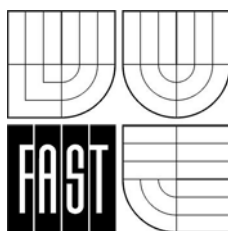


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ

KOVOVÉ KONSTRUKCE I

MODUL B004-MO3
KONSTRUKCE JEŘÁBOVÉ DRÁHY



STUDIJNÍ OPORY
PRO STUDIJNÍ PROGRAMY S KOMBINOVANOU FORMOU STUDIA



Jazyková korektura nebyla provedena, za jazykovou stránku odpovídá autor.

© Prof. Ing. Jindřich Melcher, DrSc.
Ing. Milan Šmak, Ph.D.

Obsah

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1 Úvod | 7 |
| 1.1 Cíle..... | 7 |
| 1.2 Požadované znalosti..... | 7 |
| 1.3 Doba potřebná ke studiu..... | 7 |
| 1.4 Klíčová slova..... | 7 |
| 1.5 Metodický návod na práci s textem..... | 8 |
| 2 Jeřábová dráha | 9 |
| 2.1 Úvod..... | 9 |
| 2.2 Jeřáby..... | 9 |
| 2.3 Jeřábová dráha..... | 11 |
| 2.3.1 Všeobecně..... | 11 |
| 2.3.2 Konstrukce jeřábové dráhy..... | 11 |
| 2.4 Návrh jeřábové dráhy – řešený příklad..... | 12 |
| 3 Zatížení jeřábové dráhy | 15 |
| 3.1 Všeobecně..... | 15 |
| 3.2 Zatížení stálé..... | 15 |
| 3.2.1 Kolejnice jeřábové dráhy..... | 15 |
| 3.2.2 Hlavní nosník jeřábové dráhy..... | 16 |
| 3.2.3 Vodorovný výztužný nosník a obslužná lávka..... | 16 |
| 3.3 Zatížení nahodilé..... | 17 |
| 3.3.1 Užité zatížení na lávce..... | 17 |
| 3.3.2 Svislé zatížení od kol jeřábu..... | 17 |
| 3.3.3 Podélné brzdě síly..... | 19 |
| 3.3.4 Příčné brzdě síly..... | 19 |
| 3.3.5 Síla od přičení a jiných nerovnoměrností při pojezdu na jeřábové dráze..... | 20 |
| 3.3.6 Síla od nárazu jeřábu na koncové nárazníky dráhy..... | 21 |
| 3.4 Rekapitulace zatížení..... | 21 |
| 4 Hlavní (svislý) nosník jeřábové dráhy | 23 |
| 4.1 Předpoklady posouzení..... | 23 |
| 4.2 Výpočet vnitřních sil..... | 23 |
| 4.2.1 Svislé zatížení od kol jeřábů..... | 23 |
| 4.2.1.1 Extrémní ohybový moment M_y | 24 |
| 4.2.1.2 Extrémní posouvající síla V_z | 25 |
| 4.2.2 Stálé zatížení..... | 26 |
| 4.2.3 Užité zatížení na lávce..... | 26 |
| 4.2.4 Podélná brzdě síla..... | 26 |
| 4.2.5 Vodorovné příčné síly..... | 27 |
| 4.2.5.1 Zatížení $B_t + B_l$ | 28 |
| 4.2.5.2 Zatížení $H_{tp} + B_l$ | 29 |
| 4.2.5.3 Zatížení $B_l + H_{tp}$ | 29 |
| 4.2.6 Rekapitulace vnitřních sil..... | 29 |

| | | |
|----------|--------------------------------------------------------|-----------|
| 4.2.7 | Kombinace účinků vnitřních sil | 29 |
| 4.3 | Návrh průřezu, průřezové charakteristiky | 30 |
| 4.3.1 | Průřezové charakteristiky | 30 |
| 4.3.2 | Určení třídy průřezu | 30 |
| 4.4 | Posouzení nosníku | 31 |
| 4.4.1 | Dostatečné podepření tlačného pásu stojinou | 31 |
| 4.4.2 | Namáhání smykem | 31 |
| 4.4.2.1 | Postavení A_{max} : | 31 |
| 4.4.2.2 | Postavení M_{max} : | 32 |
| 4.4.3 | Namáhání ohybem a osovou silou | 32 |
| 4.4.3.1 | Horní pásnice | 32 |
| 4.4.3.2 | Dolní pásnice | 34 |
| 4.4.4 | Příčné namáhání mimo výztuhy | 34 |
| 4.4.4.1 | Lokální únosnost stojiny v tlaku | 34 |
| 4.4.4.2 | Lokální únosnost při borcení stojiny | 35 |
| 4.4.4.3 | Lokální stabilita stojiny | 36 |
| 4.4.4.4 | Rovinné namáhání ve stojině nosníku | 37 |
| 4.4.5 | Příčné výztuhy | 38 |
| 4.4.5.1 | Vnitřní výztuhy | 38 |
| 4.4.5.2 | Podporové výztuhy | 39 |
| 4.4.6 | Krční svary | 41 |
| 4.4.7 | Posouzení na únavu | 42 |
| 4.4.7.1 | Vstupní parametry výpočtu | 42 |
| 4.4.7.2 | Předpoklady posouzení na únavu řešeného příkladu | 43 |
| 4.4.7.3 | Posouzení detailů na únavu | 43 |
| 4.4.8 | Mezní stav použitelnosti | 46 |
| 5 | Vodorovný výztužný nosník | 48 |
| 5.1 | Všeobecně | 48 |
| 5.2 | Koncepce návrhu vodorovného výztužného nosníku | 48 |
| 5.3 | Zatížení | 49 |
| 5.3.1 | Zatížení stálé | 49 |
| 5.3.2 | Zatížení nahodilé | 49 |
| 5.4 | Výpočet vnitřních sil | 50 |
| 5.4.1 | Pásový prut | 50 |
| 5.4.2 | Svislice | 52 |
| 5.4.3 | Diagonály | 53 |
| 5.4.3.1 | Diagonála D_1 | 53 |
| 5.4.3.2 | Diagonála D_2 | 53 |
| 5.4.3.3 | Diagonála D_3 | 54 |
| 5.5 | Návrh průřezů – mezní stav únosnosti | 54 |
| 5.5.1 | Pásový prut | 54 |
| 5.5.2 | Svislice | 55 |
| 5.5.3 | Diagonály | 56 |
| 5.5.3.1 | Diagonála D_1 | 56 |

| | | |
|----------|----------------------------------------------------|-----------|
| 5.5.3.2 | Diagonála D_2 | 56 |
| 5.5.3.3 | Diagonála D_3 | 57 |
| 5.6 | Posouzení průhybu – mezní stav použitelnosti | 57 |
| 6 | Brzdná ztužidla..... | 58 |
| 6.1 | Funkce brzdných ztužidel | 58 |
| 6.2 | Uspořádání brzdných ztužidel..... | 59 |
| 6.3 | Návrh brzdného ztužidla | 60 |
| 7 | Kolejnice, nárazníky, lávky | 61 |
| 7.1 | Kolejnice | 61 |
| 7.2 | Nárazníky | 62 |
| 7.3 | Lávky | 62 |
| 8 | Závěr, studijní prameny | 63 |
| 8.1 | Shrnutí | 63 |
| 8.2 | Kontrolní otázky | 63 |
| 8.3 | Studijní prameny | 63 |
| 8.3.1 | Seznam použité literatury | 64 |
| 8.3.2 | Seznam doplňkové studijní literatury | 64 |

1 Úvod

1.1 Cíle

Modul, který se chystáte studovat, je zaměřen na konstrukci jeřábové dráhy v průmyslových objektech. V sedmi kapitolách se postupně seznámíte se základními typy používaných jeřábů i jejich podpurných konstrukcí, tzn. jeřábových drah.



Je podrobně proveden rozbor zatížení, které působí na tuto konstrukci i výpočet vnitřních sil od jednotlivých zatěžovacích účinků. Prakticky, krok po kroku, si na konkrétním řešení ukážeme přesný postup návrhu a posouzení základních nosných prvků konstrukce jeřábové dráhy, tj. svislého (hlavního) nosníku, vodorovného výztžného nosníku i brzdných ztužidel.

Cílem tohoto modulu je tedy seznámit vás – studenty – se základními problémy a postupy návrhu hlavních konstrukčních prvků jeřábové dráhy, a to zejména s jeho statickým řešením. Modul je koncipován tak, abyste po jeho nastudování dokázali realizovat návrh hlavních nosných prvků konstrukce jeřábové dráhy v průmyslových objektech, osazené mostovými jeřáby běžných nosností.

1.2 Požadované znalosti

Student by měl mít osvojené znalosti z teoretických předmětů předchozího studia, tzn. především stavební mechaniky, konstrukcí a dopravních staveb a nutně z všech modulů předmětu Prvky kovových konstrukcí. Předpokladem je i prostudování modulu Uspořádání a konstrukční řešení průmyslových budov.



1.3 Doba potřebná ke studiu

Doba nutná k prostudování kapitol 2, 6 a 7 činí přibližně jednu hodinu. Důkladné osvojení kapitoly 3 (Zatížení jeřábové dráhy) zabere přibližně tři hodiny. K nastudování nejobsáhlejších kapitol číslo 4 (Hlavní nosník jeřábové dráhy) a číslo 5 (Vodorovný výztžný nosník) je nezbytné počítat s dobou cca 5-6 hodin, resp. 3 hodiny u kapitoly 5.



Celková doba k nastudování a osvojení modulu činí cca 15 hodin.

1.4 Klíčová slova

Jeřáb, mostový jeřáb, kočka, jeřábová dráha, svislý (hlavní) nosník, vodorovný výztžný nosník, brzdné ztužidlo, obslužná lávka, svislé zatížení od kol jeřábu, pohyblivé zatížení, síla od příčení a jiných nerovnoměrností při pojezdu jeřábu, podélná brzdná síla, příčná brzdná síla, dynamický součinitel, Winklerovo kritérium, lokální únosnost stojiny, příčné výztuhy, krční svary, únava, bezstyková kolejnice, stykovaná kolejnice, tuhý nárazník, pružný nárazník.



1.5 Metodický návod na práci s textem

Před zahájením studia tohoto modulu doporučujeme, aby měl student důkladně osvojené informace, týkající se prostorového uspořádání a konstrukčního řešení průmyslových objektů, tzn. modul BO04-MO1 Uspořádání a konstrukční řešení průmyslových budov.

Jednotlivé kapitoly tohoto modulu jsou řazeny v logickém sledu, stejně jako se provádí návrh prvků konstrukce jeřábové dráhy. Ke každé následující kapitole modulu lze přistoupit až po zvládnutí předloženého problému.

Studium jednotlivých kapitol je vhodné (a taktéž žádoucí) rozšířit doplňkovou literaturou.

Ve výpočtech, naznačených v kapitolách 3 až 6 tohoto modulu nejsou uváděny obecné vztahy u základních postupů, které musí studující tohoto modulu již nezbytně ovládat. Například se zde jedná o výpočet ohybového momentu či posouvající síly na prostém nosníku v určitém řezu, výpočet napětí od ohybu, tlaku nebo tahu, případně určení třídy průřezu.

2 Jeřábová dráha

2.1 Úvod

Konstrukce jeřábové dráhy je tvořena souborem prvků, umožňujících vykonávat práci jeřábů, kterou je manipulace s předměty nebo jejich přemísťování v předem vymezeném prostoru.

Zdvihací zařízení obecně (tzn. zdvihadla, jeřáby a výtahy) tvoří základní vybavení naprosté většiny průmyslových objektů – výrobních, montážních, skladovacích či technologických. Uplatnění nacházejí tato zařízení i v mnoha jiných oborech lidské činnosti, kde vyvstává nutnost manipulace s těžkými nebo objemnými předměty.

Prakticky se využívá široká škála různých zdvihacích zařízení (jeřábů), jež pro svoji práci nezbytně potřebují více či méně náročné podpůrné konstrukce.

V dalších kapitolách tohoto textu se zaměříme pouze na jeřáby a jejich podpůrné konstrukce (tj. jeřábové dráhy), jež nacházejí uplatnění v průmyslových objektech.

2.2 Jeřáby

Jeřáby jsou zařízení, náležející (společně se zdvihadly a výtahy) do skupiny zdvihacích zařízení. Slouží pro plošné přemísťování předmětů (tj. břemen) v horizontálním i vertikálním směru v předem vymezené oblasti – nejčastěji v uzavřených prostorách (halách), ale také na nezastřešených venkovních plochách.

Rozeznáváme řadu různých druhů jeřábů: podvěsné kladkostroje s ručním nebo motorovým pohonem, otočné jeřáby, mostové jeřáby, podvěsné mostové jeřáby, stohovací jeřáby, konzolové jeřáby, jeřáby portálové, případně poloportálové. Některé z výše uvedených typů jsou zachyceny na Obr. 2.1. Pro pohon jeřábů se nejčastěji využívají elektromotory.

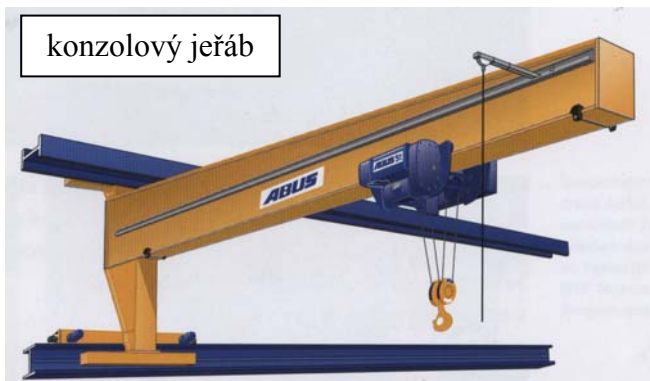
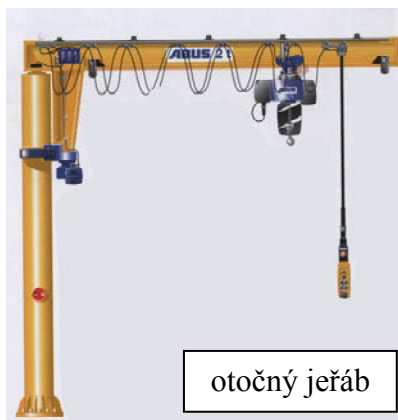
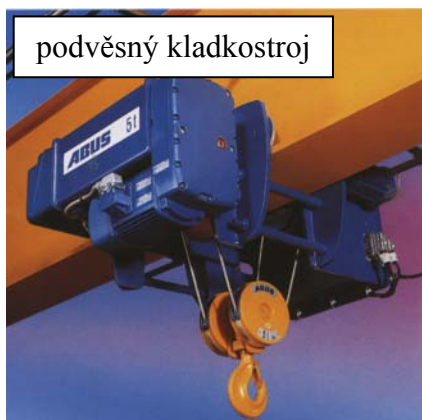
Použití konkrétního druhu jeřábu se řídí zejména technologickými požadavky daného provozu, hmotností i velikostí přemísťovaných břemen, přepravními vzdálenostmi (ve vodorovném i svislém směru) i prostorovým uspořádáním pracovního prostoru.

Nejčastěji navrhovaným a používaným typem jeřábů v průmyslových halách nebo nádvořích průmyslových objektů jsou jeřáby mostové.

Mostový jeřáb se skládá z plnostěnného jeřábového mostu (dříve se často využívalo též příhradového), který se pohybuje po jeřábové dráze. Po jeřábu (mostu) pojíždí jeřábový vozík (kočka), který nese zdvihací zařízení a umožňuje zavěšení břemene.

Mostové jeřáby mají různou nosnost cca od 1t do řádově stovek tun u speciálních těžkých jeřábů. Nejčastěji se můžeme setkat s elektrickými mostovými jeřáby o nosnostech 5 až 50t. Tyto jeřáby mohou být osazeny jedním nebo dvěma zdvihacími zařízeními, tzv. hlavním a pomocným zdvihem.

Podle účelu použití rozeznáváme mostové jeřáby standardní (tj. s hákem), dále drapákové, magnetové, hutní atd. Řízení (obsluha) jeřábů se provádí buď se země zavěšeným ovladačem, dálkovým ovládáním (rádiovým nebo infra) nebo z řídicí kabiny, umístěné na jeřábovém mostu.



Obr. 2.1: Používané druhy jeřábů: podvěsný kladkostroj, jeřáb otočný, mostový, podvěsný mostový, konzolový, portálový

Elektrické mostové jeřáby se rozdělují, v závislosti na provozních podmínkách (tj. počtu pracovních cyklů, poměrném vytížení, dynamických účincích), do dílčích skupin na: jeřáby pro lehký provoz, střední provoz, těžký provoz a velmi těžký provoz.

Nosnost jeřábů je odstupňována, standardní nosnosti jeřábů činí 1t; 2t; 3t; 4t; 5t; 6,3t; 8t; 10t; 12,5t; 16t; 20t; 25t; 32t; 40t; 50t; 63t; 80t; 100t.

Rozpětí mostových jeřábů (tj. rozchod kol jeřábového mostu) je typizováno v modulovém systému tak, aby bylo možné i dodatečné osazení nebo výměna jeřábů ve stávajících objektech. Obvyklá rozpětí jeřábů se pohybují v rozmezí od 4m do 36m.

Jmenovité parametry jeřábu (tzn. nosnost, výška zdvihu, rychlost pojezdu mostu, rychlost zdvihu břemene, rozměry jeřábu) jsou uvedeny v technických podkladech dodavatele (výrobce) jeřábu. Jeřáby různých výrobců mají tyto charakteristiky, v závislosti na použité „technice“, více či méně odlišné.

2.3 Jeřábová dráha

2.3.1 Všeobecně

Jeřábová dráha je nosná konstrukce, která slouží k pojezdu jeřábů, kladkostrojů nebo koček různého typu.

Jeřábová dráha pro mostové jeřáby sestává ze dvou větví. Je tvořena svislým (hlavním) nosníkem jeřábové dráhy s kolejnicí, vodorovným výztužným nosníkem, brzdným ztužidlem a doplňkovými prvky – nárazníky, obslužnými (revizními) lávkami se zábradlím, výstupy na dráhu, příchytkami kolejnice, trolejovým vedením apod. Jeřábová dráha se může taktéž zastávat pouze ze samostatného nosníku s kolejnicí s elementy pro pohyb kladkostroje nebo podvěsné kočky, případně ze samostatné kolejnice s doplňky, uložené na nosném podkladu. Podle konkrétního typu jeřábu mohou některé z výše uvedených prvků chybět.

2.3.2 Konstrukce jeřábové dráhy

Ze statického hlediska rozlišujeme tyto typy nosníků jeřábové dráhy (Obr. 2.2):

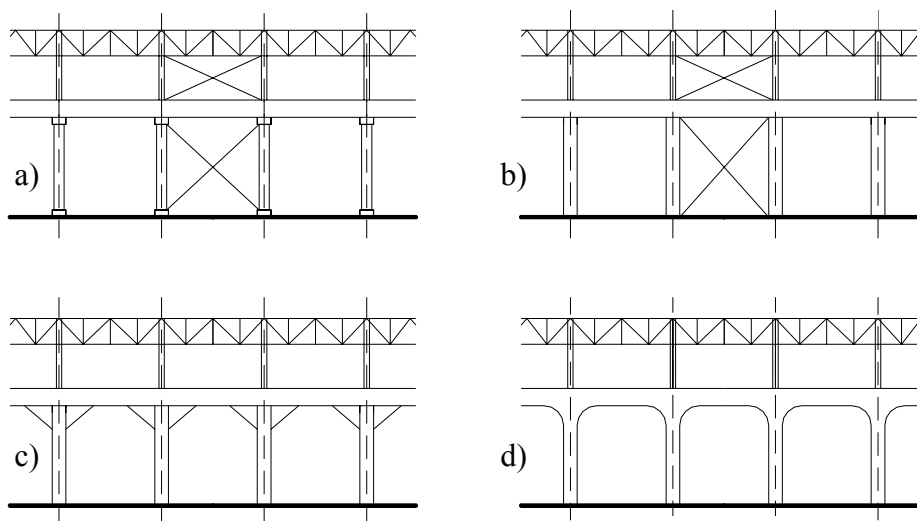
- Prosté nosníky - Obr. 2.2.a)
- Spojité nosníky - Obr. 2.2.b)
- Spojité kloubové nosníky
- Rámové nosníky - Obr. 2.2.c), d)

Prosté nosníky: pro jednoduchost konstrukčního řešení, montáže a necitlivosti na pokles podpěr se jedná o nejvíce navrhovaný typ nosníku jeřábové dráhy.

