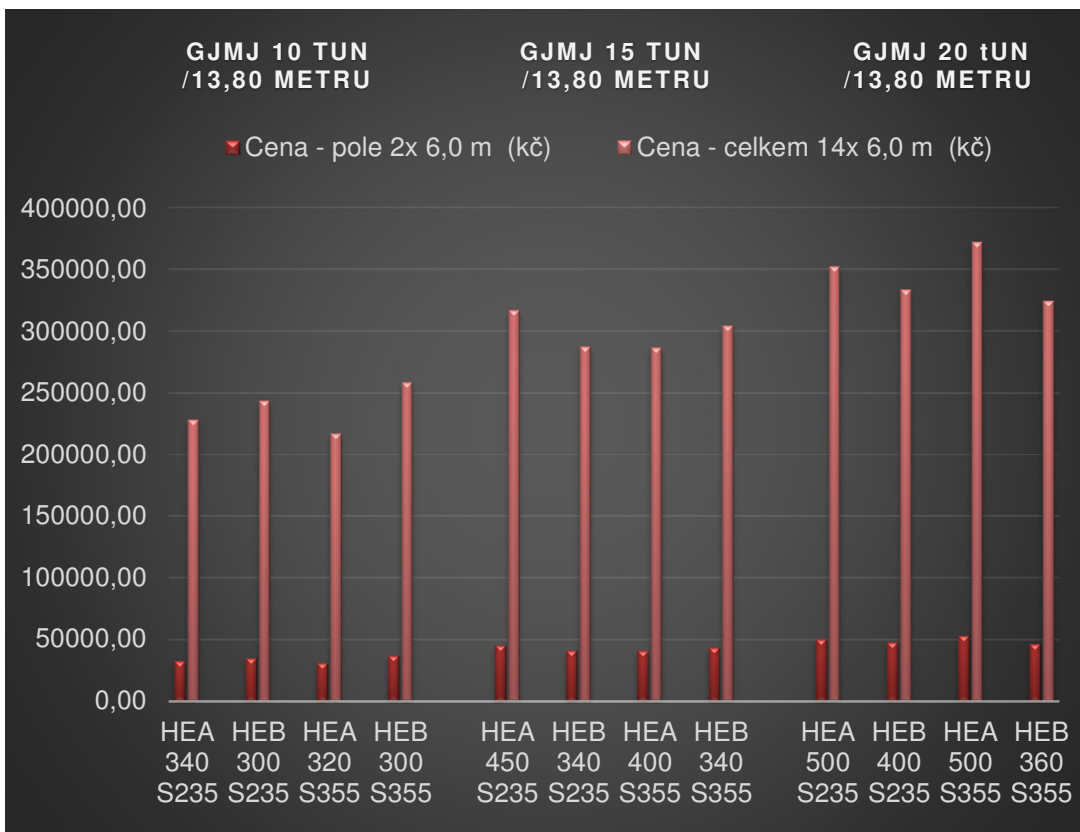
Tabulka 7 - Srovnání hmotnosti a využití nosníků jeřábových drah pro jeřáb GJMJ 20 t / 13,80 m



Tabulka 8 - Srovnání nákladů na nosníky jeřábových drah pro jeřáb GJMJ 20 t / 13,80 m



Tabulka 9 - Celkové srovnání hmotností a využití nosníků jeřábových drah pro dotčené jeřáby



Tabulka 10 - Celkové srovnání nákladů na nosníky jeřábových drah pro dotčené jeřáby

Konzoly pro nosníky JD – využití

	Ocel	Profil	Hm. profilu (kg/m)	Využití 1.MS - ohyb (%)	Využití 1.MS - smyk (%)	Využití 2.MS - svisle (%)
GJMJ 10t 13,80 m	S235	IPE 300	43,0	88,4	89,4	43,6
	S235	HEA 240	63,0	64,8	91,2	46,9
	S355	IPE 270	37,0	78,6	68,6	62,7
	S355	HEA 200	45,0	75,6	84,0	98,6
GJMJ 15t 13,80 m	S235	IPE 360	58,6	76,7	95,4	32,6
	S235	HEA 300	91,0	50,1	90,0	63,5
	S355	IPE 300	43,0	85,4	86,4	29,2
	S355	HEA 240	63,0	62,5	88,1	68,7
GJMJ 20t 13,80 m	S235	IPE 400	68,0	74,0	98,3	28,8
	S235	HEA 340	108,0	46,8	93,4	56,7
	S355	IPE 330	50,0	81,9	90,1	23,6
	S355	HEA 260	71,0	62,9	96,5	63,6

Tabulka 11 - Konzoly pro nosníky jeřábových drah - využití**Porovnání tříd oceli S235 a S355**

Z výsledků je patrné, že navrhované profily z oceli třídy S355 vycházejí podstatně menší, než z oceli třídy S235. V tabulce lze dále vyčíst, že téměř ve všech případech je rozhodujícím faktorem mezní stav únosnosti - smyk. To je dáno velkým lokálním zatížením od nosníku jeřábové dráhy. Deformace zde kvůli velikosti konzol nejsou rozhodující, díky návrhu vzdáleností jeřábu od okolních konstrukcí na normové minimum, vycházejí konzoly velmi krátké. Nejehospodárnějším řešením od zatížení dotčených jeřábů na konzoly z válcovaných ocelových profilů viz detailní vyčíslení – **Konzoly pro nosníky JD – cena**.