Spojitě nosníky: ve srovnání s prostými nosníky vykazují menší spotřebu oceli, menší průhyb a mohou mít menší konstrukční výšku. Naopak vyžadují složitější konstrukční řešení, komplikovanější výrobu a montáž a jsou citlivé na pokles podpěr. V oblasti nad podporou je nutné realizovat zesílení dolního pásu nosníku.

Spojité nosníky s klouby (tzv. Gerberovy): navrhují se velmi ojediněle.

Rámové jeřábové dráhy: ve srovnání s výše popsanými typy nosníků vykazují menší spotřebu oceli, lepší provozní podmínky, není nutná realizace brzd-ných ztužidel. Naopak vyžadují náročnější konstrukční řešení a montáž, jsou citlivé na pokles podpěr, je třeba zvětšení rozměrů základů a komplikova-nější patka.



Obr. 2.2: Druhy nosníků jeřábové dráhy: a) prostý, b) spojitý, c), d) rámový

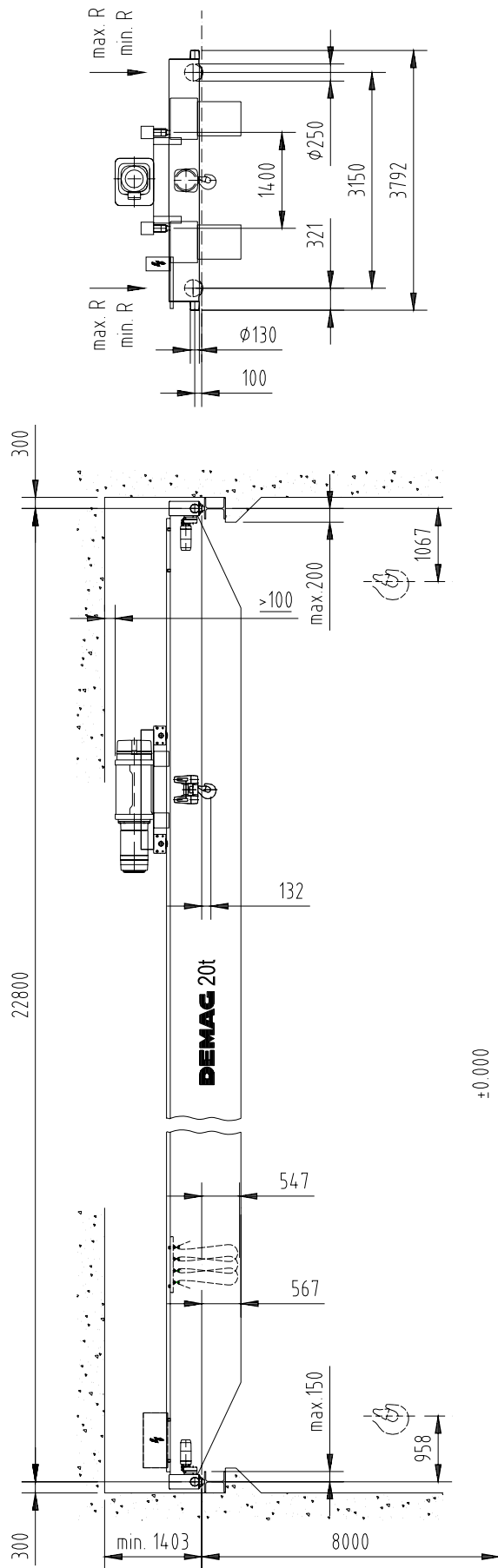
2.4 Návrh jeřábové dráhy – řešený příklad

V následujících kapitolách tohoto modulu se budeme zabývat návrhem základ-ních prvků konstrukce jeřábové dráhy, sloužící pro pojezd 2 elektrických mos-tových jeřábů nosnosti 20t.

Podrobně zde bude proveden výpočet zatížení, působícího na jeřábovou dráhu, návrh hlavního nosníku jeřábové dráhy (mezilehlého pole), vodorovného vý-ztužného nosníku, nárazníků a brzdného ztužidla. Jako základní materiál je uvažována ocel S235.

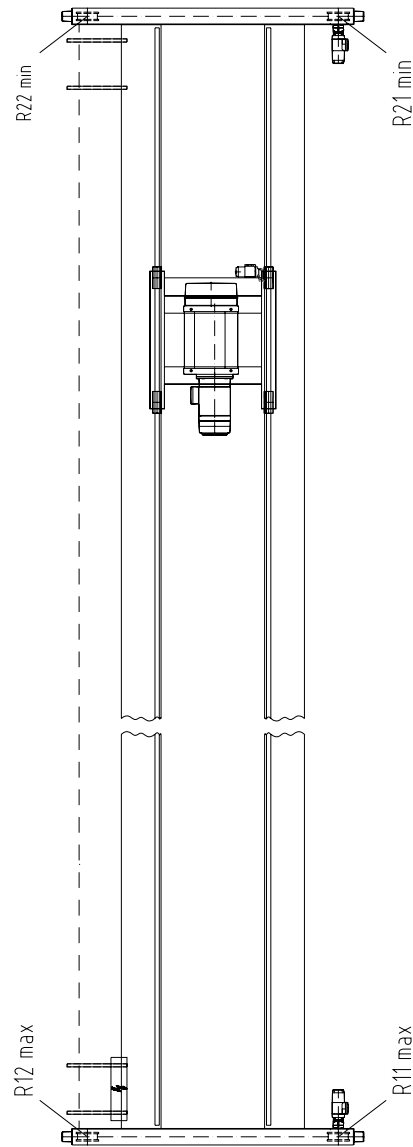
Specifikace navrhované jeřábové dráhy:

- Na dráze jsou osazeny 2 typově shodné elektrické mostové jeřáby o nosnosti 20t v jednohákovém provedení bez řídicí kabiny. Schéma jeřábů – Obr. 2.3.
- Rozpětí jeřábu: 22,8m
- Svislý (hlavní) nosník jeřábové dráhy: plnostěnný průřez I (svařovaný jed-noose symetrický), navržen jako soustava prostých nosníků na rozpětí 6,0m
- Vodorovný výztužný nosník: příhradový o teoretické výšce 600mm. Na krajích je uložen na hlavní sloupy budovy, ve třetinách je podporován šik-mými vzpěrami
- Průchozí lávka: šířka 500mm, pochůzná plocha z pozinkovaného pororoštu. Lávka je uložena na vodorovném výztužném nosníku.
- Brzdná ztužidla: křížová ve středním poli dráhy
- Jeřábová kolejnice: obdélníková šířky 60mm a výšky 40mm.

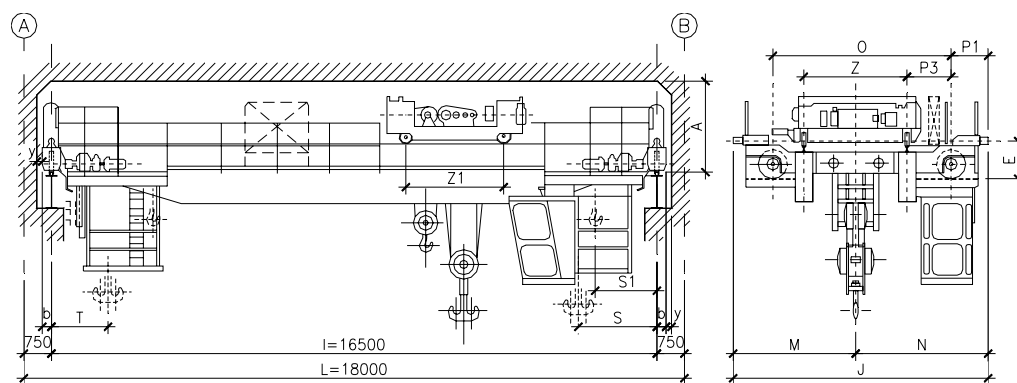


R11 max = 130,97 kN
 R12 max = 129,99 kN
 R21 min = 30,76 kN
 R22 min = 30,16 kN

Síla od nárazu na narazníky: 24,6 kN
 Hmotnost jeřabu: 12150 kg
 Hmotnost kocky: 1347 kg
 Rychlost zdvihu břemene: 5 / 0,8 m/min
 Rychlost pojezdu kocky: 5 / 20 m/min
 Rychlost pojezdu mostu: 10 / 40 m/min
 Min. sílka kolejniče: 60 mm



Obr. 2.3: Schéma použitého typu mostového jeřábu, parametry



Obr. 2.4: Schéma mostového jeřábu se dvěma háky dle ČSN 27 0200

3 Zatížení jeřábové dráhy

Jeřáby zatěžují jeřábovou dráhu staticky, dynamicky a na únavu. Charakteristiky zatížení jeřábové dráhy vycházejí z hodnot sil statických (vodorovných i svislých). Dynamické účinky jeřábové dráhy jsou vyjádřeny zvětšením statických hodnot zatížení kol dynamickým součinitelem δ .

3.1 Všeobecně

Zatížení jeřábové dráhy analyzujeme v souladu s dokumentem ČSN 73 0035 „Zatížení stavebních konstrukcí“ [1].

Přehled zatížení:

Stálé:

- vlastní tíha konstrukce jeřábové dráhy:
 - svislého hlavního nosníku jeřábové dráhy
 - kolejnice
 - vodorovného výztužného nosníku, lávky, zábradlí.

Nahodilé:

- užité zatížení na lávce
- svislé zatížení od kol jeřábu
- podélná brzdná síla
- příčná brzdná síla
- síla od přičení a jiných nerovnoměrností při pojezdu jeřábu
- síla od nárazu jeřábu na koncové nárazníky dráhy.

3.2 Zatížení stálé

Do skupiny stálého zatížení náležejí ty zatěžovací účinky, jež nejsou proměnné v čase z hlediska svojí velikosti, polohy, smyslu nebo směru. Jeřábovou dráhu navrhujeme jako soustavu vzájemně nezávislých prostých nosníků. Vlastní tíhu jeřábového mostu tudíž nelze považovat za stálé zatížení, neboť při přejezdu jeřábu mimo posuzované pole nejsou jeřábem žádné účinky vyvozovány.

Mezi stálé zatížení náleží vlastní tíha jeřábové kolejnice, hlavního nosníku jeřábové dráhy, vodorovného výztužného nosníku a lávky vč. zábradlí.

3.2.1 Kolejnice jeřábové dráhy

Volba typu a rozměrů kolejnice závisí na konkrétním druhu jeřábu; doporučené typy jsou uvedeny v podkladech výrobce (dodavatele) jeřábu.

Dle typového podkladu navrhujeme obdélníkovou kolejnici šířky 60mm a výšky 40mm.

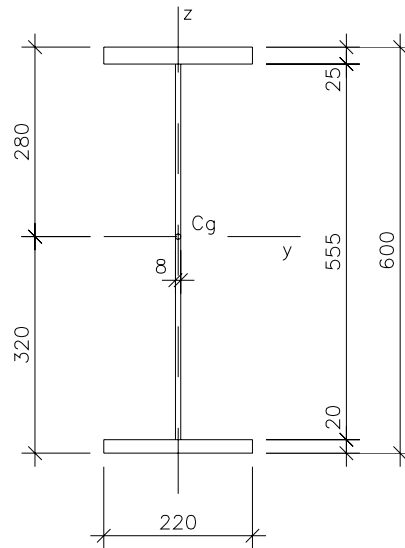
$$g_{1,n} = 0,06 \cdot 0,04 \cdot 1 \cdot 78,5 = 0,19 \text{ kNm}^{-1}$$

$$\gamma_F = 1,1$$

$$g_1 = 0,19 \cdot 1,1 = 0,21 \text{ kNm}^{-1}$$

3.2.2 Hlavní nosník jeřábové dráhy

Jedná se o prostý nosník na rozpětí $l = 6,0\text{m}$. Navrhne se jednoose symetrický svařovaný nosník tvaru I s rozměry, jak je uvedeno na Obr. 3.1:



$$A = 220 \cdot 20 + 220 \cdot 25 + 555 \cdot 8 = 14340 \text{ mm}^2$$

$$g_{2,n} = 14,34 \cdot 10^{-3} \cdot 78,5 = 1,13 \text{ kNm}^{-1}$$

$$\gamma_F = 1,1$$

$$g_2 = 1,13 \cdot 1,1 = 1,24 \text{ kNm}^{-1}$$

Obr. 3.1: Předběžný návrh průřezu nosníku jeřábové dráhy

3.2.3 Vodorovný výztužný nosník a obslužná lávka

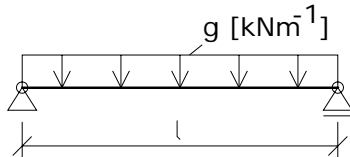
Součástí jeřábové dráhy může být průchozí obslužná revizní lávka. Konstrukčně je výhodné provedení vodorovného výztužného nosníku jako příhradového nosníku s vertikálami, neboť bude tvořit podpůrnou konstrukci pro lávku. Vlastní tíhu vodorovného nosníku, lávky a zábradlí na lávce v této fázi výpočtu pouze odhadneme.

$$g_{3,n} = 1,0 \text{ kNm}^{-1}$$

$$\gamma_F = 1,1$$

$$g_3 = 1,0 \cdot 1,1 = 1,1 \text{ kNm}^{-1}$$

Poznámka: veškeré stálé zatížení působící na hlavním nosníku jeřábové dráhy bylo uvažováno jako zatížení rovnoměrně spojité (liniové).



Obr. 3.2: Stálé zatížení

3.3 Zatížení nahodilé

Do skupiny nahodilých zatížení patří ty zatěžovací účinky, jež jsou v čase proměnné svojí velikostí, polohou, smyslem nebo směrem. Zatížení uvažujeme v souladu s ustanoveními, uvedenými v [1].

3.3.1 Užité zatížení na lávce

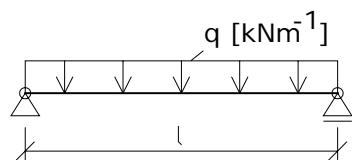
V souladu s [1] uvažujeme šířku lávky 500mm. Dle [1], tab.3, poř. č. 15b činí normové zatížení lávky $1,50 \text{ kNm}^{-2}$.

$$q_n = 1,5 \cdot 0,5 = 0,75 \text{ kNm}^{-1}$$

$$\gamma_F = 1,4$$

$$q = 0,75 \cdot 1,4 = 1,05 \text{ kNm}^{-1}$$

Poznámka: Jedná se o rovnoměrné spojité zatížení liniové.



Obr. 3.3: Užité zatížení na lávce

3.3.2 Svislé zatížení od kol jeřábu

Jedná se o zatížení kol jeřábu od vlastní hmotnosti konstrukce jeřábu, kočky i břemene s uvažováním dynamických účinků svislých setrvačných sil při zdvihání a spouštění břemene a při poježdění jeřábu.

Z technických podkladů dodavatele jeřábu byly získány následující hodnoty svislých zatížení kol jeřábů:

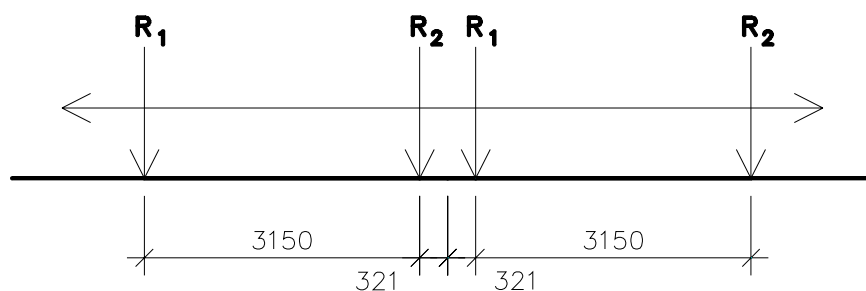
$$R_{1,\max} = 130,97 \text{ kN}$$

$$R_{2,\max} = 129,99 \text{ kN}$$

$$R_{1,\min} = 30,76 \text{ kN}$$

$$R_{2,\min} = 30,16 \text{ kN}$$

S přihlédnutím k rozměrovým parametrům jeřábů lze sestavit následující zatěžovací schéma (Obr. 3.4):



Obr. 3.4: Zatěžovací schéma nosníků od svislého zatížení od kol jeřábů

Jedná se o soustavu 2 dvojic osamělých sil (= zatížení kol jeřábu), které se pohybují nezávisle po jeřábové dráze. Působí v místě dotyku kol jeřábu a kolejnice. Pro vyvození extrémních účinků budou jeřáby uvažovány jako spřažené.

Charakteristické hodnoty zatížení (dle [1], čl. 118):

$$V_{i,\max,n} = R_{i,\max} \cdot \delta$$

$$V_{i,\min,n} = R_{i,\min} \cdot \delta$$

kde δ ... dynamický součinitel. Hodnota se určí dle [1], tab. 10 pro následující parametry:

- Kolejnice stykovaná
- $\frac{V_b}{m} = \frac{20000}{12150} = 1,65 > 1$
(V_b ... nosnost jeřábu, m ... hmotnost jeřábu s kočkou)
- $v_z = 0,083 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (= rychlost zdvihu břemen)
- režim jeřábu střední
- $v_x = 0,67 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (= rychlost pojezdu jeřábu na dráze)

$$\Rightarrow \delta = 1,10$$

$$V_{1,\max} = 130,97 \cdot 1,1 = 144,07 \text{ kN}$$

$$V_{2,\max} = 129,99 \cdot 1,1 = 142,99 \text{ kN}$$

$$V_{1,\min} = 30,76 \cdot 1,1 = 33,84 \text{ kN}$$

$$V_{2,\min} = 30,16 \cdot 1,1 = 33,18 \text{ kN}$$

Návrhové hodnoty zatížení:

$$V_{i,\max} = V_{i,\max,n} \cdot \gamma_F$$

$$V_{i,\min} = V_{i,\min,n} \cdot \gamma_F$$

kde γ_F ... součinitel zatížení. Hodnota se určí dle [1], tab. 9 pro následující parametry:

- Osazení zařízení proti přetížení jeřábu
- $\frac{V_b}{m} = 1,65 > 1$ (V_b a m ... viz výše)

$$\Rightarrow \gamma_F = 1,2$$

$$V_{1,\max} = 144,07 \cdot 1,2 = 172,88 \text{ kN}$$

$$V_{2,\max} = 142,99 \cdot 1,2 = 171,59 \text{ kN}$$

$$V_{1,\min} = 33,84 \cdot 1,2 = 40,61 \text{ kN}$$

$$V_{2,\min} = 33,18 \cdot 1,2 = 39,82 \text{ kN}$$

Poznámka: Pro návrh nosných prvků jeřábové dráhy jsou nezbytné maximální hodnoty svislých zatížení od kol jeřábu $V_{1,max}$ a $V_{2,max}$. Minimální hodnoty svislých zatížení od kol jeřábu $V_{1,min}$ a $V_{2,min}$ se využijí při návrhu sloupů objektu.

3.3.3 Podélné brzdné síly

Jedná se o setrvačné síly, vznikající při rozjezdu a brzdění jeřábu (mostu). Síly mohou působit v obou směrech na pojížděné hraně kolejnic.

$$B_n = 0,1 \cdot \Sigma V_n$$

kde V_n ... součet svislých zatížení brzděných nebo hnaných kol jeřábu na vyšetřované větvi jeřábové dráhy, uvažované charakteristickými hodnotami.

V našem příkladu je poháněná (a brzděná) jedna náprava jeřábu (R_1).

$$B_n = 0,1 \cdot 1 \cdot 144,07 = 14,41 \text{ kN}$$

$$\gamma_F = 1,1 \text{ (dle [1], čl. 115b)}$$

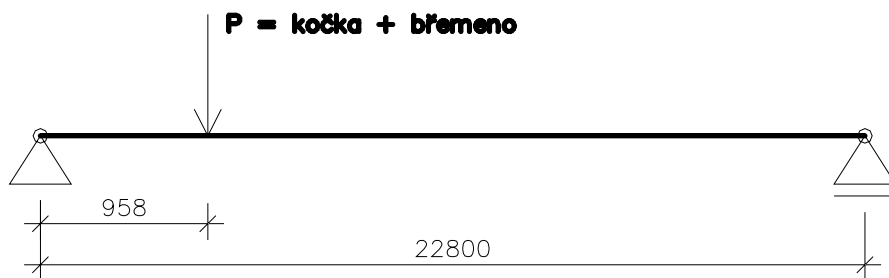
$$B = 14,41 \cdot 1,1 = 15,85 \text{ kN}$$

3.3.4 Příčné brzdné síly

Jedná se o setrvačné síly, vznikající při rozjezdu a brzdění jeřábové kočky s břemenem. Působení sil se uvažuje v obou směrech v místě dotyku kola jeřábu a kolejnice.

$$B_{t,n} = 0,05 V_{cn}$$

kde V_{cn} ... zatížení kol jeřábu od hmotnosti kočky s břemenem v krajní poloze, uvažované charakteristickými hodnotami (Obr. 3.5).



Obr. 3.5: Určení V_{cn}

$$P = 13,47 + 200,0 = 213,47 \text{ kN}$$

$$V_{cn} = \frac{213,47 \cdot (22,8 - 0,958)}{22,8} = 204,50 \text{ kN}$$

$$B_{t,n} = 0,05 \cdot 204,50 = 10,23 \text{ kN}$$

$$\gamma_F = 1,1 \text{ (dle [1]. čl. 115b)}$$

$$B_t = 10,23 \cdot 1,1 = 11,25 \text{ kN}$$

3.3.5 Síla od příčení a jiných nerovnoměrností při pojezdu na jeřábové dráze

Jedná se o síly, vznikající pojezdem jeřábu na dráze, působí v místě dotyku kol. U jeřábů s oboustrannými nákolky na kolech a motorickým pohonem platí:

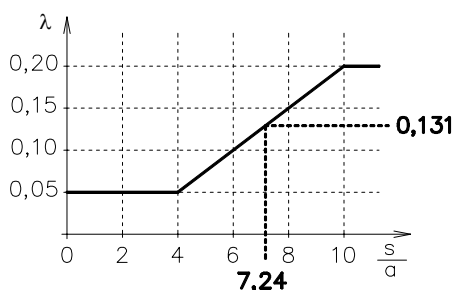
$$H_{tp} = \pm \lambda \Sigma V_n$$

kde λ ... součinitel dle Obr. 3.6, určený v závislosti na rozchodu kol s a rozvozu kol a jeřábu.

$$\frac{s}{a} = \frac{22800}{3150} = 7,24$$

$$\Rightarrow \lambda = 0,131$$

ΣV_n ... součet svislých maximálních zatížení všech kol na jedné větvi jeřábové dráhy, uvažované charakteristickými hodnotami



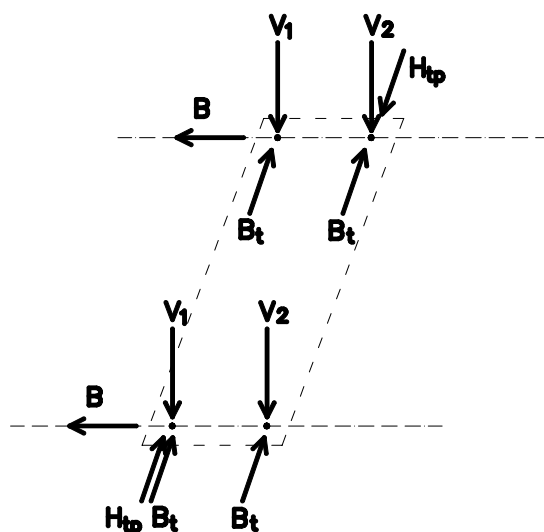
Obr. 3.6: Součinitel λ

$$H_{tp,n} = \pm 0,131 \cdot (144,07 + 142,99) = 37,60 \text{ kN}$$

$$\gamma_F = 1,1 \text{ (dle [1], čl.115b)}$$

$$H_{tp} = 37,60 \cdot 1,1 = 41,37 \text{ kN}$$

Poznámka: Síla H_{tp} působí v místě dotyku kol, a to na obou větvích jeřábové dráhy. Na každé větvi pouze u jednoho kola.



Obr. 3.7: Rekapitulace a smysl všech zatížení, vyvozovaných jeřáby

3.3.6 Síla od nárazu jeřábu na koncové nárazníky dráhy

Tato síla vzniká při nárazu jeřábového mostu na koncové nárazníky dráhy. Síla H_j se stanoví na základě těchto podmínek:

- Jeřáb se pohybuje rychlostí rovnající se 50% jmenovité rychlosti.
- Je zavěšeno břemeno, rovnající se 80% jmenovitého břemena.
- Vodorovný účinek volně zavěšeného břemena se neuvažuje.

Sílu H_j lze získat z technických podkladů daného jeřábu (např. u typizovaných, dříve navrhovaných jeřábů podle ČSN 27 0005) nebo můžeme pro její výpočet aplikovat některé z dostupných postupů, např. následující vztahy:

$$H_{j,n} = 0,1 \cdot \frac{m \cdot v_h^2}{\Delta l}$$

kde m ... přepočtená hmotnost jeřábu v t

$$m = \frac{m_1}{2} + m_2 + k_h \cdot m_{(v)} \cdot \frac{s-x}{s}$$

m_1 ... hmotnost jeřábového mostu

m_2 ... hmotnost kočky

$m_{(v)}$... nosnost jeřábu

x ... nejmenší vodorovná vzdálenost závěsného lana kočky s břemenem od osy kolejnice jeřábové dráhy

s ... rozchod kol jeřábu

k_h ... součinitel

$k_h = 0$ při volném zavěšení břemene

$k_h = 1$ při tuhém zavěšení břemene

v_h ... rychlost pojezdu jeřábu v okamžiku nárazu

Δl ... největší možné stlačení pružiny nárazníku.

Sílu od nárazu jeřábového mostu na koncové nárazníky dráhy H_j převezmeme z technických podkladů jeřábu:

$$H_{j,n} = 24,60 \text{ kN}$$

$$\gamma_F = 1,4$$

$$H_j = 24,6 \cdot 1,4 = 34,44 \text{ kN}$$

3.4 Rekapitulace zatížení

Veškerá zatížení, působící na konstrukci jeřábové dráhy (tzn. vlastní tíha všech částí konstrukce jeřábové dráhy, nahodilé užité z pochůzných lávků, nahodilá zatížení od pojížděných jeřábů na dráze) přehledně sestavíme do následující tabulky:

| Druh zatížení | | označení | charakteristická hodnota | γ_F | návrhová hodnota |
|---------------|----------------------------------------------------------------------|--------------|--------------------------|------------|------------------------|
| stálé | kolejnice jeřábové dráhy | g_1 | 0,19 kNm ⁻¹ | 1,1 | 0,21 kNm ⁻¹ |
| | hlavní nosník jeřábové dráhy | g_2 | 1,13 kNm ⁻¹ | 1,1 | 1,24 kNm ⁻¹ |
| | vodorovný nosník, lávka | g_3 | 1,00 kNm ⁻¹ | 1,1 | 1,10 kNm ⁻¹ |
| | celkem | g | 2,32 kNm ⁻¹ | | 2,55 kNm ⁻¹ |
| nahodilé | užitné na lávce | q | 0,75 kNm ⁻¹ | 1,4 | 1,05 kNm ⁻¹ |
| | svislé zatížení od kol jeřábu | $V_{1, max}$ | 144,07 kN | 1,2 | 172,88 kN |
| | | $V_{2, max}$ | 142,99 kN | 1,2 | 171,59 kN |
| | podélná brzdná síla | B | 14,41 kN | 1,1 | 15,85 kN |
| | příčná brzdná síla | B_t | 10,23 kN | 1,1 | 11,25 kN |
| | síla od přičení a jiných nerovnoměrnostní při pojezdu jeřábové dráhy | H_{ip} | 37,60 kN | 1,1 | 41,37 kN |
| | síla od nárazu na koncové nárazníky | H_j | 24,60 kN | 1,4 | 34,44 kN |

Tab. 3.1: Rekapitulace zatížení, působících na jeřábovou dráhu

4 Hlavní (svislý) nosník jeřábové dráhy

4.1 Předpoklady posouzení

Hlavní svislý nosník (dále jen „hlavní nosník“) ze statického hlediska působí jako prostý nosník o rozpětí $l = 6,0m$. Podpory nosníku tvoří hlavní ložiska na podporách ocelových sloupů budovy. Nosník je navržen jako svařovaný, plnostěnný, konstantního průřezu po celé délce.

Hlavní nosník jeřábové dráhy zabezpečí pouze přenos svislého zatížení. Přenesení vodorovného příčného zatížení zajistí (příhradový) vodorovný výztužný nosník jeřábové dráhy. Vodorovné podélné síly převezmou brzdná ztužidla.

Poznámka: Horní pás hlavního nosníku jeřábové dráhy (a část jeho stěny) je současně pásovým prutem vodorovného výztužného nosníku. Hlavní nosník jeřábové dráhy navrhne jako jednoose symetrický průřez I - horní pas má z výše uvedených důvodů větší plochu (resp. tloušťku), než pás dolní.

4.2 Výpočet vnitřních sil

Pro posouzení nosníku jako celku i posouzení dílčích detailů je nutné stanovit textrénní namáhání nosníku. Nejprve odděleně analyzujeme účinky jednotlivých zatížení, působících na nosník (viz kapitola 3), následně provedeme jejich „součet“ (superpozici) dle pravidel uvedených v [1].

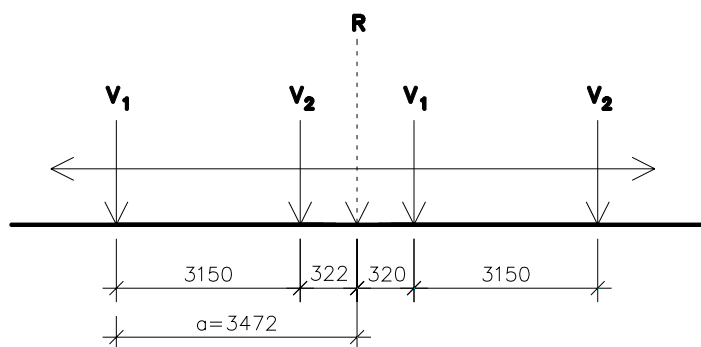
Poznámka: Vnitřní síly jsou v dalším textu doplňkově značeny indexem podle daného zatížení (např. $M_{g,y}$ = ohybový moment ve svislé rovině od stálého zatížení). Reakce jsou dále označovány jako A (= reakce v levé podpoře), resp. B (= reakce v pravé podpoře), spolu s příslušným indexem (viz výše).



4.2.1 Svislé zatížení od kol jeřábů

Svislé zatížení od kol jeřábů V je rozhodujícím zatížením pro celý nosník jeřábové dráhy, neboť vyvolává (ze všech zatížení) nejvyšší namáhání nosníku. Vyvozuje ohybový moment a posouvající sílu ve svislé rovině. Místa na nosníku (resp. řezy) s extrémy těchto sil budou nejvíce namáhanými místy nosníku – účinky všech ostatních zatížení budeme uvažovat v těchto řezech.

Zatěžovací schéma od sil V_1 a V_2 je patrné z Obr. 4.1.



Obr. 4.1: Zatěžovací schéma nosníku od svislého zatížení kol jeřábů

$$V_1 = V_{1,\max} = 172,88 \text{ kN}$$

$$V_2 = V_{2,\max} = 171,59 \text{ kN}$$

4.2.1.1 Extrémní ohybový moment M_y

Pro určení extrémního ohybového momentu na jeřábovém nosníku od soustavy pohyblivého zatížení použijeme Winklerova kritéria. Postup:

- Výslednice soustavy svislých břemen:

$$R = 2 \cdot (172,88 + 171,59) = 688,94 \text{ kN}$$

- Působíště výslednice soustavy

$$a = \frac{171,59 \cdot (3,15 + 6,942) + 172,88 \cdot 3,792}{688,94} = 3,472 \text{ m}$$

- Aritmetické střední břemeno:

- $P < > 0,5 R$

V našem případě se jedná o jedno ze dvou středních břemen.

- Postavení soustavy, vyvozující extrémní ohybový moment: střed nosníku půlí vzdálenost mezi výslednicí R a aritmeticky středním břemenem.

Poznámka: při tomto postavení se obě krajní břemena dostanou mimo posuzované pole nosníku (tzn. krajní kola jeřábů vyjedou mimo analyzovaný nosník). Je tudíž nezbytné celý výše uvedený postup opakovat, tentokrát pouze s těmi koly, jež zůstávají na analyzovaném nosníku (tj. se 2 středními břemeny):

- Výslednice soustavy:

$$R = 172,88 + 171,59 = 344,47 \text{ kN}$$

- Působíště výslednice soustavy:

$$a = \frac{172,88 \cdot 0,642}{344,47} = 0,322 \text{ m}$$

- Aritmetické střední břemeno:

$$V_1 = 172,88 \text{ kN} > \frac{R}{2} = \frac{344,47}{2} = 172,24 \text{ kN}$$

- Extrémní hodnota ohybového momentu bude vyvozována při výše popsaném postavení soustavy pod aritmeticky středním břemenem.

- Reakce:

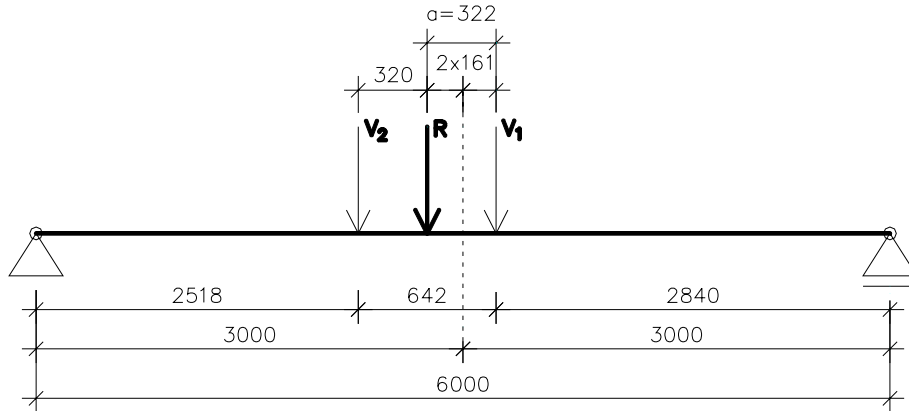
$$A_v = \frac{172,88 \cdot 2,84 + 171,59 \cdot 3,482}{6} = 181,41 \text{ kN}$$

$$B_v = \frac{171,59 \cdot 2,518 + 172,88 \cdot 3,16}{6} = 163,06 \text{ kN}$$

- Ohybový moment:

$$M_{V,y} = 163,06 \cdot 2,84 = 463,09 \text{ kNm}$$

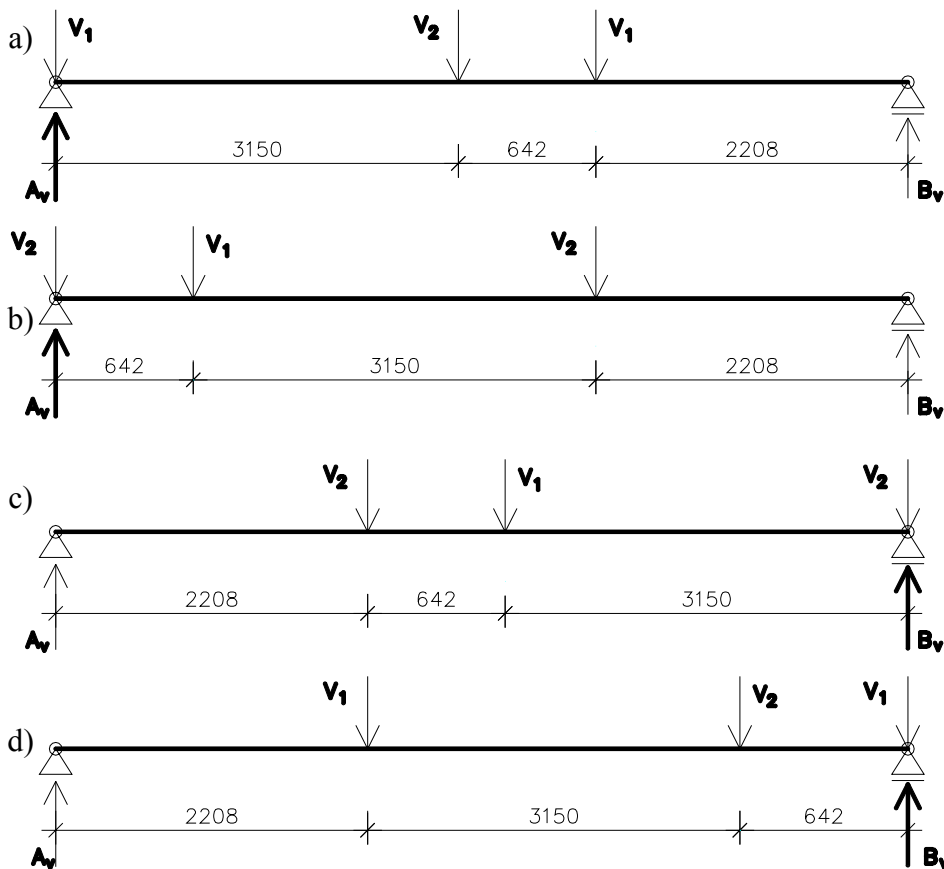
Poznámka: Postavení soustavy břemen, při kterém je vyvozován extrémní ohybový moment, budeme nadále označovat jako postavení „ M_{max} “.



Obr. 4.2: Postavení soustavy „ M_{max} “, vyvozující extrémní hodnotu ohybového momentu M_y

4.2.1.2 Extrémní posouvající síla V_z

Extrémní posouvající sílu na nosníku (tzn. reakci) od pohyblivé soustavy břemen určíme na základě vyhodnocení různých postavení (Obr. 4.3). Rozhodující postavení soustavy, při kterém bude vyvozena extrémní reakce, budeme nadále označovat jako postavení „ A_{max} “.