Porovnání profilů I, IPE, HEA a HEB

Konzoly pro nosníky JD jsou namáhány především ve svislé rovině průřezu. Nejvýhodnějším řešením pro tento typ zatížení jsou vysoké profily, šířka je zde v poměru k výšce zanedbatelná. Nicméně kvůli konstrukčním zásadám je nutno používat profily s širšími pásnicemi (horní pásnicí), aby bylo umožněno dostatečné uložení nosníku jeřábové dráhy a jeho uchycení pomocí šroubů.

Použití ocelových profilů typu I a HEB není pro návrh konzol jeřábových drah vhodným řešením. Ocelový profil typu I je z hlediska zatížení konzol ve svislé rovině určitě výhodný, nicméně jeho úzké pásnice neumožňují dostatečné uložení nosníků jeřábových drah. Ocelový profil typu HEB je naopak z hlediska širokých pásnic výhodný, ovšem z hlediska hospodárneho návrhu na tento typ zatížení vhodný není. Při navrhování konzol z profilu HEB jsem podle očekávání zjistil, že hospodárnému využití z hlediska únosnosti zabraňují převládající deformace.

Použití ocelového profilu typu IPE je pro návrh konzol jeřábových drah vhodnějším řešením. Z výsledků je patrné, že z hlediska využití a hmotnosti profilu je tento typ nejvýhodnější. Ovšem použití profilu IPE z hlediska geometrie může být v některých případech také nedostačující. Pásnice tohoto typu profilu mohou být pro připojení nosníku jeřábové dráhy z hlediska šířky uložení a konstrukčních zásad šroubů nevyhovující.

Podle mého názoru je nejvhodnějším návrhem konzol pro jeřábové dráhy profil typu HEA. Tento profil vychází u dotčených velikostí jeřábů těžší než profil IPE, ale v celkovém poměru nákladů na samotné konzoly viz níže je díky nesporným geometrickým výhodám cena zanedbatelná.

U jeřábu nosnosti 10 t a použití oceli třídy S235 je rozdíl hmotnosti navržených profilů 20,0 kg/m ve prospěch ocelového profilu IPE 300. U oceli třídy S355 je rozdíl hmotnosti navržených profilů 8,0 kg/m ve prospěch ocelového profilu IPE 270.

U jeřábu nosnosti 15 t a použití oceli třídy S235 je rozdíl hmotnosti navržených profilů 32,4 kg/m ve prospěch ocelového profilu IPE 360. U oceli třídy S355 je rozdíl hmotnosti navržených profilů 20,0 kg/m ve prospěch ocelového profilu IPE 300.

U jeřábu nosnosti 20 t a použití oceli třídy S235 je rozdíl hmotnosti navržených profilů 40,0 kg/m ve prospěch ocelového profilu IPE 400. U oceli třídy S355 je rozdíl hmotnosti navržených profilů 21,0 kg/m ve prospěch ocelového profilu IPE 330.

Nejhospodárnější a nejhodnější návrhy pro všechny dotčené nosnosti jeřábů viz detailní vyčíslení - **Konzoly pro nosníky JD – cena.**

Konzoly pro nosníky JD - cena

	Ocel	Profil	Hm. profilu (kg/m)	Cena - profil (Kč/kg)	Cena - pole 4x 0,5 m (Kč)	Cena - celkem 16x 0,5 m (Kč)
GJMJ 10t 13,80 m	S235	IPE 300	43,0	24,62	2117,06	8468,25
	S235	HEA 240	62,0	25,67	3183,58	12734,30
	S355	IPE 270	37,0	26,17	1936,28	7745,14
	S355	HEA 200	43,0	26,39	2269,37	9077,47
GJMJ 15t 13,80 m	S235	IPE 360	58,6	25,45	2983,09	11932,37
	S235	HEA 300	90,0	24,39	4390,38	17561,52
	S355	IPE 300	43,0	26,17	2250,36	9001,45
	S355	HEA 240	62,0	27,22	3375,78	13503,10
GJMJ 20t 13,80 m	S235	IPE 400	68,0	25,45	3461,61	13846,43
	S235	HEA 340	108,0	25,19	5439,96	21759,84
	S355	IPE 330	50,0	27,00	2700,30	10801,20
	S355	HEA 260	70,0	27,22	3811,36	15245,44

Tabulka 12 - Konzoly pro nosníky jeřábových drah - cena

Porovnání tříd oceli S235 a S355

Cenový rozdíl standardní oceli třídy S235 je v porovnání s ocelí vyšších tříd malý. Dle internetových zdrojů jsou náklady na oceli vyšších tříd cca o 10 – 15 % dražší. Dle cenové nabídky od Ferona, a.s. jsou náklady na oceli vyšších tříd cca o 5 – 10 % dražší. Závisí na typu profilu a jeho velikosti. U dotčených profilů se rozdíl ceny pohybuje průměrně okolo 1,50 Kč na jeden kg materiálu.

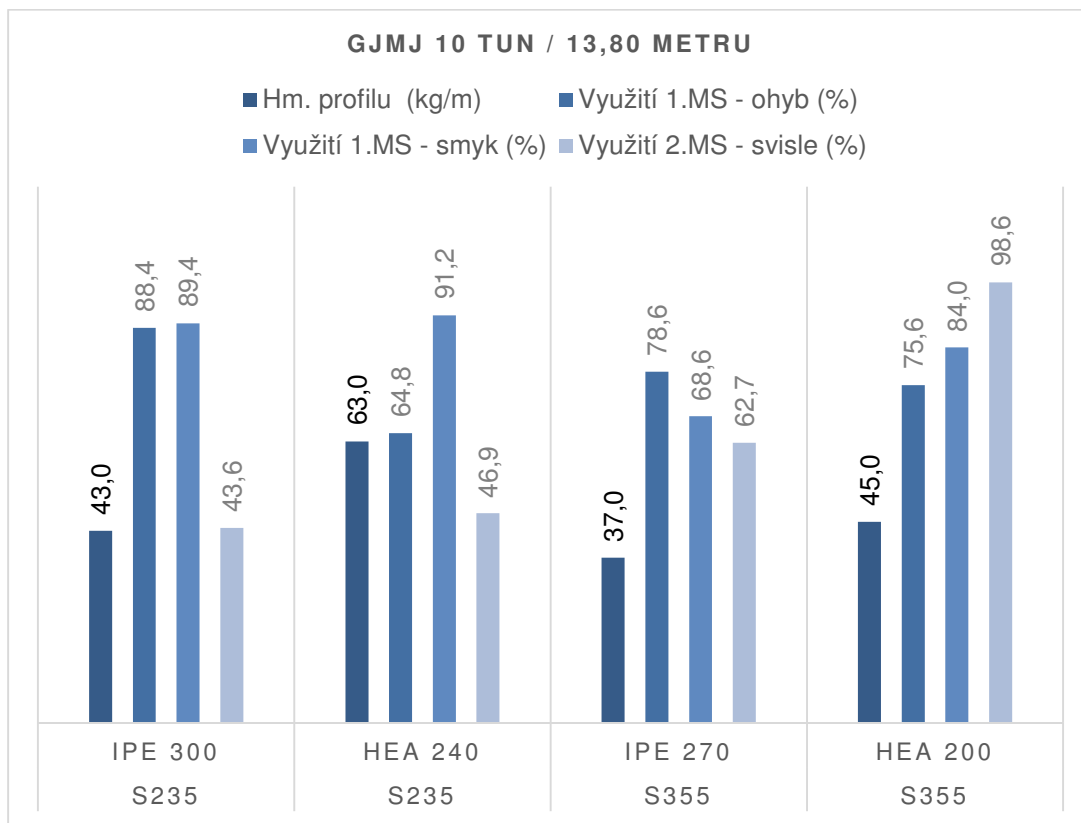
Nejhospodárnější a nejhodnější návrhy konzol JD pro dotčené velikosti jeřábů

Nejhospodárnějším návrhem konzol pro jeřáb o nosnosti 10 tun je profil IPE 270 – S355. Dle mého názoru, díky zanedbatelnému cenovému rozdílu z hlediska celé stavby a odlišným konstrukčním výhodám, je nejhodnější návrhem jako konzola jeřábové dráhy pro jeřáb GJMJ 10 tun / 13,80 m ocelový profil **HEA**. Výběr třídy oceli závisí kvůli napojení ke sloupům na celkovém návrhu dotčené haly.

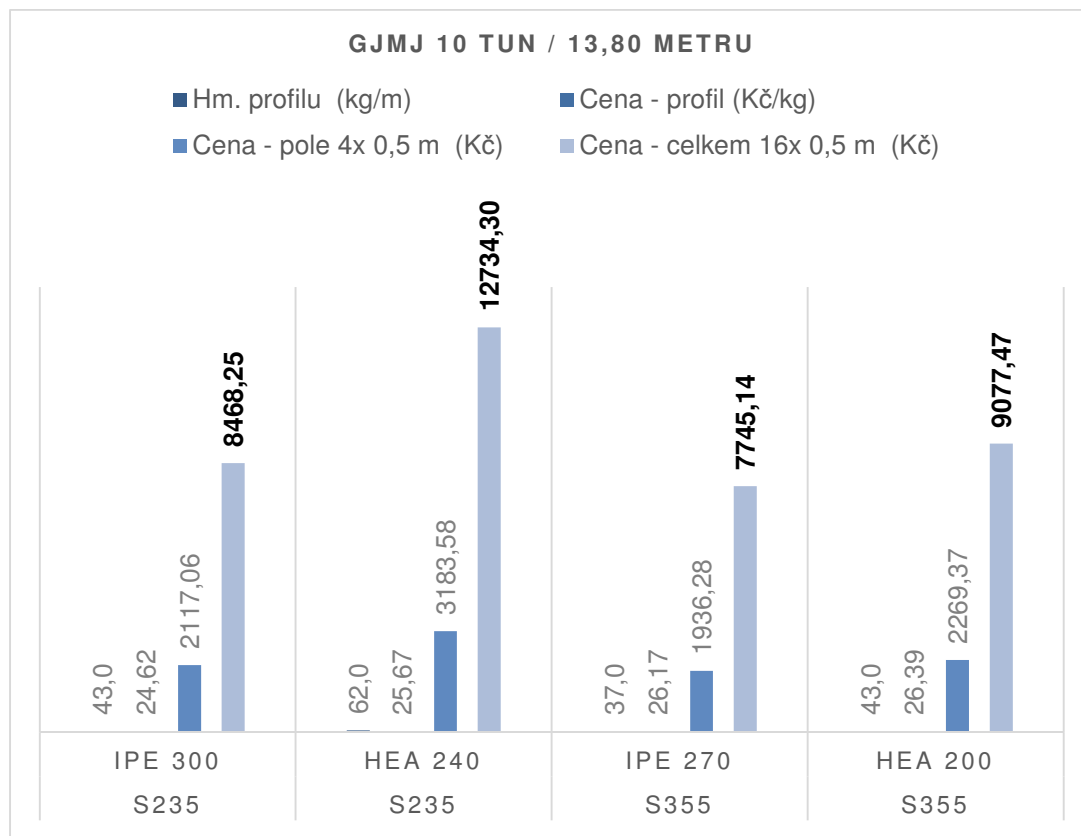
Nejhospodárnějším návrhem konzol pro jeřáb o nosnosti 15 tun je profil IPE 300 – S355. Dle mého názoru, díky zanedbatelnému cenovému rozdílu z hlediska celé stavby a odlišným konstrukčním výhodám, je nejhodnější návrhem jako konzola jeřábové dráhy pro jeřáb GJMJ 15 tun / 13,80 m ocelový profil **HEA**. Výběr třídy oceli závisí kvůli napojení ke sloupům na celkovém návrhu dotčené haly.