Obr. 4.3: Postavení soustavy, vyvozující extrémní svislou posouvající sílu

Vypočtené hodnoty reakcí od jednotlivých, výše zobrazených postavení jeřábů:

$$\text{Postavení a) } A_V = \frac{172,88 \cdot (2,208 + 6) + 171,59 \cdot 2,85}{6} = 318,01 \text{ kN}$$

$$\text{Postavení b) } A_V = \frac{171,59 \cdot (2,208 + 6) + 172,88 \cdot 5,358}{6} = 389,12 \text{ kN}$$

$$\text{Postavení c) } B_V = \frac{171,59 \cdot (2,208 + 6) + 172,88 \cdot 2,85}{6} = 316,85 \text{ kN}$$

$$\text{Postavení d) } B_V = \frac{172,88 \cdot (2,208 + 6) + 171,59 \cdot 5,358}{6} = 389,73 \text{ kN ...extrémní pos. síla } V_z$$

4.2.2 Stálé zatížení

Stálé zatížení vyvozuje ohybový moment a posouvající sílu ve svislé rovině. Tyto vnitřní síly budeme analyzovat v „rozhodujících“ místech (řezech) na nosníku dle svislého zatížení od kol jeřábu (tzn. v místě aritmeticky středního břemene od svislého zatížení V a v pravé podpoře).

$$\text{Posouvající síla: } B_g = \frac{2,55 \cdot 6}{2} = 7,65 \text{ kN}$$

$$\text{Ohybový moment: } M_{g,y} = 7,65 \cdot 3,16 - \frac{2,55 \cdot 3,16^2}{2} = 11,44 \text{ kNm}$$

4.2.3 Užité zatížení na lávce

Užité zatížení na lávce má stejný tvar, jako zatížení stálé. Pro určení extrémních vnitřních sil platí stejná pravidla jako pro zatížení stálé.

$$\text{Posouvající síla: } B_q = \frac{1,05 \cdot 6}{2} = 3,15 \text{ kN}$$

$$\text{Ohybový moment: } M_{q,y} = 3,15 \cdot 3,16 - \frac{1,05 \cdot 3,16^2}{2} = 4,71 \text{ kNm}$$

4.2.4 Podélná brzdná síla

Podélné brzdné síly působí ve směru podélné osy nosníku v místě kontaktů kol jeřábu s kolejnicí. Přenášejí se hlavním nosníkem jeřábové dráhy do brzdných ztužidel. Jelikož je hlavní nosník uložen v místě dolního pásu, podélné brzdné síly působí excentricky a vyvozují (kromě normálové síly) taktéž přídavný ohybový moment ve svislé rovině.

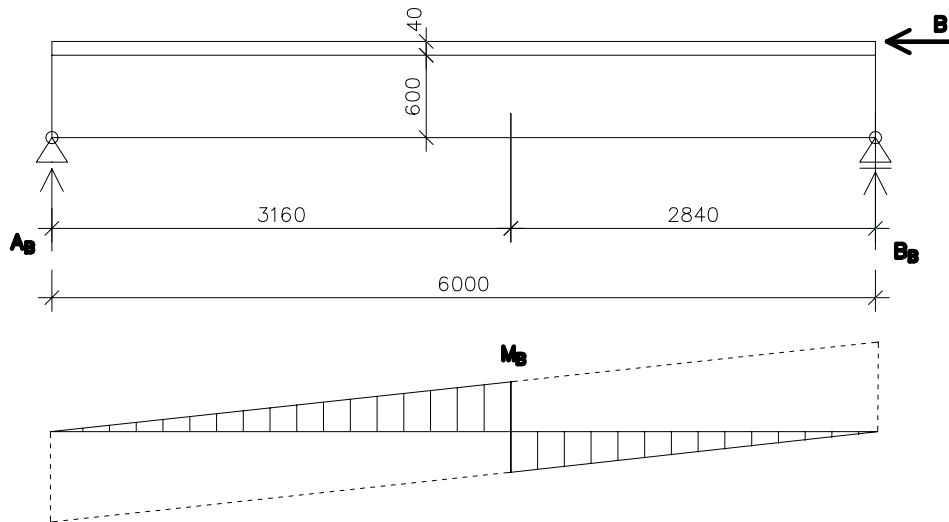
$$\text{Normálová síla: } N_B = 2 \cdot 15,85 = 31,70 \text{ kN}$$

Ohybový moment:

- Excentricita: je vzdálenost mezi působícím zatížením (tj. horní úroveň kolejnice) a uložením nosníku (resp. ložiska s rektifikací) na sloup. Přibližně budeme uvažovat: $e = 600 + 40 = 640 \text{ mm}$

- Reakce: $B_B = \frac{31,7 \cdot 0,64}{6} = 3,38 \text{ kN}$

- Ohybový moment: $M_{B,y} = \frac{31,70 \cdot 0,64}{6} \cdot 3,16 = 10,69 \text{ kNm}$

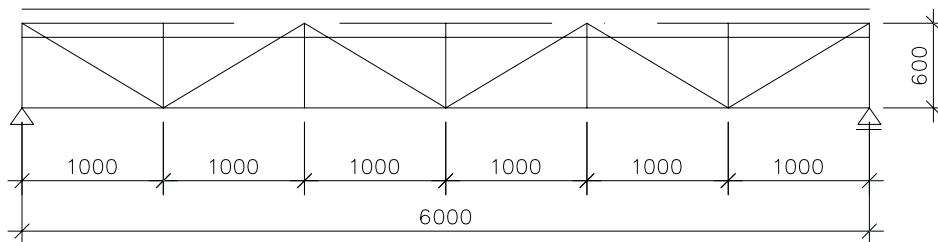


Obr. 4.4: Vliv podélné brzděné síly B

4.2.5 Vodorovné příčné síly

Jak již bylo uvedeno v kapitole 4.1 Předpoklady výpočtu, veškeré vodorovné příčné zatížení se přenáší vodorovným výztužným nosníkem. Tento nosník navrhne jako příhradový. Jeho teoretická výška vyplývá z celkového prostorového uspořádání objektu. V našem případě činí 600mm.

Vodorovný výztužný nosník sestává z pásových a výplňových prvků. Jeden pásový prut je osazen mezi hlavními sloupy objektu, druhý je tvořen horním pásem hlavního nosníku jeřábové dráhy. Uspořádání vodorovného výztužného nosníku je patrné z Obr. 4.5.



Obr. 4.5: Uspořádání vodorovného výztužného nosníku

Zatěžovací soustava vodorovného příčného zatížení je tvořena vodorovnými příčnými silami, tj. příčnou brzděnou silou B_t a silou od přičení a jiných nerovnoměrností při pojezdu H_{tp} , a to od obou jeřábů. Dle [1], čl. 125ab se neuvažují síly H_{tp} u obou jeřábů současně. Je nezbytné tedy vyhodnotit 3 zatěžovací schémata:

- Příčné brzděné síly B_t u obou jeřábů (dále označeno „ $B_t + B_t$ “).
- Síla od přičení H_{tp} u prvního jeřábu, příčná brzděná síla B_t u druhého jeřábu (dále označeno „ $H_{tp} + B_t$ “).

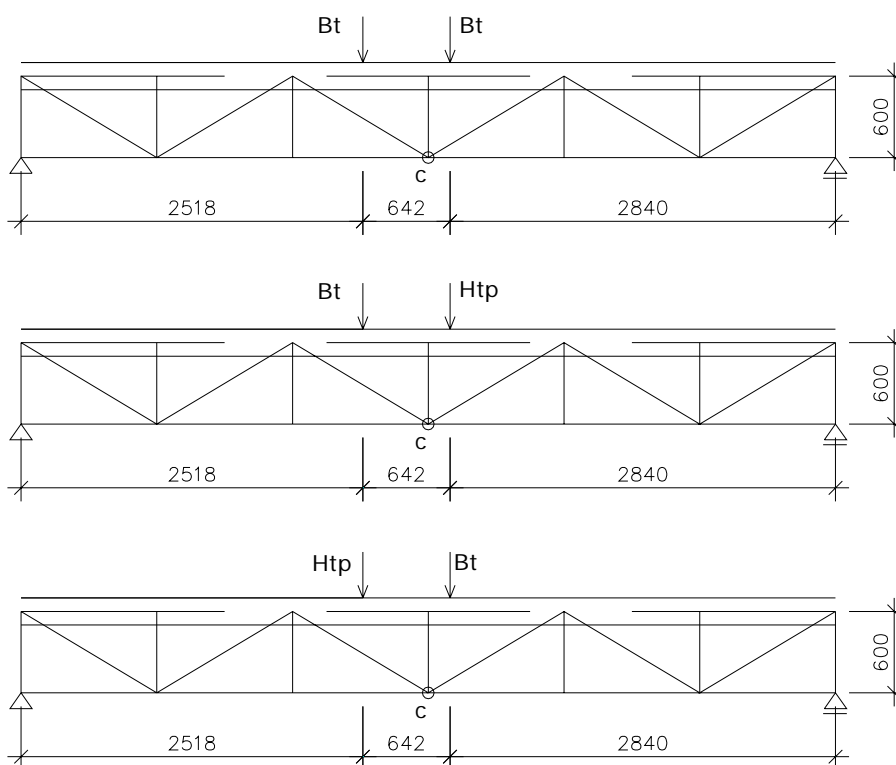
- Příčná brzdná síla B_t u prvního jeřábu, síla od přičení H_{tp} u jeřábu druhého (dále označeno „ $B_t + H_{tp}$ “).

Pohyblivou soustavu břemen budeme uvažovat v poloze, jež vyvoluje extrémní ohybový moment od svislého zatížení kol jeřábu, tzn. v postavení M_{\max} .

Vodorovná příčná zatížení budou v horním pásu hlavního nosníku jeřábové dráhy vyvolovat osovou sílu $N_{B_t+H_{tp}}$ a dále ohybový moment ve vodorovné rovině $M_{z, B_t+H_{tp}}$, který vznikne při působení vodorovné příčné síly mimo styčnicky příhradového nosníku.

Velikost osové síly v pásovém prutu příhradového vodorovného nosníku $N_{B_t+H_{tp}}$ lze určit více způsoby – např. pomocí příčinkové čáry nebo z momentu k přidruženému momentovému středu (který podělíme teoretickou výškou nosníku), případně lze tyto síly stanovit řešením některým z celé řady programových systémů.

V dalším textu bude aplikován výpočet osové síly v pásu s využitím momentu k přidruženému momentovému středu „c“.



Obr. 4.6: Určení osové síly v pásu nosníku od vodorovného příčného zatížení

4.2.5.1 Zatížení B_t+B_t

- Zatížení: $B_t = 11,25 \text{ kN}$
- Reakce: $A = \frac{11,25 \cdot (2,84 + 3,482)}{6} = 11,85 \text{ kN}$
- Moment k přidruženému momentovému středu (c):
 $M_c = 11,85 \cdot 3 - 11,25 \cdot 0,482 = 30,13 \text{ kNm}$

- Osová síla v pásu: $N_{B_t+H_{tp}} = \frac{30,13}{0,6} = 50,22 \text{ kN}$

4.2.5.2 Zatížení $H_{tp}+B_t$

- Zatížení: $H_{tp} = 41,37 \text{ kN}$; $B_t = 11,25 \text{ kN}$
- Osová síla v pásu (obdobně jako 4.2.5.1): $N_{B_t+H_{tp}} = 113,42 \text{ kN}$

4.2.5.3 Zatížení B_t+H_{tp}

- Zatížení: $B_t = 11,25 \text{ kN}$; $H_{tp} = 41,37 \text{ kN}$
- Osová síla v pásu (obdobně jako 4.2.5.1):
 $N_{B_t+H_{tp}} = 121,52 \text{ kN}$... extrémní hodnota osově síly od příčných sil
- Ohybový moment ve vodorovné rovině: pás pokládáme za spojitý nosník na pružných podporách (= styčníky vodorovného nosníku). Zatížení (v tomto případě síla H_{tp}) působí uprostřed mezi styčníky.

$$\text{Přibližně platí: } M_{z,B_t+H_{tp}} \approx 0,8 \cdot \frac{H_{tp} \cdot l_1}{4} = 0,8 \cdot \frac{41,37 \cdot 1,0}{4} = 8,27 \text{ kNm}$$

4.2.6 Rekapitulace vnitřních sil

| zatížení | | M_y [kNm] | M_z [kNm] | N [kN] | V_z [kN] |
|-------------------------------|----------------------|-------------|-------------|--------|------------|
| stálé | | 11,44 | 0 | 0 | 7,65 |
| užitné na lávce | | 4,71 | 0 | 0 | 3,15 |
| svislé zatížení od kol jeřábu | postavení M_{\max} | 463,09 | 0 | 0 | 181,41 |
| | postavení A_{\max} | 0 | 0 | 0 | 389,73 |
| podélná brzdná síla | | 10,69 | 0 | 31,7 | 3,38 |
| vodorovné příčné síly | | 0 | 8,27 | 121,52 | 0 |

4.2.7 Kombinace účinků vnitřních sil

Pro posouzení nosníku jako celku i jeho dílčích částí je třeba uvážit vzájemná působení jednotlivých zatížení tak, aby bylo dosaženo nejnepříznivějších účinků na nosník od obou jeřábů.

Kombinace K1:

stálé zatížení; užitné na lávce; svislé zatížení od kol jeřábů; podélné brzdě síly

Kombinace K2:

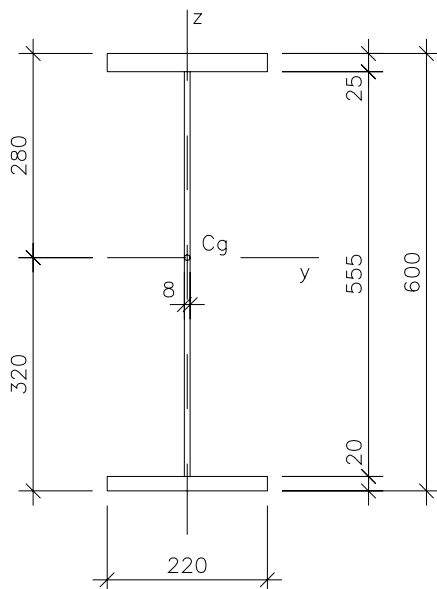
stálé zatížení; užitné na lávce; svislé zatížení od kol jeřábů; vodorovné příčné síly

| kombinace | M_y [kNm] | M_z [kNm] | N [kN] | V_z [kN] |
|-----------|-------------|-------------|--------|------------|
| K1 | 489,93 | 0 | 31,70 | 403,91 |
| K2 | 479,24 | 8,27 | 121,52 | 400,53 |

4.3 Návrh průřezu, průřezové charakteristiky

Je navržen jednoose symetrický svařovaný průřez I (viz Obr 4.7).

4.3.1 Průřezové charakteristiky



$$A = 14430 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 933,05 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 39,95 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$W_{y, \text{horní okraj}} = 3,33 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$W_{y, \text{dolní okraj}} = 2,92 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$W_{y, \text{horní okraj stěny}} = 3,66 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$W_{y, \text{dolní okraj stěny}} = 3,11 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$W_z = 0,36 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

Obr. 4.7: Navržený průřez nosníku

4.3.2 Určení třídy průřezu

- horní pás:

$$c = \frac{220}{2} = 110 \text{ mm}$$

$$t_f = 25 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{110}{25} = 4,4 < 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 1 \dots \text{I.třída}$$

- stojina:

$$\sigma_{\text{horní}} = \frac{489,93 \cdot 10^6}{3,66 \cdot 10^6} + \frac{31,70 \cdot 10^3}{14,43 \cdot 10^3} = 136,06 \text{ MPa (tlak)}$$

$$\sigma_{\text{dolní}} = -\frac{489,93 \cdot 10^6}{3,11 \cdot 10^6} + \frac{31,70 \cdot 10^3}{14,43 \cdot 10^3} = -155,34 \text{ MPa (tah)}$$

$$\alpha = \frac{155,34}{136,06 + 155,34} = 0,533 \geq 0,5$$

$$d \approx 555 \text{ mm}$$

$$t_w = 8 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{555}{8} = 69,38 \leq 456 \cdot \varepsilon / (13 \cdot \alpha - 1) = 456 \cdot 1 / (13 \cdot 0,533 - 1) =$$

$$= 76,91 \dots \text{třída 2}$$

4.4 Posouzení nosníku

V této kapitole bude provedeno posouzení hlavního nosníku jeřábové dráhy jako celku i posouzení jeho dílčích částí v souladu s ČSN 731401 Navrhování ocelových konstrukcí (1998) [2].

4.4.1 Dostatečné podepření tlačného pásu stojinou

Stojina nosníku musí zabezpečit dostatečné podepření tlačným pásnicím, aby nedošlo ke vtlačení pásnice do průřezu.

$$\frac{d}{t_w} \leq k \cdot \frac{E}{f_y} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc}}}$$

$$k = 0,3 \quad (\dots \text{pásnice třídy 1 - viz 4.3.1})$$

$$\frac{555}{8} = 69,39 \leq 0,3 \frac{2,1 \cdot 10^5}{235} \sqrt{\frac{555 \cdot 8}{220 \cdot 25}} = 240,87 \quad \dots \text{vyhoví}$$

4.4.2 Namáhání smykem

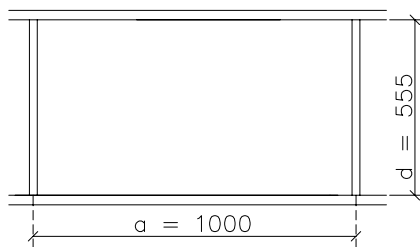
4.4.2.1 Postavení A_{max} :

Pro posouzení nosníku při namáhání smykem je rozhodující postavení A_{max} , při kterém působí extrémní posouvací síla.

Návrhová smyková síla: $V_{z,Sd} = 403,91 \text{ kN}$

- štíhlost: $\beta_w = \frac{d}{t_w} = \frac{555}{8} = 69,38$
- stranový poměr: $\alpha = \frac{a}{d} = \frac{1000}{555} = 1,80$
- mezní štíhlost stojiny:

$$\beta_{1,V} = 90 \cdot \left(0,7 + \frac{0,3}{\alpha^2} \right) \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 90 \cdot \left(0,7 + \frac{0,3}{1,80^2} \right) = 71,33$$



Obr. 4.8: Pole stojiny nosníku, vymezené příčnými výztuhami

- podmínka posouzení:
 $\beta_w = 69,38 < \beta_{1,V} = 71,33 \quad \dots \text{kompaktní stojina}$
- únosnost stojiny:

$$V_{pl,Rd} = A_w \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}} / \gamma_{M0} = 555 \cdot 8 \cdot \frac{235}{\sqrt{3}} / 1,15 = 523,83 \text{ kN} > V_{z,Sd} =$$

$$= 403,91 \text{ kN} \quad \dots \text{ vyhoví}$$

4.4.2.2 Postavení M_{max} :

$$V_{z,Sd} = 172,88 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{z,Sd}}{V_{pl,Rd}} = \frac{172,88}{523,83} = 0,33 < 0,50 \quad \dots \text{ vliv smyku na únosnost se zanedbává}$$

4.4.3 Namáhání ohybem a osovou silou

Pro posouzení nosníku na namáhání ohybem a osovou silou je rozhodující postavení M_{max} , kdy vznikají od daných zatížení extrémní ohybové momenty a normálové síly. Vliv smyku na ohybovou únosnost se zanedbává (viz výše).

4.4.3.1 Horní pásnice

Při posouzení nosníku na účinky kombinovaného namáhání (N , M_y , M_z) je třeba zohlednit vliv možné ztráty stability nosníku při působení normálové tlakové síly (vzpěr) a ohybového momentu (klopení).

Ztráta stability klopením:

- poloměr setrvačnosti konvenčního tláčeného pásu (= pásnice nosníku a přilehlá část stojiny, zahrnující 1/6 její plochy):

$$b_w = \frac{555}{6} = 92,50 \text{ mm}$$

$$I_{z1} = \frac{1}{12} \cdot 25 \cdot 220^3 + \frac{1}{12} \cdot 92,50 \cdot 8^3 = 22,19 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$A_1 = 220 \cdot 25 + 92,50 \cdot 8 = 6240 \text{ mm}^2$$

$$i_{z1} = \sqrt{\frac{22,19 \cdot 10^6}{6240}} = 59,63 \text{ mm}$$

- zabezpečení pásu nosníku proti vybočení:

$$L_{z1} = 1000 \text{ mm} \quad (= \text{ vzdálenost styčniců vodorovného výztužného nosníku})$$

$$40 \cdot i_{z1} = 40 \cdot 59,63 = 2385,30 \text{ mm} > L_z = 1000 \text{ mm} \quad \dots \text{ klopení nenastává } \chi_{LT} = 1,0$$

Ztráta stability vzpěrným vybočením:

- $L_z = 1000 \text{ mm}$ (= vzdálenost styčniců vodorovného výztužného nosníku)
- $L_y = 6000 \text{ mm}$ (= vzdálenost podpor nosníku)

$$\lambda_z = L_z \cdot \sqrt{\frac{A}{I_z}} = 1000 \cdot \sqrt{\frac{14430}{39,95 \cdot 10^6}} = 19,01 < 20$$

- $\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{19,01}{93,9} = 0,20 \longrightarrow \chi_z = 1,0$
- $\lambda_y = L_y \cdot \sqrt{\frac{A}{I_y}} = 6000 \cdot \sqrt{\frac{14430}{933,05 \cdot 10^6}} = 23,60$
- $\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{23,60}{93,9} = 0,25 \longrightarrow \chi_y = 0,989$

Kombinované namáhání – kombinace K1:

Návrhové hodnoty vnitřních sil:

$$N_{Sd} = 31,70 \text{ kN}$$

$$M_{y,Sd} = 489,93 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Sd} = 0$$

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_{\min} \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_y \cdot M_{y,Sd}}{W_y \cdot f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_z \cdot M_{z,Sd}}{W_z \cdot f_y / \gamma_{M1}} \leq 1$$

kde:

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y \cdot N_{sd}}{\kappa_y \cdot A \cdot f_y} \leq 1,5$$

$$\mu_y = \bar{\lambda}_y \cdot (2\beta_{My} - 4) \leq 0,9$$

$$\mu_y = 0,25 \cdot (2 \cdot 1,4 - 4) = -0,30$$

$$k_y = 1 - \frac{-0,30 \cdot 31,70 \cdot 10^3}{0,989 \cdot 14430 \cdot 235} = 1,003$$

$$k_z = 1 - \frac{\mu_z \cdot N_{sd}}{\kappa_z \cdot A \cdot f_y} \leq 1,5$$

$$\mu_z = \bar{\lambda}_z \cdot (2\beta_{Mz} - 4) \leq 0,9$$

$$\mu_z = 0,20 \cdot (2 \cdot 1,4 - 4) = -0,24 \leq 0,9$$

$$k_z = 1 - \frac{-0,24 \cdot 31,70 \cdot 10^3}{1,0 \cdot 14430 \cdot 235} = 1,002$$

$$\frac{31,70 \cdot 10^3}{0,989 \cdot 14430 \cdot 235 / 1,15} + \frac{1,003 \cdot 489,93 \cdot 10^6}{3,33 \cdot 10^6 \cdot 235 / 1,15} + 0 = 0,730 \leq 1,0 \quad \dots \text{vyhoví}$$

Kombinované namáhání – kombinace K2:

Návrhové hodnoty vnitřních sil:

$$N_{Sd} = 121,52 \text{ kN}$$

$$M_{y,Sd} = 479,24 \text{ kN}$$

$$M_{z,Sd} = 8,27 \text{ kNm}$$

$$k_y = 1 - \frac{-0,30 \cdot 121,52 \cdot 10^3}{0,989 \cdot 14430 \cdot 235} = 1,011$$

$$k_z = 1 - \frac{-0,24 \cdot 121,52 \cdot 10^3}{1,0 \cdot 14430 \cdot 235} = 1,009$$

$$\frac{121,52 \cdot 10^3}{0,989 \cdot 14430 \cdot 235 / 1,15} + \frac{1,011 \cdot 479,24 \cdot 10^6}{3,33 \cdot 10^6 \cdot 235 / 1,15} + \frac{1,009 \cdot 8,27 \cdot 10^6}{0,36 \cdot 10^6 \cdot 235 / 1,15} =$$

$$= 0,867 \leq 1,0 \quad \dots \text{vyhoví}$$

4.4.3.2 Dolní pásnice

Dolní pásnice není vystavena působení ohybového momentu ve vodorovné rovině, neboť dolní pás není součástí vodorovného výztužného nosníku. Vyhodnocujeme tudíž pouze účinky od kombinace K1. Jelikož je dolní pásnice tažená, neuvažujeme ztrátu stability nosníku jako celku (tzn. vzpěr a klopení).

Návrhové hodnoty vnitřních sil, posouzení:

$$N_{Sd} = 31,70 \text{ kN}$$

$$M_{y,Sd} = 489,93 \text{ kNm}$$

$$\left(\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} \right)^{k_{yz}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{cy,Rd}} \leq 1,0$$

$$N_{Rd} = A \cdot f_y / \gamma_{M0} = 14430 \cdot 235 / 1,15 = 2948,7 \text{ kN}$$

$$M_{cy,Rd} = W_y \cdot f_y / \gamma_{M0} = 2,92 \cdot 10^6 \cdot 235 / 1,15 = 596,70 \text{ kNm}$$

$$k_{yz} = 1,0$$

$$\frac{31,70}{2948,7} + \frac{489,93}{596,70} = 0,83 \leq 1,0 \dots \text{vyhoví}$$

4.4.4 **Příčné namáhání mimo výztuhy**

Hlavní nosník JD je pojížděn jeřáby, tudíž nelze zabránit, aby svislé zatížení nepůsobilo mimo příčné výztuhy.

4.4.4.1 Lokální únosnost stojiny v tlaku

Předpoklady posouzení:

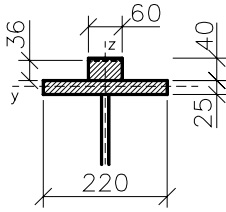
Jeřábová kolejnice je navržena obdélníkového průřezu 60x40mm a je připojena k hornímu pásu nosníku pomocí přerušovaných svarů. Při výpočtu budeme předpokládat, že během provozu dojde k opotřebování kolejnice cca 10%, tzn. zavedeme rozměr kolejnice 60x36mm.

Posouzení: $F_{Sd} \leq R_{y,Rd}$

kde F_{Sd} ... návrhové příčné zatížení ($= V_{1,max} = 172,88 \text{ kN}$)

$R_{y,Rd}$... návrhová lokální únosnost stojiny v tlaku

$$R_{y,Rd} = s_y \cdot t_w \cdot f_y / \gamma_{M0}$$



Obr. 4.9: Horní pás jeřábového nosníku s kolejnici

$$s_y = k_R \cdot \sqrt[3]{I_{f+R} / t_w} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{\sigma_{f,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{f_y} \right)^2}$$

$k_R = 3,25$ (kolejnice je uložena přímo na pásnici)

I_{f+R} ... moment setrvačnosti průřezu horního pásu nosníku
a přivařené jeřábové kolejnice

$$A = 220 \cdot 25 + 60 \cdot 36 = 7660 \text{ mm}^2$$

$$z_{cg} = \frac{220 \cdot 25 \cdot 12,5 + 60 \cdot 36(18 + 25)}{7660} = 21,10 \approx 21 \text{ mm}$$

$$I_{f+R} = I_y = \frac{1}{12} \cdot 220 \cdot 25^3 + \frac{1}{12} \cdot 60 \cdot 36^3 + 220 \cdot 25 \cdot 8,5^2 + 60 \cdot 36 \cdot 22^2 = 1,96 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$\sigma_{f,Ed}$... normálové napětí v těžisti pásnice:

$$W_y = \frac{933,05 \cdot 10^6}{267,5} = 3,49 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

o pro kombinaci K1:

$$\sigma_{f,Ed,1} = \frac{M_{y,Sd}}{W_y} + \frac{N_{Sd}}{A} = \frac{489,93 \cdot 10^6}{3,49 \cdot 10^6} + \frac{31,70 \cdot 10^3}{14430} = 142,58 \text{ MPa}$$

o pro kombinaci K2:

$$\sigma_{f,Ed,2} = \frac{479,24 \cdot 10^6}{3,49 \cdot 10^6} + \frac{121,52 \cdot 10^3}{14430} + \frac{8,27 \cdot 10^6}{0,36 \cdot 10^6} = 168,71 \text{ MPa}$$

$$s_y = 3,25 \cdot \sqrt[3]{\frac{1,96 \cdot 10^6}{8}} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{168,71 \cdot 1,15}{235} \right)^2} = 114,75 \text{ mm}$$

$$R_{y,Rd} = 114,75 \cdot 8 \cdot 235 / 1,15 = 187,59 \text{ kN} > F_{Sd} = 172,88 \text{ kN} \dots \text{vyhoví}$$

4.4.4.2 Lokální únosnost při borcení stojiny

Posouzení:

$$F_{Sd} \leq R_{s,Rd}$$

kde $R_{S,Rd}$... návrhová únosnost stojiny při lokálním borcení prutu

$$R_{s,Rd} = \left[10 \cdot f_y \cdot t_w^2 \cdot \left(1 + 0,004 \cdot \frac{s_s}{t_w} \right) \cdot \left(\frac{I_f}{t_w^4} \cdot \sqrt{\frac{f_y}{235}} \right)^{0,132} \right] / \gamma_{M1}$$

$$s_s = 2 \cdot h_k = 2 \cdot 36 = 72 \text{ mm} \quad (h_k \dots \text{výška kolejniče})$$

$$I_f = \frac{1}{12} \cdot 220 \cdot 25^3 = 286,46 \cdot 10^3 \text{ mm}^4$$

$$R_{s,Rd} = \left[10 \cdot 235 \cdot 8^2 \cdot \left(1 + 0,004 \cdot \frac{72}{8} \right) \cdot \left(\frac{286,46 \cdot 10^3}{8^4} \right)^{0,132} \right] / 1,15 =$$

$$= 272,97 \text{ kN} > F_{Sd} = 172,88 \text{ kN} \quad \dots \text{vyhoví}$$

$$F_{Sd} = 172,88 \text{ kN} \leq R_{s,Rd} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{\sigma_w \cdot \gamma_{M0}}{f_y} \right)^2} = 272,97 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{133,86 \cdot 1,15}{235} \right)^2} =$$

$$= 206,25 \text{ kN} \dots \text{vyhoví}$$

kde:

$$\sigma_w = \frac{M_{y,Sd}}{W_y} = \frac{489,93 \cdot 10^6}{3,66 \cdot 10^6} = 133,86 \text{ MPa}$$

4.4.4.3 Lokální stabilita stojiny

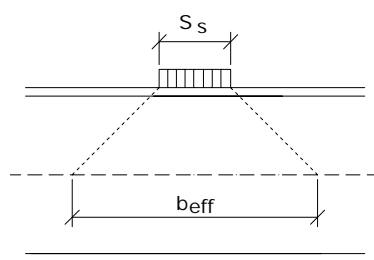
Posouzení:

$$F_{Sd} \leq R_{b,Rd}$$

kde $R_{b,Rd}$... stabilitní únosnost stojiny. Jedná se o vzpěrnou únosnost

"fiktivního prutu" - části stojiny šířky b_{eff} . Vzpěrná délka L_{cr}

činí cca 75% výšky stojiny.



Obr. 4.10: Šířka „fiktivního“ prutu b_{eff}

- efektivní šířka:

$$b_{eff} = \sqrt{h^2 + s_s^2} = \sqrt{600^2 + 72^2} = 604,30 \text{ mm}$$

- průřezové charakteristiky fiktivního prutu:

$$A = 604,30 \cdot 8 = 4834 \text{ mm}^2$$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot 604,30 \cdot 8^3 = 25,78 \cdot 10^3 \text{ mm}^4$$

- štíhlost fiktivního prutu:

$$L_{cr} = 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 555 = 416,25 \text{ mm}$$

$$\lambda = L_{cr} \cdot \sqrt{\frac{A}{I_y}} = 416,25 \cdot \sqrt{\frac{4834}{25,78 \cdot 10^3}} = 180,25$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} \cdot \sqrt{\beta_A} = \frac{180,25}{93,9} \cdot \sqrt{1} = 1,92 \longrightarrow \chi = 0,21$$

- únosnost fiktivního prutu:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot \beta_A \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1} = 0,21 \cdot 1 \cdot 4834 \cdot 235 / 1,15 = \\ = 207,44 \text{ kN} > F_{Sd} = 172,88 \text{ kN} \quad \dots \text{ vyhoví}$$

4.4.4.4 Rovinné namáhání ve stojině nosníku

Postavení M_{max} :

Návrhové hodnoty vnitřních sil:

$$V_{Sd} = 172,88 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = 523,83 \text{ kN (viz 4.4.3)}$$

$$\frac{V_{Sd}}{V_{pl,Rd}} = \frac{172,88}{523,83} = 0,33 > 0,30$$

$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{f_y} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{z,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{f_y} \right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{f_y} \right) \left(\frac{\sigma_{z,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{f_y} \right) + \\ + 1,1 \cdot \left(\frac{\tau_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{f_y / \sqrt{3}} \right)^2 \leq 1,1$$

kde $\sigma_{x,Ed}$... návrhové podélné normálové napětí v posuzovaném bodě.

$$\sigma_{x,Ed} = \frac{M_{y,Sd}}{W_y} + \frac{N_{Sd}}{A} = \frac{479,24 \cdot 10^6}{3,66 \cdot 10^6} + \frac{121,52 \cdot 10^3}{14430} = 139,36 \text{ MPa}$$

$\sigma_{z,Ed}$... návrhové příčné normálové napětí

$$\sigma_{z,Ed} = \frac{V_{Sd}}{(s_s + s_y) \cdot t_w} = \frac{172,88 \cdot 10^3}{(72 + 114,75) \cdot 8} = 115,72 \text{ MPa}$$

τ_{Ed} ... návrhové smykové napětí

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Sd} \cdot S_y}{I_y \cdot t_w} = \frac{172,88 \cdot 10^3 \cdot 220 \cdot 25 \cdot 267,5}{933,05 \cdot 10^6 \cdot 8} = 34,10 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{139,26 \cdot 1,15}{235} \right)^2 + \left(\frac{115,72 \cdot 1,15}{235} \right)^2 - \left(\frac{139,26 \cdot 1,15}{235} \right) \left(\frac{115,72 \cdot 1,15}{235} \right) + \\ + 1,1 \cdot \left(\frac{34,10 \cdot 1,15}{235 \sqrt{3}} \right)^2 = 0,61 < 1,1 \quad \dots \text{ vyhoví}$$

Postavení A_{max} :

Návrhové hodnoty vnitřních sil:

$$V_{Sd} = 403,91 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = 523,83 \text{ kN (viz 4.4.3)}$$

$$\frac{V_{Sd}}{V_{pl,Rd}} = \frac{403,91}{523,83} = 0,77 > 0,30$$

$$\left(\frac{\sigma_{z,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{f_y} \right)^2 + 1,1 \cdot \left(\frac{\tau_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{f_y / \sqrt{3}} \right)^2 \leq 1,1$$

$$\sigma_{z,Ed} = \frac{V_{Sd}}{(s_s + s_y) \cdot t_w} = \frac{172,88 \cdot 10^3}{(72 + 114,75) \cdot 8} = 115,72 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Sd} \cdot S_y}{I_y \cdot t_w} = \frac{403,91 \cdot 10^3 \cdot 220 \cdot 25 \cdot 267,5}{933,05 \cdot 10^6 \cdot 8} = 79,61 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{115,72 \cdot 1,15}{235} \right)^2 + 1,1 \cdot \left(\frac{79,61 \cdot 1,15}{235 \sqrt{3}} \right)^2 = 0,82 < 1,1 \quad \dots \text{vyhoví}$$

4.4.5 Příčné výztuhy

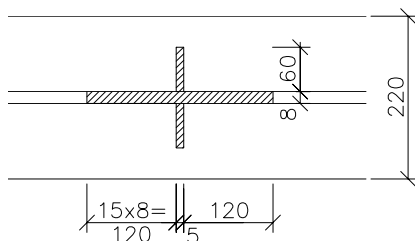
Stojinu nosníku vyztužujeme pomocí příčných oboustranných výztuh. Z konstrukčních důvodů jsou příčné výztuhy umístěny v místech styčníků vodorovného výztužného nosníku a v místech podpor. Výztuhy jsou namáhány tlakovými silami (= posouvající síly na jeřábovém nosníku ve svislém směru). Návrh a posouzení příčných výztuh provádíme odděleně pro výztuhy vnitřní a výztuhy podporové.

4.4.5.1 Vnitřní výztuhy

Návrh: plochá ocel 2x PL 5x60 mm

- Určení třídy průřezu:

$$\frac{c}{t_f} = \frac{60}{5} = 12,0 < 14 \quad \dots \text{třída 3}$$



Obr. 4.11: Vnitřní výztuhy

Poznámka: pro posouzení výztuh se do průřezu započítává taktéž spolupůsobící části stojiny $15 \cdot t_w$ na obě strany od výztuh (viz Obr. 4.11). Platí i pro podporové výztuhy.