Nejhospodárnějším návrhem konzol pro jeřáb o nosnosti 20 tun je profil IPE 330 – S355. Dle mého názoru, díky zanedbatelnému cenovému rozdílu z hlediska celé stavby a odlišným konstrukčním výhodám, je nejhodnější návrhem jako konzola jeřábové dráhy pro jeřáb GJMJ 20 tun / 13,80 m ocelový profil **HEA**. Výběr třídy oceli závisí kvůli napojení ke sloupům na celkovém návrhu dotčené haly.

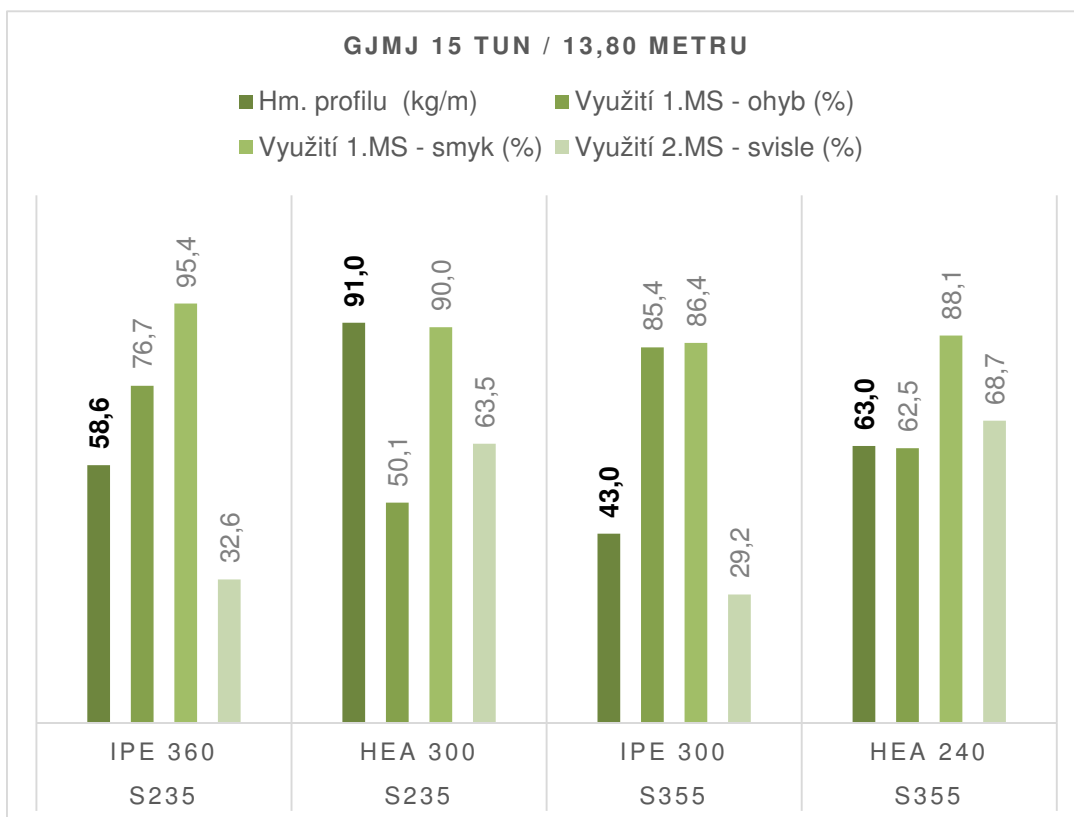
Shrnutí konzol pro nosníky JD pomocí grafů



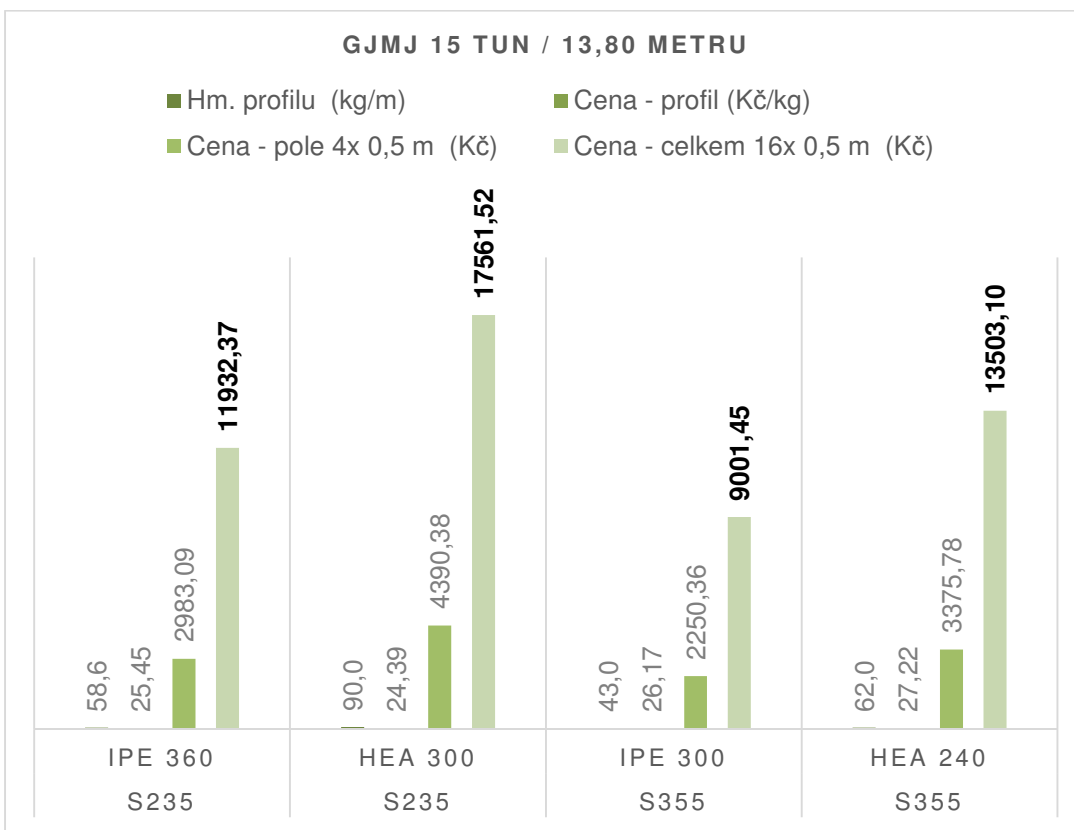
Tabulka 13 - Srovnání hmotnosti a využití konzol JD pro jeřáb GJMJ 10 t / 13,80 m



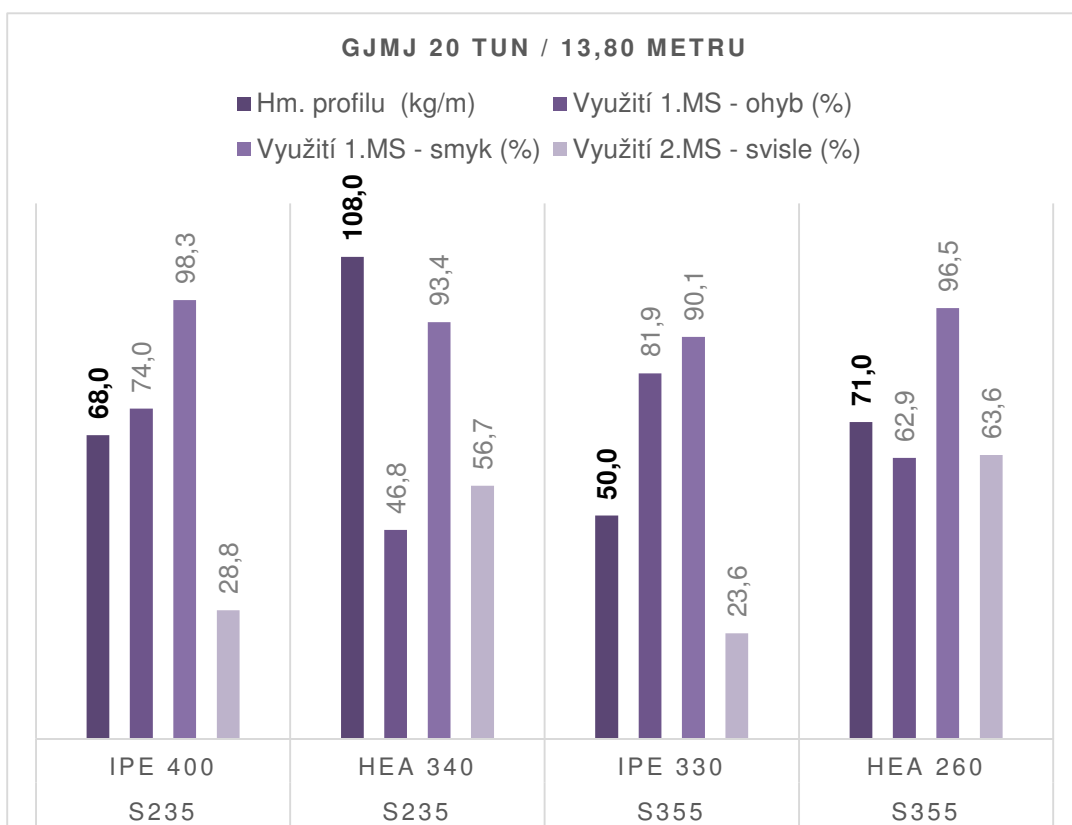
Tabulka 14 - Srovnání nákladů na konzoly JD pro jeřáb GJMJ 10 t / 13,80 m