- Posouzení tuhosti výztuhy:

$$A = 2 \cdot 120 \cdot 8 + 2 \cdot 60 \cdot 5 = 2520 \text{ mm}^2$$

$$I_s = \frac{1}{12} \cdot 5 \cdot 128^3 + 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot 120 \cdot 8^3 = 884,05 \cdot 10^3 \text{ mm}^4$$

$$I^* = 0,1 \cdot d \cdot t_w \cdot \kappa_s \cdot \gamma_s$$

$$\kappa_s = 1 \left(\dots \frac{d}{t_w} = \frac{555}{8} = 69,38 < 70 \right)$$

$$\gamma_s = 6 \left(\dots \frac{a}{d} = \frac{1000}{555} = 1,80 > 1 \right)$$

$$I^* = 0,1 \cdot 555 \cdot 8^3 \cdot 1 \cdot 6 = 170,50 \cdot 10^3 \text{ mm}^4$$

$$\text{Podmínka : } I_s = 884,05 \cdot 10^3 \text{ mm}^4 > I^* = 170,50 \cdot 10^3 \text{ mm}^4 \dots \text{vyhoví}$$

- Posouzení únosnosti výztuhy:

Únosnost výztuhy:

$$L_{cr} = 0,75d = 0,75 \cdot 555 = 416,25 \text{ mm}$$

$$\lambda = 416,25 \sqrt{\frac{2520}{884,05 \cdot 10^3}} = 22,22$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{22,22}{93,9} = 0,24 \longrightarrow \chi = 0,98$$

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot \beta_A \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1} = 0,98 \cdot 1 \cdot 2520 \cdot 235 / 1,15 = 504,66 \text{ kN}$$

Příčné výztuhy posuzujeme na zatížení:

- místní příčnou silou v místě výztuhy F_{Sd} :

$$F_{Sd} = 172,88 \text{ kN} < N_{b,Rd} = 504,66 \text{ kN} \dots \text{vyhoví}$$

- tlakovou silou, vyvolanou pokritickým působením stojiny N_{Sd} :

$$N_{Sd} = V_{Sd} - V_{bm,Rd}$$

$$\text{kde : } V_{bm,Rd} = V_{pl,Rd} \cdot \rho_{V,m}$$

$$V_{pl,Rd} = 523,83 \text{ kN (viz 4.4.3)}$$

$$\rho_{V,m} = \frac{\beta_{1,V}}{\beta_w} = \frac{71,33}{69,38} = 1,03 \longrightarrow \rho_{V,m} = 1,0$$

$$V_{bm,Rd} = 523,88 \cdot 1 = 523,88 \text{ kN}$$

$$N_{Sd} = 172,88 - 523,88 < 0 \dots \text{neprokazujeme}$$

4.4.5.2 Podporové výztuhy

Návrh: plochá ocel 2x PL 8x80 mm

- Určení třídy průřezu

$$\frac{c}{f} = \frac{80}{8} = 10 \leq 10 \dots \text{třída 2}$$

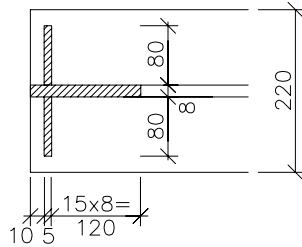
- Posouzení tuhosti výztuhy

$$A = 168 \cdot 8 + 120 \cdot 8 = 2304 \text{ mm}^2$$

$$I_s = \frac{1}{12} \cdot 8 \cdot 168^3 + \frac{1}{12} \cdot 120 \cdot 8^3 = 3166,21 \cdot 10^3 \text{ mm}^4$$

$$I^* = 170,50 \cdot 10^3 \text{ mm}^4 \quad (\text{viz 4.4.5.1})$$

$$I_s = 3166,21 \cdot 10^3 \text{ mm}^4 > I^* = 170,50 \cdot 10^3 \text{ mm}^4 \quad \dots \text{vyhoví}$$



Obr. 4.12: Podporové výztuhy

- Posouzení únosnosti výztuhy

$$L_{cr} = 0,75d = 0,75 \cdot 555 = 416,25 \text{ mm}$$

$$\lambda = 416,25 \cdot \sqrt{\frac{2304}{3166,21 \cdot 10^3}} = 11,23 < 20 \longrightarrow \chi = 1,0$$

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot \beta_A \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1} = 1,0 \cdot 1 \cdot 2304 \cdot 235 / 1,15 = 470,82 \text{ kN}$$

Příčnou podporovou výztuhu posoudíme na zatížení:

- místní příčnou silou v místě výztuhy F_{Sd} :

$$F_{Sd} = 403,91 \text{ kN} < N_{b,Rd} = 470,82 \text{ kN} \quad \dots \text{vyhoví}$$

- tlakovou silou, vyvolanou pokritickým působením stojiny N_{Sd} :

$$N_{Sd} = V_{Sd} - V_{bm,Rd} = 403,91 - 523,88 < 0 \quad \dots \text{neprokazujeme}$$

- ohybového momentu, vyvolaného pokritickým působením stojiny M_{Sd} :

$$M_{Sd} = \frac{A_V (\tau - \tau_m) \cdot d}{10 \cdot (\sqrt{1 + \alpha^2} - \alpha)}$$

kde τ ... průměrné smykové napětí v koncovém poli stojiny

$$\tau = \frac{403,91 \cdot 10^3}{8 \cdot 555} = 90,97 \text{ MPa}$$

$$\tau_m = \frac{f_y \cdot \rho_{V,m}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{m1}} = \frac{235 \cdot 1}{\sqrt{3} \cdot 1,15} = 117,98 \text{ MPa}$$

$$\tau_m = 117,98 \text{ MPa} \geq \tau = 90,97 \text{ MPa} \quad \dots \text{neprokazujeme}$$

4.4.6 Krční svary

Krční svary označujeme svary, které připojují pásnice nosníku ke stojině. Je možné je provést jako koutové nebo jako tupé. V našem příkladě budeme navrhovat oboustranné průběžné (tzn. nepřerušované) koutové svary.

Návrh účinné výšky svaru: $a = 5 \text{ mm}$ (dle [2], tab. 10.1)

Provedeme posouzení průřezu, ve kterém působí maximální posouvající síla

$V_{Sd} = 403,91 \text{ kN}$, normálová síla $N_{Sd} = 121,52 \text{ kN}$ a lokální zatížení (od kola jeřábu) $F_{Sd} = 172,88 \text{ kN}$.

- smyková síla na jednotku délky:

$$V_{II} = \frac{V_{z,Sd} \cdot S_y}{I_y} = \frac{403,91 \cdot 10^3 \cdot 220 \cdot 25 \cdot 267,7}{933,05 \cdot 10^6} = 637,37 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$$

příslušející podélné smykové napětí:

$$\tau_{II}^1 = \frac{V_{II}}{2 \cdot a \cdot 1,0} = \frac{637,37 \cdot 10^3}{2 \cdot 5 \cdot 1,0} = 63,74 \text{ MPa}$$

- normálová síla (= podélné brzdné síly) vyvoluje taktéž podélné smykové napětí. Předpokládáme (na stranu bezpečnou), že se bude přenášet délkou svaru, na niž se rozkládá příčné zatížení od kola jeřábu l_{eff} .

$$l_{eff} = k_R \cdot \sqrt[3]{I_{f+R} / t_w}$$

$$k_R = 3,25 \quad (\text{viz 4.4.4.1})$$

$$I_{f+R} = 1,96 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 \quad (\text{viz 4.4.4.1})$$

$$t_w = 8 \text{ mm}$$

$$l_{eff} = 3,25 \cdot \sqrt[3]{\frac{1,96 \cdot 10^6}{8}} = 203,36 \text{ mm}$$

$$\tau_{II}^2 = \frac{N_{Sd}}{2 \cdot a \cdot l_{eff}} = \frac{31,70 \cdot 10^3}{2 \cdot 5 \cdot 203,36} = 15,59 \text{ MPa}$$

- osamělé zatížení od tlaku kola jeřábu F_{Sd} vyvoluje příčné lokální napětí $\sigma_{we,d}$ a smykové lokální napětí τ_{loc} .

$$\sigma_{we,d} = \frac{F_z}{l_{eff} \cdot 2 \cdot a}$$

$$\text{kde } l_{eff} = 203,36 \text{ mm}$$

$$\sigma_{we,d} = \frac{172,88 \cdot 10^3}{203,36 \cdot 2 \cdot 5} = 85,01 \text{ MPa}$$

$$\tau_{loc} = 0,2 \cdot \sigma_{we,d} = 0,2 \cdot 85,01 = 17,00 \text{ MPa}$$

- komponenty srovnávacího napětí:

$$\circ \quad \tau_{II} = \tau_{II}^1 + \tau_{II}^2 + \tau_{loc} = 63,74 + 15,59 + 17,00 = 96,33 \text{ MPa}$$

$$\circ \quad \sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_{we,d}}{\sqrt{2}} = \frac{85,01}{\sqrt{2}} = 60,11 \text{ MPa}$$

- srovnávací napětí:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{II}^2} = \sqrt{60,11^2 + 3 \cdot 60,11^2 + 3 \cdot 96,33^2} = 205,65 \text{ MPa}$$

- posudek:

$$\sigma_{eq} = 205,65 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{Mw}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,5} = 300 \text{ MPa} \quad \dots \text{ vyhoví}$$

$$\sigma_{\perp} = 60,11 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{Mw}} = \frac{360}{1,5} = 240 \text{ MPa} \quad \dots \text{ vyhoví}$$

4.4.7 Posouzení na únavu

Konstrukční prvky, které jsou vystaveny působení proměnného namáhání, je nezbytné posoudit na tzv. únavovou pevnost. Cílem tohoto posudku je zajistit (s přijatelnou pravděpodobností), že se konstrukce v návrhové době životnosti neporuší nebo nepoškodí v důsledku únavy. Rozhodujícími faktory pro určení únavové pevnosti jsou rozkmit napětí, počet cyklů, vytížení konstrukce a zejména uspořádání detailů.

4.4.7.1 Vstupní parametry výpočtu

- γ_{Ff} ... součinitel únavového zatížení

$$\gamma_{Ff} = 1,0 \text{ je-li zatížení určeno dle ČSN 730035}$$

- γ_{Mf} ... součinitel spolehlivosti únavové pevnosti

$\gamma_{Mf} = 1,15$ pro konstrukce pozemních staveb při periodicky prováděných prohlídkách a údržbě, avšak se závažnými důsledky únavového lomu

- φ_t ... redukční součinitel únavové pevnosti v důsledku tloušťky materiálu

$$\varphi_t = 1,0 \text{ pro } t \leq 25 \text{ mm}$$

- φ_r ... redukční součinitel při posuzování nesvařovaných detailů nebo detailů žíhaných

$$\varphi_r = 1,0 \text{ v ostatních případech}$$

- Druh detailu: dle [2], přílohy H, tab. H1 až H5 se určí kategorie detailu $\Delta\sigma_c$. Z [2] tab. 8.2 se na základě kategorie detailu odečte rozkmit normálového napětí na mezi únavy při konstantní amplitudě $\Delta\sigma_D$ a počtu cyklů $N_D = 5 \cdot 10^6$ a prahový rozkmit normálového napětí $\Delta\sigma_L$ při počtu cyklů $N_L = 10^8$.

- Rozkmit napětí od nahodilého zatížení jeřáby.
- Spektrum zatížení: Přehled úrovní zatížení, jejich četností, návrhová doba životnosti konstrukce.

4.4.7.2 Předpoklady posouzení na únavu řešeného příkladu

Dále uvedené předpoklady provozních podmínek dodává objednatel (investor) na základě uvažované provozní technologie v objektu.

- Uvažovaná životnost konstrukce: 20let
- Předpokládaný počet pracovních dnů za rok: 260 dní
- Předpokládaný počet pracovních směn za den: průměrně 1,5
- Předpokládané spektrum zatížení za 1 směnu (součet zatížení od obou jeřábů):

$$40t : 1x, 30t : 2x, 20t : 10x, 10t : 20x, 4t : 40x, 2t : 50x$$

- Výsledné spektrum zatížení:

$$40t : 1 \cdot 1,5 \cdot 260 \cdot 20 = 7800 \text{ cyklů}$$

$$30t : 2 \cdot 1,5 \cdot 260 \cdot 20 = 15600 \text{ cyklů}$$

$$20t : 10 \cdot 1,5 \cdot 260 \cdot 20 = 78000 \text{ cyklů}$$

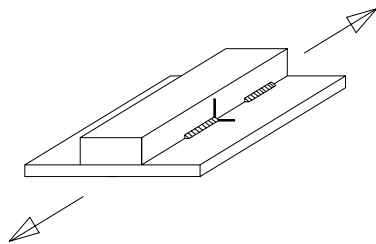
$$10t : 20 \cdot 1,5 \cdot 260 \cdot 20 = 156000 \text{ cyklů}$$

$$4t : 40 \cdot 1,5 \cdot 260 \cdot 20 = 312000 \text{ cyklů}$$

$$2t : 50 \cdot 1,5 \cdot 260 \cdot 20 = 390000 \text{ cyklů}$$

4.4.7.3 Posouzení detailů na únavu

Výpočet na únavu provedeme pro detail: přípoj jeřábové kolejnice k hornímu pasu nosníku pomocí přerušovaných koutových svarů (Obr. 4.13).



Obr. 4.13: Přípoj kolejnice k hornímu pasu přerušovanými koutovými svary

$$\gamma_{Ff} = 1,0$$

$$\gamma_{Mf} = 1,15$$

$$\varphi_t = 1,0$$

$$\varphi_r = 1,0 \text{ (viz 4.4.7.2)}$$

- Kategorie detailu:

$$\Delta\sigma_c = 56 \text{ MPa (dle [2], příloha H, číslo detailu 12)}$$

$$N_D = 5 \cdot 10^6$$

$$\Delta\sigma_D = 41 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_L = 23 \text{ MPa}$$

- Spektrum zatížení N_i (viz 4.4.7.1)

$$40\text{t} : n_1 = 7800 \text{ cyklů}$$

$$30\text{t} : n_2 = 15600 \text{ cyklů}$$

$$20\text{t} : n_3 = 78000 \text{ cyklů}$$

$$10\text{t} : n_4 = 156000 \text{ cyklů}$$

$$4\text{t} : n_5 = 312000 \text{ cyklů}$$

$$2\text{t} : n_6 = 390000 \text{ cyklů}$$

- Rozkmit napětí $\Delta\sigma_i$

- Extrémní ohybový moment od svislého zatížení kol jeřábu:

$$M_{V,y} = 463,09 \text{ kNm} \text{ (pro celkové zatížení 40t od obou jeřábů)}$$

Pro výpočet $M_{V,y}$ od břemen hmotnosti 30t až 2t je nezbytné nejprve stanovit hodnoty svislého zatížení V jako součet celkové tíhy jeřábu a tíhy příslušného břemene.

- Průřezový modul v místě posuzovaného detailu, tj. v místě přípoje kolejnice k pásu nosníku:

$$W_{y,horní} = 3,33 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

- Rozkmit napětí:

$$\Delta\sigma_1 = \frac{463,09 \cdot 10^6}{3,33 \cdot 10^6} = 139,07 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_2 = 113,62 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_3 = 88,17 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_4 = 62,72 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_5 = 46,45 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_6 = 42,42 \text{ MPa}$$

- Určení počtu cyklů do porušení N_i :

Výpočet bude prováděn pro tzv. křivku „a“ s dvojnásobným sklonem a prahovým rozkmitem napětí pro $N = 10^8$ cyklů.

Podmínky pro výpočet únavových křivek:

$$\text{○ Pro: } \gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_i \geq \frac{\Delta\sigma_D \cdot \varphi_t \cdot \varphi_r}{\gamma_{Mf}} = \frac{41 \cdot 1,0 \cdot 1,0}{1,15} = 35,65 \text{ MPa}$$

$$N_i = N_D \cdot \left(\frac{\Delta\sigma_D \cdot \varphi_t \cdot \varphi_r}{\gamma_{Mf} \cdot \gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_i} \right)^3$$

○ Pro:

$$\frac{\Delta\sigma_D \cdot \varphi_t \cdot \varphi_r}{\gamma_{Mf}} = 35,65 \text{ MPa} > \gamma_{Ft} \cdot \Delta\sigma_1 > \frac{\Delta\sigma_L \cdot \varphi_t \cdot \varphi_r}{\gamma_{Mf}} = \frac{23 \cdot 1 \cdot 1}{1,15} = 20 \text{ MPa}$$

$$N_i = N_D \cdot \left(\frac{\Delta\sigma_D \cdot \varphi_t \cdot \varphi_r}{\gamma_{Mf} \cdot \gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_i} \right)^5$$

○ Pro: $\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_i \leq \frac{\Delta\sigma_L \cdot \varphi_t \cdot \varphi_r}{\gamma_{Mf}} = 20 \text{ MPa}$

$$N_i = \infty$$

Výpočet N_i :

$$N_1 = 5 \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{41 \cdot 1,0 \cdot 1,0}{1,15 \cdot 1,0 \cdot 139,07} \right)^3 = 84241,8 \text{ cyklů}$$

$$N_2 = 5 \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{41 \cdot 1,0 \cdot 1,0}{1,15 \cdot 1,0 \cdot 113,62} \right)^3 = 154476,9 \text{ cyklů}$$

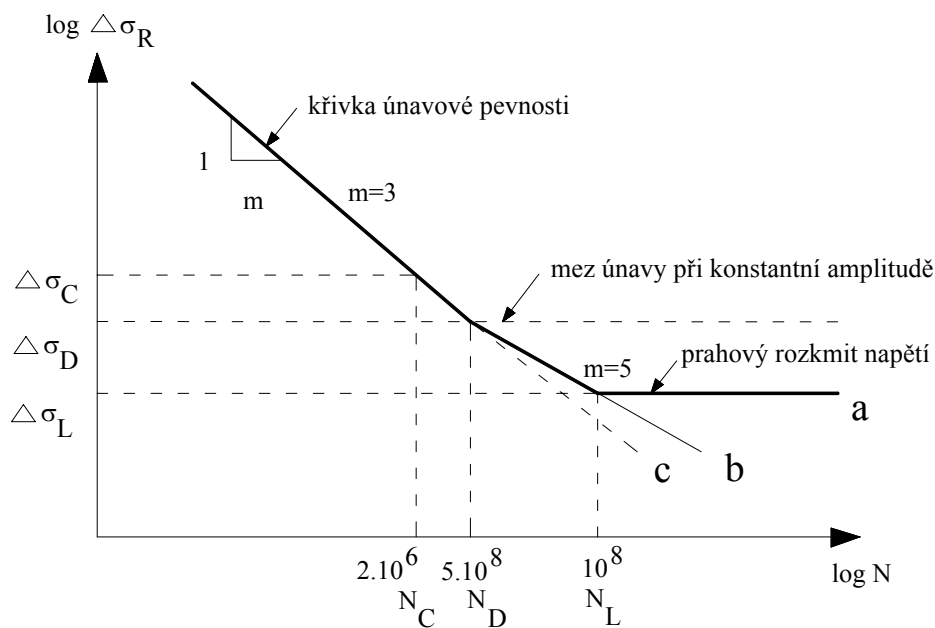
$$N_3 = 5 \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{41 \cdot 1,0 \cdot 1,0}{1,15 \cdot 1,0 \cdot 88,17} \right)^3 = 330571,6 \text{ cyklů}$$

$$N_4 = 5 \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{41 \cdot 1,0 \cdot 1,0}{1,15 \cdot 1,0 \cdot 62,72} \right)^3 = 918353,5 \text{ cyklů}$$

$$N_5 = 5 \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{41 \cdot 1,0 \cdot 1,0}{1,15 \cdot 1,0 \cdot 46,45} \right)^3 = 2260845,6 \text{ cyklů}$$

$$N_6 = 5 \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{41 \cdot 1,0 \cdot 1,0}{1,15 \cdot 1,0 \cdot 42,42} \right)^3 = 2968356,3 \text{ cyklů}$$

Průběh a tvar výše popsané křivky únavové pevnosti je uveden na Obr. 4.14.



Obr. 4.14: Křivka únavové pevnosti pro normálová napětí

- Velikost dílčího poškození D_i :

$$D_i = \frac{n_i}{N_i}$$

$$D_1 = \frac{7800}{84241,8} = 0,093$$

$$D_2 = \frac{15600}{154476,9} = 0,101$$

$$D_3 = \frac{78000}{330571,6} = 0,236$$

$$D_4 = \frac{156000}{918353,5} = 0,170$$

$$D_5 = \frac{312000}{2260845,6} = 0,138$$

$$D_6 = \frac{390000}{2968356,5} = 0,131$$

- Posouzení detailu na únavu:

$$D_d = \sum D_i \leq 1,0$$

$$D_d = 0,093 + 0,101 + 0,236 + 0,170 + 0,138 + 0,131 = 0,869 < 1,0 \dots \text{vyhoví}$$

Obdobným způsobem se provede posouzení ostatních detailů konstrukce jeřábové dráhy. Zejména se jedná o:

- Přípoj příčných výztuh k pásům
- Přípoj styčnickových plechů příhradového vodorovného výztužného nosníku k hornímu pásu nosníku
- Krční koutové svary nepřerušované
- Přípoj koncových nárazníků k hornímu pásu

4.4.8 Mezní stav použitelnosti

Je třeba prokázat, že mezní průhyb nosníku jeřábové dráhy od extrémního zatížení nepřekročí limitní hodnotu. Při stanovení průhybu nosníku jeřábové dráhy vycházíme z charakteristických, tj. normových (nikoliv návrhových, tj. výpočtových) hodnot zatížení.

Celkový průhyb jeřábového nosníku získáme superpozicí průhybů od zatížení stálého, užitného na lávce a svislého od kol jeřábu.

Pohyblivou soustavu umístíme na nosníku tak, že její výslednice leží uprostřed rozpětí nosníku (Obr. 4.15).

Průhyb od pohyblivého zatížení stanovíme buď pomocí vhodného programového systému (např. NEXIS) nebo s využitím příčinkové čáry, případně sestavených vzorců.