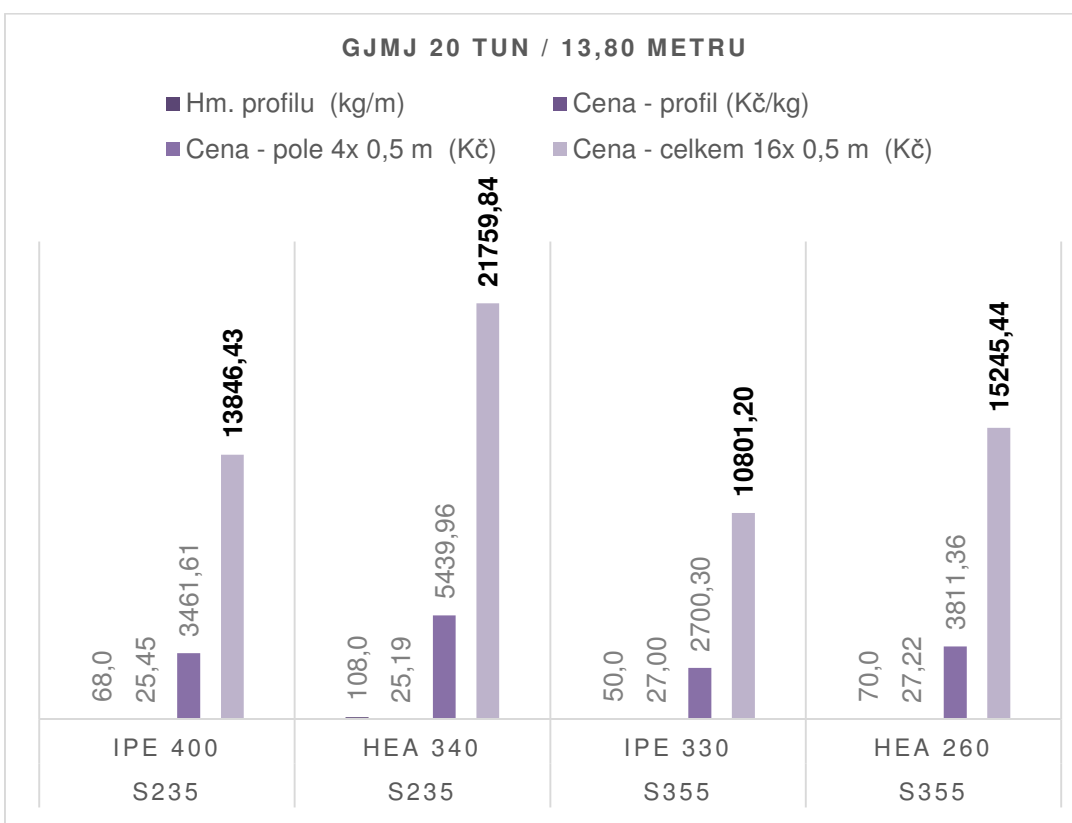
Tabulka 15 - Srovnání hmotnosti a využití konzol JD pro jeřáb GJMJ 15 t / 13,80 m



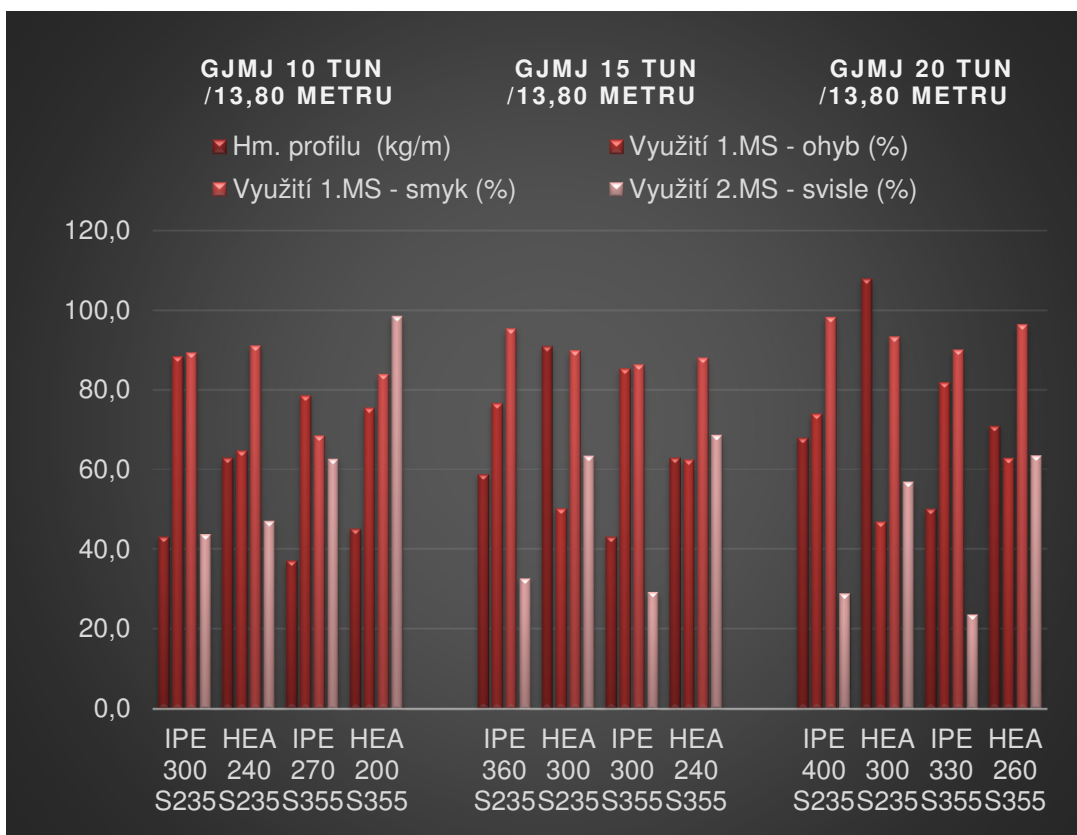
Tabulka 16 - Srovnání nákladů na konzoly JD pro jeřáb GJMJ 15 t / 13,80 m