- Průhyb od stálého zatížení:

$$f_g = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_n \cdot L^4}{E \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{2,32 \cdot 6000^4}{2,1 \cdot 10^5 \cdot 933,05 \cdot 10^6} = 0,20 \text{ mm}$$

- Průhyb od užitečného zatížení na lávce:

$$f_q = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,75 \cdot 6000^4}{2,1 \cdot 10^5 \cdot 933,05 \cdot 10^6} = 0,06 \text{ mm}$$

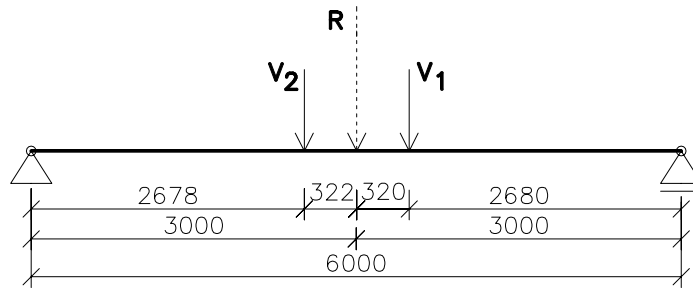
- Průhyb od svislého pohyblivého zatížení:

$$V_{1,n} = 142,99 \text{ kN}$$

$$V_{2,n} = 144,07 \text{ kN}$$

Pro určení průhybu od pohyblivého zatížení využijeme příčinkovou čáru:

$$f_V = \frac{l^3}{I_y} = \sum P_i \cdot \eta_i$$



Obr. 4.15: Postavení soustavy, vyvolující extrémní průhyb nosníku

$$\frac{x_1}{l} = \frac{2678}{6000} = 0,446 \rightarrow \eta_1 = 9,7522 \cdot 10^{-4}$$

$$\frac{x_2}{l} = \frac{2680}{6000} = 0,447 \rightarrow \eta_2 = 9,7584 \cdot 10^{-4}$$

$$f_V = \frac{6^3}{933,05 \cdot 10^6} = (144,07 \cdot 9,7584 \cdot 10^{-4} + 142,99 \cdot 9,7522 \cdot 10^{-4}) = 6,48 \text{ mm}$$

- Celkový průhyb: $f_{celk} = f_g + f_q + f_V = 0,20 + 0,06 + 6,48 = 6,74 \text{ mm}$
- Mezní průhyb: $f_{lim} = \frac{l}{600} = \frac{6000}{600} = 10 \text{ mm}$
- Posouzení: $f_{celk} = 6,74 \text{ mm} < f_{lim} = 10 \text{ mm}$... vyhoví

5 Vodorovný výztužný nosník

5.1 Všeobecně

Vodorovný výztužný nosník je konstrukční prvek, jež zajišťuje (viz kap. 4.1) přenos příčných vodorovných sil vyvozených jeřáby tj. příčné brzdné síly a síly od přičení a jiných nerovnoměrností při pojezdu jeřábů. Kromě této základní funkce lze vodorovný výztužný nosník využít taktéž jako podpurný prvek pro vynášení pochůzně obslužné (revizní) lávky. Vodorovný výztužný nosník je uložen horizontálně i vertikálně v místě horního pásu hlavního jeřábového nosníku.

Vodorovný výztužný nosník je tvořen pásovými pruty a výplní. Vnitřní pásový prut je reprezentován horním pásem hlavního nosníku jeřábové dráhy, protější rovnoběžný (vnější) pás je uložen na hlavních sloupech objektu.

Podle druhu výplně rozlišujeme vodorovný výztužný nosník jako plnostěnný nebo příhradový. U plnostěnné alternativy jsou oba pásové pruty spojeny výstužným ocelovým (nejčastěji žebrovým) plechem, jež současně zastává funkci podlahy obslužné a revizní lávky. Příhradová varianta nosníku má provedenu příhradovou výplň, sestávající z diagonál a svislic, jež zároveň tvoří oporu pro podlahu lávky. Podlaha lávky může být provedena z žebrového plechu nebo lépe z pororoštu.

Vnější pás bývá nejčastěji navrhován z válcového průřezu L, U nebo T (resp. úpalku I). Varianta pásu z dvojice válcovaných profilů L, spojených vzájemně vložkami, není z všeobecně známých problémů protikorozní ochrany vhodná. Pásový prut je podporován hlavními sloupy objektu. Jelikož je pás zatížen nejen vodorovně působícím zatížením (tj. ve své rovině), ale také příčným zatížením od obslužné lávky, je nezbytné (pro hospodárný návrh) podepření tohoto pásu i v poli. Funkci podpor mohou plnit šikmé vzpěry, umístěné ve styčnicích. Výhodná je rovněž varianta se šikmým podpurným příhradovým nosníkem, jež zvyšuje celkovou tuhost konstrukce jeřábové dráhy. Výplňové pruty (svislice a diagonály) se obvykle navrhují z rovnoramenných válcovaných tyčí L.

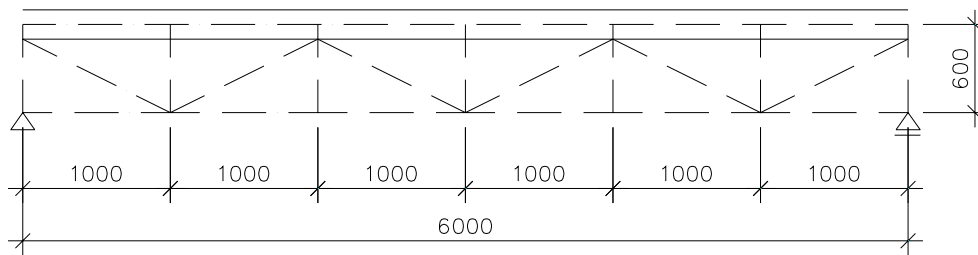
5.2 Koncepce návrhu vodorovného výztužného nosníku

Vodorovný výztužný nosník budeme řešit jako příhradový. Teoretická vzdálenost pásů vyplývá z celkového prostorového uspořádání objektu a činí 600mm. Nosník je prostě uložený na obou koncích na hlavní sloupy budovy. Pásový prut je dále ve svislém směru podporován v poli šikmými vzpěrami ve vzdálenostech po 2,0m.

Výplňové pruty jsou tvořeny systémem diagonál a svislic. Uspořádání vodorovného výztužného nosníku je patrné z Obr. 5.1.

Styčnický vodorovného výztužného nosníku u horního pásu hlavního jeřábového nosníku se obvykle posouvají mimo těžištní osu pásu na jeho okraj. Důvody jsou konstrukční a příznivě se projevují výrazným zmenšením velikosti styční-

kových plechů. Posun styčniců mimo těžištní osu s sebou naopak přináší vznik přidavných ohybových momentů v pásu od excentricity působících sil. Jejich velikost je ovšem nevýznamná a obvykle se zanedbává.



Obr. 5.1. Geometrie vodorovného výztužného nosníku

Vodorovný výztužný nosník je třeba navrhovat na přenos vodorovných zatížení od jeřábů (příčné brzděné síly a síla od přičení a jiných nerovnoměrností pojezdu jeřábu), zatížení od lávky (nahodilé i stálé) i zatížení vlastní tíhy lávky.

5.3 Zatížení

Podrobný rozbor zatížení byl proveden v kapitole 3: Zatížení jeřábové dráhy.

5.3.1 Zatížení stálé

- Vlastní tíha lávky (odhad)

$$g_{1,n} = 0,50 \text{ kNm}^{-1}$$

$$\gamma_F = 1,1$$

$$g_1 = 0,50 \cdot 1,1 = 0,55 \text{ kNm}^{-1}$$

- Vlastní tíha vodorovného nosníku (odhad)

$$g_{2,n} = 0,50 \text{ kNm}^{-1}$$

$$\gamma_F = 1,1$$

$$g_2 = 0,50 \cdot 1,1 = 0,55 \text{ kNm}^{-1}$$

5.3.2 Zatížení nahodilé

- Užité na lávce

$$q_n = 0,75 \text{ kNm}^{-1}$$

$$\gamma_F = 1,4$$

$$q = 0,75 \cdot 1,4 = 1,05 \text{ kNm}^{-1}$$

- Vodorovné příčné zatížení od jeřábů (příčné síly B_t a síly od přičení a jiných nerovnoměrností při pojezdu jeřábu na dráze H_p):

$$B_{t,n} = 10,23 \text{ kN}$$

$$B_t = 11,25 \text{ kN}$$

$$H_{tp,n} = 37,60 \text{ kN}$$

$$H_{tp} = 41,37 \text{ kN}$$

Poznámka: Vodorovné příčné zatížení od jeřábů je nezbytné uvažovat ve všech kombinacích, tzn.:

$$B_t + B_t$$

$$H_{tp} + B_t$$

$$B_t + H_{tp} \text{ (vysvětlení viz 4.2.5)}$$

5.4 Výpočet vnitřních sil

Výpočet vnitřních sil od daných zatížení provedeme odděleně pro jednotlivá zatížení a pro jednotlivé pruty. Výsledné hodnoty určíme superpozicí dílčích účinků.

5.4.1 Pásový prut

Vodorovné zatížení (příčné síly od jeřábů) vyvozuje osovou sílu, jež může nabývat kladných i záporných hodnot, neboť vodorovné příčné síly od jeřábů mohou působit v obou směrech.

Pásový prut je součástí příhradové prutové soustavy vodorovného nosníku. Velikost síly v prutu získáme buď za pomoci příčinkové čáry nebo využitím softwaru pro statické řešení prutových soustav.

Ukážeme výpočet osově síly pomocí příčinkové čáry (viz Obr. 5.2).

- Určíme výslednici soustav vodorovných sil H_i . Uvažujeme tři možné soustavy sil: $B_t + B_t$, $H_{tp} + B_t$, $B_t + H_{tp}$. Zohledňujeme pouze ty síly, které působí v analyzovaném poli.

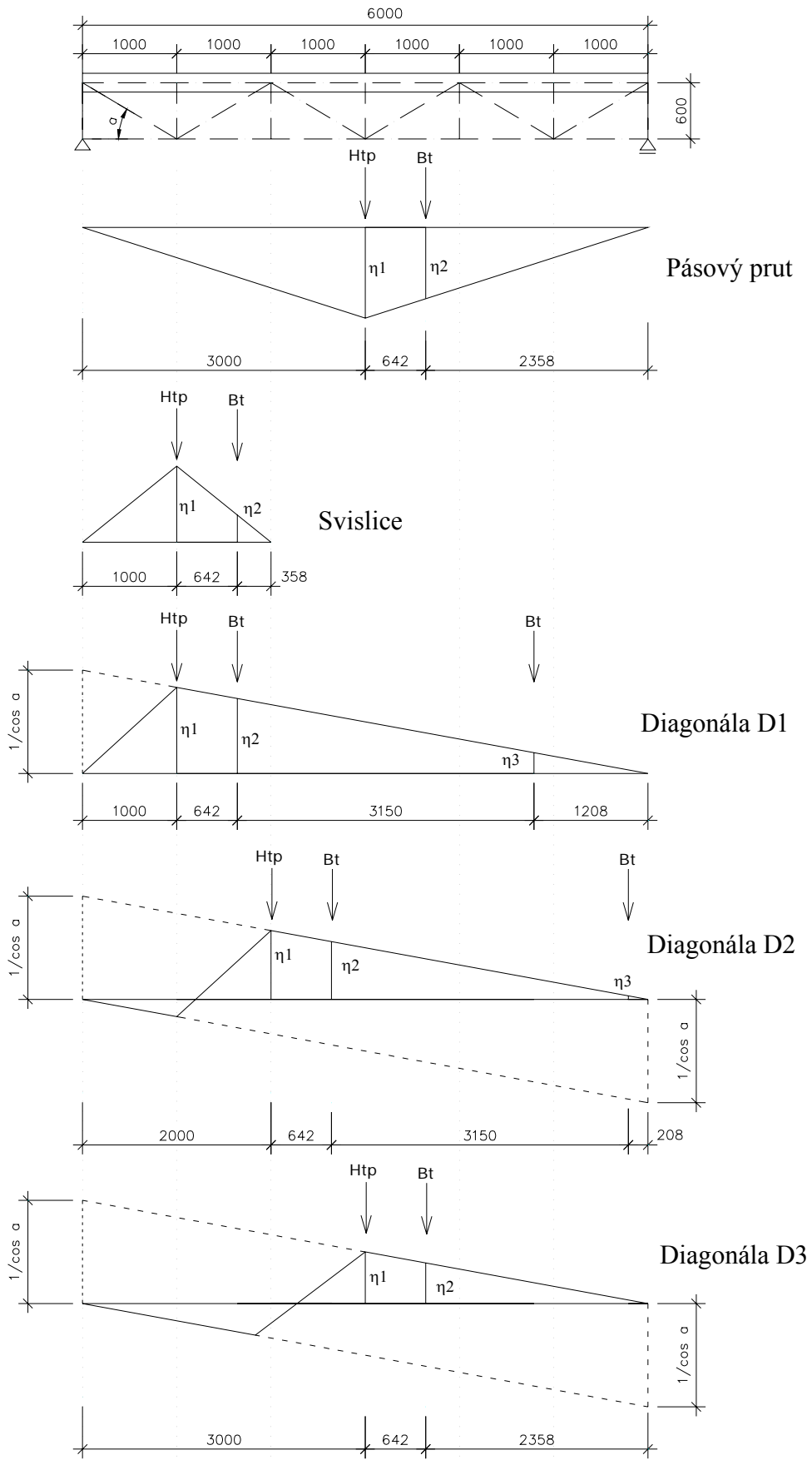
$$H_1 = 11,25 + 11,25 = 22,50 \text{ kN}$$

$$H_2 = 11,25 + 41,37 = 52,62 \text{ kN}$$

$$H_3 = 41,37 + 11,25 = 52,62 \text{ kN}$$

- Soustavu břemen (tj. kombinací sil B_t a H_{tp} od obou jeřábů) umístíme tak, aby vyvodila maximální osovou sílu v pásu. Tedy do středu nosníku umístíme „kritické“ břemeno. „Kritické“ břemeno je to, jehož přičtením k břemenům předcházejícím překročíme hodnotu $H \cdot \frac{0,5l}{l} = \frac{H}{2}$.

Jelikož jsou oba jeřáby zcela identické, lze konstatovat (s přihlédnutím k daným rozměrům), že extrémní hodnotu osově síly získáme od kombinace $B_t + H_{tp}$ (respektive $H_{tp} + B_t$, která je shodná).



Obr. 5.2: Výpočet vnitřních sil v prutech pomocí příčkových čar

- Pořadnice příčinkové čáry pro střední („kritické“) břemeno (tj. H_{tp}):

$$\eta_1 = \frac{1}{4} \cdot \frac{l}{h} = \frac{1}{4} \cdot \frac{6,0}{0,6} = 2,5$$

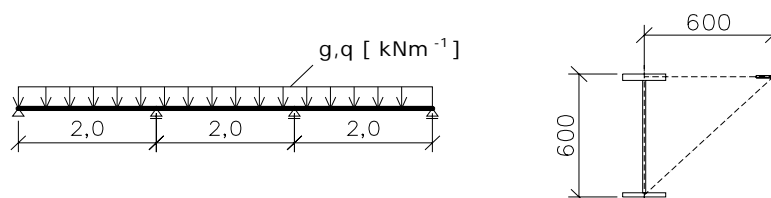
- Pořadnice příčinkové čáry zbývající střední břemeno (tj. B_t):

$$\eta_2 = \frac{2,5 \cdot 2,358}{3} = 1,965$$

- Maximální osová síla v pásu (působící jako tlaková i tahová):

$$N_{Sd} = 41,37 \cdot 2,50 + 11,25 \cdot 1,965 = 125,63 \text{ kN}$$

Svislé zatížení (vlastní tíha vodorovného výztužného nosníku + lávky a nahodilé užité zatížení na lávce) je ve tvaru rovnoměrného liniového spojitého zatížení. Ve svislém směru pásový prut působí jako spojitý nosník – funkci krajních podpěr plní uchycení ke sloupům budovy, vnitřní podpory jsou tvořeny šikmými vzpěrami.



Obr. 5.3: Statické schéma vodorovného nosníku, příčný řez

Svislé zatížení vyvozuje v pásu ohybový moment.

Zatížení:

$$g_n' = \frac{1}{2}(g_{1,n} + g_{2,n}) = \frac{1}{2}(0,50 + 0,50) = 0,50 \text{ kNm}^{-1}$$

$$g' = 0,50 \cdot 1,1 = 0,55 \text{ kNm}^{-1}$$

$$q_n' = \frac{1}{2}q_n = \frac{1}{2} \cdot 0,75 = 0,375 \text{ kNm}^{-1}$$

$$q' = 0,375 \cdot 1,4 = 0,525 \text{ kNm}^{-1}$$

Extrémní ohybový moment působí nad podporou:

$$M_{y,Sd} = -0,100 \cdot (g' + q') \cdot l^2 = -0,100 \cdot (0,55 + 0,525) \cdot 2,0^2 = 0,43 \text{ kNm}^{-1}$$

5.4.2 Svislice

Svislice jsou součástí příhradové soustavy vodorovného výztužného nosníku a jsou namáhány osovou silou. Velikost této síly získáme opět pomocí příčinkové čáry (viz obrázek).

Do místa svislice umístíme „kritické“ břemeno soustavy (je ovšem třeba vyhodnotit všechny kombinace vodorovných příčných sil B_t a H_{tp} , tzn. $B_t + B_t$, $H_{tp} + B_t$, $B_t + H_{tp}$). V dalších výpočtech je uvedena pouze rozhodující kombinace $H_{tp} + B_t$.

$$H_{tp} = 41,37 \text{ kN}; \eta_1 = 1,0$$

$$B_t = 11,25 \text{ kN}; \eta_2 = 0,358$$

$$N_{V,Sd} = 41,37 \cdot 1,0 + 11,25 \cdot 0,358 = 45,70 \text{ kN}$$

Vypočtená osová síla může být tahová i tlaková, neboť vodorovná příčná zatížení mohou působit oběma směry.

5.4.3 Diagonály

Diagonály jsou prvky vodorovného výztužného nosníku, jež jsou namáhány osovou silou. Její velikost lze získat výpočtem pomocí příčinkové čáry. Výpočetní procedura je shodná s postupem, uvedeným v 5.4.2. Schéma příčinkových čar pro diagonální prvky D_1 , D_2 i D_3 jsou uvedena na obrázku. V následujících výpočtech vnitřních sil je vyhodnocena pouze rozhodující kombinace vodorovných sil, tj. $H_{tp} + B_t$.

$$H_{tp} = 41,37 \text{ kN}$$

$$B_t = 11,25 \text{ kN}$$

Výpočet pořadnice příčinkové čáry:

$$d = \sqrt{0,6^2 + 1,0^2} = 1,166$$

$$\cos \alpha = \frac{0,6}{1,166} = 0,514$$

$$\eta_0 = \frac{1}{\cos \alpha} = \frac{1}{0,514} = 1,9455$$

5.4.3.1 Diagonála D_1

- Výpočet pořadnic příčinkové čáry:

$$\eta_1 = 1,9455 \cdot \frac{5}{6} = 1,621$$

$$\eta_2 = 1,621 \cdot \frac{4,358}{5} = 1,413$$

$$\eta_3 = 1,621 \cdot \frac{1,208}{5} = 0,392$$

- Výpočet osové síly:

$$N_{1,Sd} = 41,37 \cdot 1,621 + 11,25 \cdot (1,413 + 0,392) = 87,37 \text{ kN}$$

5.4.3.2 Diagonála D_2

- Výpočet pořadnic příčinkové čáry:

$$\eta_1 = 1,9455 \cdot \frac{4}{6} = 1,297$$

$$\eta_2 = 1,297 \cdot \frac{3,358}{4} = 1,089$$

$$\eta_3 = 1,297 \cdot \frac{0,208}{4} = 0,067$$

- Výpočet osově síly:

$$N_{2,Sd} = 41,37 \cdot 1,297 + 11,25 \cdot (1,089 + 0,067) = 66,66 \text{ kN}$$

5.4.3.3 Diagonála D₃

- Výpočet pořadnic příčinkové čáry:

$$\eta_1 = 1,9455 \cdot \frac{3}{6} = 0,9728$$

$$\eta_2 = 0,9728 \cdot \frac{2,358}{3} = 0,765$$

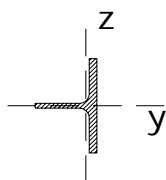
- Výpočet osově síly:

$$N_{3,Sd} = 41,37 \cdot 0,9728 + 11,25 \cdot 0,765 = 48,85 \text{ kN}$$

5.5 Návrh průřezů – mezní stav únosnosti

5.5.1 Pásový prut

Pásový prut navrhne průřezu tvaru T z úpalku profilu IPE 200 (ocel S235).