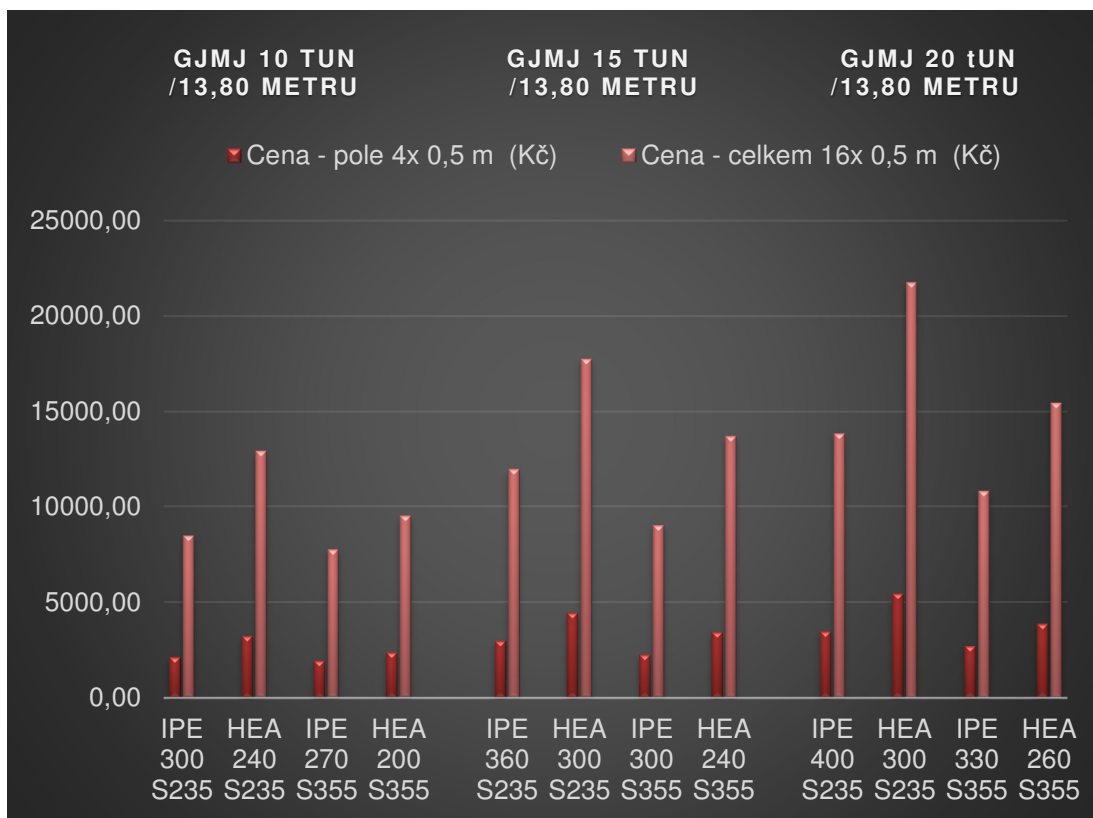
Tabulka 17 - Srovnání hmotnosti a využití konzol JD pro jeřáb GJMJ 20 t / 13,80 m



Tabulka 18 - Srovnání nákladů na konzoly JD pro jeřáb GJMJ 20 t / 13,80 m



Tabulka 19 - Celkové srovnání hmotností a využití konzol JD pro dotčené jeřáby



Tabulka 20 - Celkové srovnání nákladů na konzoly JD pro dotčené jeřáby

ZÁVĚR

Cílem diplomové práce byla analýza jeřábových drah ohledně nejhospodárnějších, konstrukčně nejvýhodnějších a celkově nejvhodnějších typů profilů a tříd ocelí S235 a S355 pro daná zatížení.

Stěžejní částí celé práce byly statické výpočty. Jednalo se o dvanáct výpočtů nosníků jeřábových drah a dvanáct výpočtů konzol pro dané nosnosti jeřábů. U každého jeřábu a jeho nosnosti byly posuzovány dva nejvhodnější typy profilů pro daný nosník v třídě oceli S235 a S355. U nosníků jeřábových drah byly zvoleny typy profilů HEA a HEB, u konzol pak typy profilů IPE a HEA.

U jeřábu o nosnosti 10 t byl nejhospodárnějším návrhem jako nosník jeřábové dráhy profil HEA 320 – S355. Z celkové analýzy byl však pro návrh nosníku jeřábové dráhy nejvhodnějším ocelovým profilem HEA 340 – S235. Pro návrh konzoly byl nejhospodárnějším návrhem profil IPE 270 – S355. Díky zanedbatelnému cenovému rozdílu z hlediska celé stavby a odlišným konstrukčním výhodám, byl jako nejvhodnější návrh konzoly zvolen ocelový profil HEA.

U jeřábu o nosnosti 15 t byl nejhospodárnějším a zároveň nejvhodnějším návrhem ocelový profil HEA 400 – S355. Pro návrh konzoly byl nejhospodárnějším návrhem profil IPE 300 – S355. Díky zanedbatelnému cenovému rozdílu z hlediska celé stavby a odlišným konstrukčním výhodám, byl jako nejvhodnější návrh konzoly zvolen ocelový profil HEA.

U jeřábu o nosnosti 20 t byl nejhospodárnějším návrhem jako nosník jeřábové dráhy profil HEB 360 – S355. Z celkové analýzy byl pro návrh nosníku jeřábové dráhy nejvhodnějším ocelovým profilem HEA 400 – S355. Pro návrh konzoly byl nejhospodárnějším návrhem profil IPE 330 – S355. Díky zanedbatelnému cenovému rozdílu z hlediska celé stavby a odlišným konstrukčním výhodám, byl jako nejvhodnější návrh konzoly zvolen ocelový profil HEA.

Podle mého názoru práce splnila veškerá daná kritéria a obohatila mě o řadu zkušeností. Poznal jsem, že statický výpočet nosníku jeřábové dráhy je velice náročná disciplína. Práce mě dodala zkušenosti z hlediska statiky a 3D modelování ocelových konstrukcí. Díky závěrečné analýze výsledků jsem si odpověděl na řadu úvodních otázek. Jedná se například o výběr typů profilů pro nosníky a konzoly jeřábových drah z hlediska hospodárnosti či výhodnosti z hlediska konstrukčních zásad.

Seznam příloh a výkresů

Seznam příloh

Příloha 1 – Statický výpočet

Seznam výkresů

1 - Jeřábová dráha pro jeřáb GJMJ 10 t / 13,80 m

2 - Jeřábová dráha pro jeřáb GJMJ 15 t / 13,80 m

3 - Jeřábová dráha pro jeřáb GJMJ 20 t / 13,80 m

Seznam použitých zdrojů a softwaru

Normy a literatura

ČSN EN 1990 – Zásady navrhování konstrukcí

ČSN EN 1991 – Zatížení konstrukcí

ČSN EN 1991-3 – Zatížení od jeřábů a strojního vybavení

ČSN EN 1993 – Navrhování ocelových konstrukcí

ČSN EN 1993-6 – Jeřábové dráhy

Internetové odkazy

<http://www.shop.feromat.cz>

<http://www.ferona.cz>

<http://www.ferrum.cz/>

<http://www.konstrukce.cz>

<http://www.tzb-info.cz>

Použitý software

AutoCad 2017

Advance Steel 2017

Microsoft Excel 2016

Microsoft Word 2016

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Nosníky jeřábových drah - využití	37
Tabulka 2 - Nosníky jeřábových drah - cena	38
Tabulka 3 - Srovnání hmotnosti a využití nosníků jeřábových drah pro jeřáb GJMJ 10 t / 13,80 m	39
Tabulka 4 - Srovnání nákladů na nosníky jeřábových drah pro jeřáb GJMJ 10 t / 13,80 m	39

Tabulka 5 - Srovnání hmotnosti a využití nosníků jeřábových drah pro jeřáb GJMJ 15 t / 13,80 m	40
Tabulka 6 - Srovnání nákladů na nosníky jeřábových drah pro jeřáb GJMJ 15 t / 13,80 m.....	40
Tabulka 7 - Srovnání hmotnosti a využití nosníků jeřábových drah pro jeřáb GJMJ 20 t / 13,80 m	41
Tabulka 8 - Srovnání nákladů na nosníky jeřábových drah pro jeřáb GJMJ 20 t / 13,80 m.....	41
Tabulka 9 - Celkové srovnání hmotností a využití nosníků jeřábových drah pro dotčené jeřáby.....	42
Tabulka 10 - Celkové srovnání nákladů na nosníky jeřábových drah pro dotčené jeřáby	42
Tabulka 11 - Konzoly pro nosníky jeřábových drah - využití	43
Tabulka 12 - Konzoly pro nosníky jeřábových drah - cena.....	44
Tabulka 13 - Srovnání hmotnosti a využití konzol JD pro jeřáb GJMJ 10 t / 13,80 m.....	45
Tabulka 14 - Srovnání nákladů na konzoly JD pro jeřáb GJMJ 10 t / 13,80 m	45
Tabulka 15 - Srovnání hmotnosti a využití konzol JD pro jeřáb GJMJ 15 t / 13,80 m.....	46
Tabulka 16 - Srovnání nákladů na konzoly JD pro jeřáb GJMJ 15 t / 13,80 m	46
Tabulka 17 - Srovnání hmotnosti a využití konzol JD pro jeřáb GJMJ 20 t / 13,80 m.....	47
Tabulka 18 - Srovnání nákladů na konzoly JD pro jeřáb GJMJ 20 t / 13,80 m	47
Tabulka 19 - Celkové srovnání hmotností a využití konzol JD pro dotčené jeřáby	48
Tabulka 20 - Celkové srovnání nákladů na konzoly JD pro dotčené jeřáby.....	48

Seznam obrázků

Obrázek 1 - 3D model ocelové konstrukce haly - 1	10
Obrázek 2 - 3D model ocelové konstrukce haly - 2.....	10
Obrázek 3 - Půdorys střechy	11
Obrázek 4 - Půdorys JD s rámy.....	11
Obrázek 5 - Pohled severozápadní	12
Obrázek 6 – Pohled na JD.....	12
Obrázek 7 - Pohled jihovýchodní	12
Obrázek 8 - Pohled severovýchodní.....	13
Obrázek 9 - Pohled jihozápadní.....	13
Obrázek 10 - Řez příčný	13
Obrázek 11 – Kotvení sloupů, spoje: paždík – sloup, stěnové ztužidlo - sloup.....	14
Obrázek 12 - Rámový roh štítové stěny, spoj: vaznice - rámová příčle	14
Obrázek 13 - Spoje: štítový sloup - rámová příčle, paždík - štítový sloup, střešní zavětrování - příčle	14
Obrázek 14 - Rámový roh vnitřního rámu, spoje: vaznice - rámová příčle, stěnové ztužidlo - sloup.....	15
Obrázek 15 - Konzola a nosník jeřábové dráhy.....	15
Obrázek 16 - Spoje: vrcholové vaznice – rámová příčle, střešní zavětrování - příčle.....	15
Obrázek 17 - Příklady průřezů samotných nosníků JD	16
Obrázek 18 - Příklady průřezů kolejnic s nejmenší tloušťkou t_r pod pojížděným povrchem kolejnice	16
Obrázek 19 - Způsoby připojení kolejnice k horní pásnici nosníku JD.....	17
Obrázek 20 - Rozježděný styk a sjetí původně čtvercové kolejnice	18
Obrázek 21 - Rozježděný dilatační styk kolejnice	18
Obrázek 22 - Typy excentricit zatížení na nosnících jeřábových drah	18