Průřezové charakteristiky:

$$A = 1340 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 0,711 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 0,732 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$W_y = 14,2 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

Určení třídy průřezu:

- horní pás:

$$c = \frac{100 - 5,6}{2} = 47,2 \text{ mm}, t_f = 8,5 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{47,2}{8,5} = 5,55 < 10 \cdot \varepsilon = 10 \cdot 1 - 10 \dots 1. \text{ třída}$$

- stojina:

$$d = 85 - 8,5 = 76,5 \text{ mm}, t_w = 5,9 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{76,5}{5,9} = 13,66 < 15 \cdot \varepsilon = 15 \cdot 1 - 15 \dots 3. \text{ třída}$$

Ztráta stability vzpěrným vybočením:

- $L_z = 1000 \text{ mm}$ (= vzdálenost styčníků vodorovného nosníku)

- $L_y = 2000 \text{ mm}$ (= vzdálenost šikmých vzpěr nosníku)
- $\lambda_z = L_z \cdot \sqrt{\frac{A}{I_z}} = 1000 \cdot \sqrt{\frac{1340}{0,732 \cdot 10^6}} = 42,74$
- $\frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{42,74}{93,9} = 0,455 \longrightarrow \chi_z = 0,868$
- $\lambda_y = L_y \cdot \sqrt{\frac{A}{I_y}} = 2000 \cdot \sqrt{\frac{1340}{0,711 \cdot 10^6}} = 86,96$
- $\frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{86,96}{93,9} = 0,926 \longrightarrow \chi_y = 0,585$

Ztráta stability klopením:

$$I_y = 0,711 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 \leq I_z = 0,732 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

... nosník je ohýbán v rovině menší tuhosti $\rightarrow \chi_{LT} = 1,0$

Návrhové hodnoty vnitřních sil:

$$N_{Sd} = 125,63 \text{ kN}$$

$$M_{y,Sd} = 0,43 \text{ kNm}$$

Podmínka posouzení:

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_y \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_y \cdot M_{y,Sd}}{W_y \cdot f_y / \gamma_{M1}} \leq 1$$

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y \cdot N_{Sd}}{\kappa_y \cdot A \cdot f_y} \leq 1,5$$

$$\mu_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} \cdot (2\beta_{My} - 4) \leq 0,9$$

$$\mu_y = 0,926 \cdot (2 \cdot 1,4 - 4) = -1,11$$

$$k_y = 1 - \frac{-1,11 \cdot 125,63 \cdot 10^3}{0,585 \cdot 1340 \cdot 235} = 1,757 \rightarrow k_y = 1,5$$

$$\frac{125,63 \cdot 10^3}{0,585 \cdot 1340 \cdot 235 / 1,15} + \frac{1,5 \cdot 0,43 \cdot 10^6}{14,2 \cdot 10^3 \cdot 235 / 1,15} \cong 1,0 \leq 1,0 \quad \dots \text{vyhoví}$$

5.5.2 Svislice

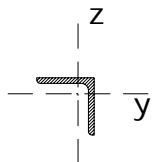
Svislice navrhne z válcovaných rovnoramenných profilů L z oceli S235.

Návrhová hodnota osové síly:

$$N_{V,Sd} = 45,40 \text{ kN (tah i tlak)}$$

Posouzení provedeme na tlak s uvážením vzpěru. Navržený rozměr: L40x40x5.

- Výpočet a ověření únosnosti prvku:



$$A = 379 \text{ mm}^2$$

$$i_{\eta} = 7,81 \text{ mm}$$

$$L_{cr} = 600 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i_{\eta}} = \frac{600}{7,81} = 76,82$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{76,82}{93,9} = 0,82 \rightarrow \chi = 0,65$$

$$\frac{h}{t} = \frac{40}{5} = 8 < 10 \cdot \varepsilon = 10 \cdot 1 = 10 \dots \text{třída 1, } \beta_A = 1$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot \beta_A \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,65 \cdot 1 \cdot 379 \cdot 235}{1,15} = 50,34 \text{ kN} >$$

$$> N_{V,Sd} = 45,40 \text{ kN} \dots \text{vyhoví}$$

5.5.3 Diagonály

Diagonály navrheme z válcovaných rovnoramenných profilů L z oceli S235.

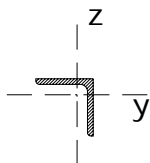
Posouzení provedeme na tlak s uvážením vzpěru.

5.5.3.1 Diagonála D₁

Návrhová hodnota osově síly: $N_{D1,Sd} = 87,37 \text{ kN}$ (tah i tlak)

Navržený rozměr: L70x70x6

- Výpočet a ověření únosnosti prutu:



$$A = 815 \text{ mm}^2$$

$$i_{\eta} = 13,8 \text{ mm}$$

$$L_{cr} = \sqrt{600^2 + 1000^2} = 1166 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i_{\eta}} = \frac{1166}{13,8} = 84,51$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{84,51}{93,9} = 0,90 \rightarrow \chi = 0,60$$

$$\frac{h}{t} = \frac{70}{6} = 11,67 < 15 \cdot \varepsilon = 15 \cdot 1 = 15 \dots \text{třída 3, } \beta_A = 1$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot \beta_A \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,60 \cdot 1 \cdot 815 \cdot 235}{1,15} = 99,93 \text{ kN} >$$

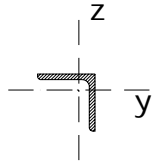
$$> N_{D1,Sd} = 87,37 \text{ kN} \dots \text{vyhoví}$$

5.5.3.2 Diagonála D₂

Návrhová hodnota osově síly: $N_{D2,Sd} = 66,66 \text{ kN}$ (tah i tlak)

Navržený rozměr: L60x60x6

- Výpočet a ověření únosnosti prutu:



$$A = 691 \text{ mm}^2$$

$$i_\eta = 11,8 \text{ mm}$$

$$L_{cr} = 1166 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i_\eta} = \frac{1166}{11,8} = 98,91$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{98,91}{93,9} = 1,05 \rightarrow \chi = 0,511$$

$$\frac{h}{t} = \frac{60}{6} = 10 \leq 10 \cdot \varepsilon = 10 \cdot 1 = 10 \dots \text{třída 1, } \beta_A = 1$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot \beta_A \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,511 \cdot 1 \cdot 691 \cdot 235}{1,15} = 72,16 \text{ kN} >$$

$$> N_{D2,Sd} = 66,66 \text{ kN} \dots \text{vyhoví}$$

5.5.3.3 Diagonála D₃

Návrhová hodnota osově síly: $N_{D3,Sd} = 48,85 \text{ kN}$ (tah i tlak)

Navržený rozměr: L 60x60x6

- Výpočet a ověření únosnosti prutu (viz Diagonála D₂):

$$N_{D3,Sd} = 48,55 \text{ kN} < N_{b,Rd} = 72,16 \text{ kN} \dots \text{vyhoví}$$

5.6 Posouzení průhybu – mezní stav použitelnosti

Vodorovný výztužný nosník je nezbytné posoudit taktéž z hlediska mezního stavu použitelnosti.

Extrémní hodnota průhybu ve vodorovném směru se stanoví z normových (tzn. charakteristických) hodnot vodorovného zatížení, tzn. ze sil $B_{t,n}$ a $H_{tp,n}$.

Průhyb lze stanovit více způsoby, např. na základě příčinkových čar průhybu nebo řešením za pomoci některého z programových systémů pro výpočet prutových soustav.

V našem případě bylo využito programového systému NEXIS.

Zatížení: $B_{t,n} = 10,23 \text{ kN}$

$$H_{tp,n} = 37,60 \text{ kN}$$

Postavení soustavy sil: je shodné s postavením pro výpočet extrémní síly v pásu vodorovného výztužného nosníku (viz 5.4.1)

Ověření průhybu:

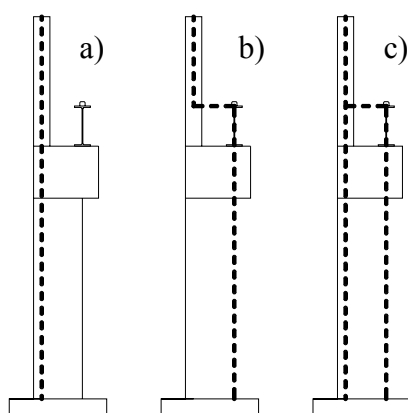
$$f_{\max} = 4,31 \text{ mm} < f_{\lim} = \frac{L}{1000} = \frac{6000}{1000} = 6,0 \text{ mm} \dots \text{vyhoví}$$

6 Brzdná ztužidla

6.1 Funkce brzdných ztužidel

Brzdné ztužidlo se navrhuje pro přenos podélných brzdných sil od jeřábů do základů. Jedná se o konstrukční prvek (často příhradový), který je umístěn mezi dvěma sousedními hlavními sloupy budovy ve svislé rovině nosníku jeřábové dráhy.

Brzdná ztužidla obvykle umísťujeme podle délky jeřábové dráhy do středu délky halý nebo do středu jejího dilatačního úseku. Brzdná ztužidla jeřábové dráhy mohou být funkčně spojena s příčným stěnovým (větrovým) ztužidlem budovy.



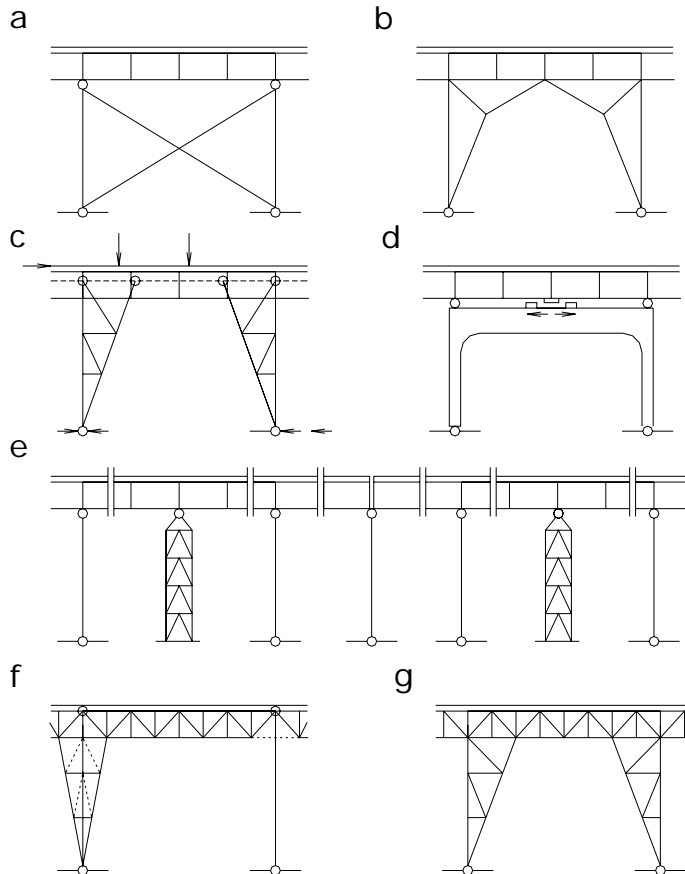
Obr. 6.1: Základní uspořádání ztužidel

Rozlišujeme 3 základní uspořádání ztužidel, zajišťujících přenos vodorovných podélných sil a tuhost objektu v podélném směru (Obr. 6.1):

- Je provedeno podélné stěnové ztužidlo na celou výšku sloupu, samostatné brzdné ztužidlo není navrženo. Podélné brzdné síly od jeřábů se přenášejí prvky vodorovného výztužného nosníku do příčného stěnového ztužidla objektu, tzn. příčné stěnové ztužidlo i vodorovný výztužný nosník jsou dimenzovány taktéž na přenesení podélných brzdných sil od jeřábů. Tato varianta uspořádání ztužidel se využívá v případě jeřábové dráhy s jeřáby s malou nosností (viz Obr. 6.1 a).
- Podélné stěnové ztužidlo je provedeno od horní úrovně špičky sloupu po konzolu sloupu, v místě dřívku sloupu je ztužidlo “převzeno“ do roviny nosníku jeřábové dráhy a zabezpečuje i přenos podélných brzdných sil od jeřábů. Silové účinky z prvků příčného stěnového ztužidla v místě špičky se do spodní části ztužidla přenesou prvky vodorovného výztužného nosníkem, který je tudíž zesílen (viz Obr. 6.1 b).
- Podélné stěnové ztužidlo i brzdné ztužidlo jsou dvě samonosné konstrukce s oddělenými funkcemi. Je vhodné navrhnout tvarově shodná uspořádání obou ztužidel a jejich prvky vzájemně propojit, čímž dojde ke zkrácení vzpěrných délek (viz Obr. 6.1 c).

6.2 Uspořádání brzdných ztužidel

Brzdná ztužidla mohou mít různá tvarová uspořádání, která jsou uvedena na Obr. 6.2.



Obr. 6.2: Uspořádání podélných brzdných ztužidel

- Jednoduché křížové uspořádání - Obr. 6.2.a

Ztužidlo lze navrhnout tak, že jeden prut přenáší tahovou sílu a druhý je namáhán vzpěrným tlakem. Jinou možností je přenesení silových účinků pouze prutem, který je namáhán na tah, zatímco tlačení prut vybočí.

Nevýhodou křížového uspořádání ztužidel je nemožnost příčného provozu v prostoru pole s tímto ztužidlem.

- Příhradový brzdný portál - Obr. 6.2.b, c

Uvolňuje prostor v poli pro příčný provoz. Lze zvolit alternativu s přenášením silových účinků pouze taženými prvky (tlačené vybočí) nebo prvky příhradové soustavy navrhnout na přenášení tahu i vzpěrného tlaku.

- Samostatný brzdný portál - Obr. 6.2.d

Je konstrukce, která s jeřábovou dráhou nijak nespolutpůsobí ve svislém směru. Vodorovné účinky se z dráhy do brzdného portálu přenesou pomocí ložiska mezi dvěma zarážkami.

Tato varianta brzdného ztužidla se využívá u jeřábových drah s velkou nosností jeřábů.

- Podélné brzdné síly od jeřábů lze rovněž přenést přímo sloupem objektu. Předpokladem je sloup tuhý v podélném směru (Obr. 6.2.f, g)

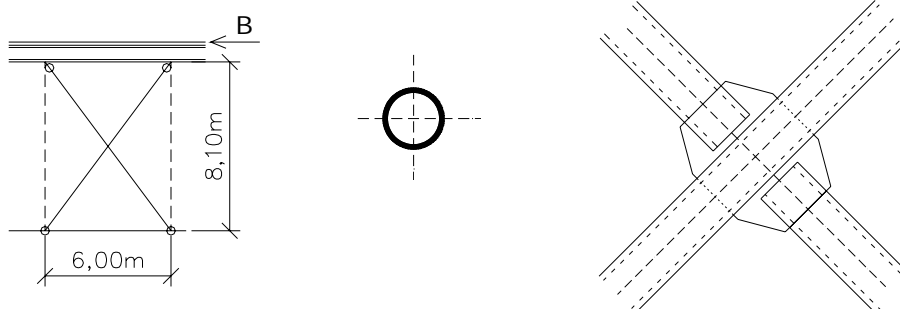
6.3 Návrh brzdného ztužidla

Provedeme návrh samostatného brzdného ztužidla, které probíhá ve svislé rovině jeřábového nosníku a je nezávislé na příčném stěnovém ztužidle.

Navrhujeme ztužidlo v jednoduchém (křížovém) uspořádání, kdy působící zatížení je přenášeno pouze taženým prutem (tlačený prut vybočí).

Působící zatížení:

síla B = extrémní vodorovná podélná síla (větší ze součtu podélných brzdných sil B od obou jeřábů a součtu sil od nárazu jeřábu na koncové nárazníky H_j od obou jeřábů). $B = 2 \cdot H_j = 2 \cdot 34,44 = 68,88 \text{ kN}$



Obr. 6.3: Geometrické schéma ztužidel, navržený průřez, detail křížení prutů

Návrhová hodnota osově síly v prutu ztužidla: $N_{Sd} = 63,38 \text{ kN}$ (tlaková)

Navržený průřez: trubka kruhového průřezu TR $\varnothing 152 \times 4,5 \text{ mm}$

Určení třídy průřezu:

$$\frac{d}{t} = \frac{152}{4,5} = 33,78 < 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot 1 = 50 \dots 1. \text{ třída, } \beta_A = 1$$

Posouzení průřezu:

$$A = 2090 \text{ mm}^2$$

$$i = 52,2 \text{ mm}$$

$$L_{cr} = \sqrt{6000^2 + 8100^2} = 10080 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i_\eta} = \frac{10080}{52,2} = 193,1 \leq 200 \dots \text{vyhoví}$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{193,10}{93,9} = 2,056 \rightarrow \chi = 0,212$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot \beta_A \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,212 \cdot 1 \cdot 2090 \cdot 235}{1,15} = 90,54 \text{ kN} \geq N_{Sd} = 63,38 \text{ kN} \dots \text{vyhoví}$$

7 Kolejnice, nárazníky, lávky

Jak již bylo uvedeno v kapitole 2, konstrukce jeřábové dráhy je tvořena svislým (hlavním) nosníkem s kolejnicí, vodorovným výztužným nosníkem, brzdícím ztužidlem a doplňkovými prvky – nárazníky, obslužnými (revizními) lávkami se zábradlím, výstupy na dráhu, příchytkami kolejnice, trolejovým vedením apod.

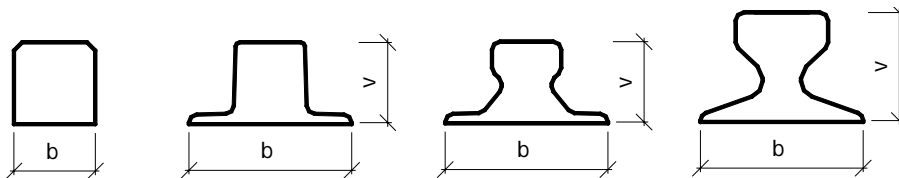
V předchozích kapitolách bylo pojednáno o hlavním svislém nosníku jeřábové dráhy (kapitola 4), vodorovném výztužném nosníku (kapitola 5) a brzdících ztužidlech (kapitola 6). S ohledem na možný rozsah tohoto modulu bude o dalších výše uvedených částech pojednáno pouze velmi stručně. Podrobnější informace o těchto konstrukčních prvcích byly uvedeny v modulu Uspořádání a konstrukční řešení průmyslových budov.

7.1 Kolejnice

Kolejnice jeřábové dráhy tvoří styčný prvek mezi jeřábem a nosníkem jeřábové dráhy. Kolejnice jsou bezprostředně namáhané jak tlaky kol, tak i vodorovnými podélnými a příčnými silami.

Rozměry kolejnic jeřábové dráhy se volí podle druhu jeřábu, přičemž je třeba zohlednit maximální kolový tlak, skupinu jeřábu a jeho jezdovou rychlost. Výrobce (dodavatel) jeřábu v technických podkladech k danému jeřábu obvykle předepisuje rozměrové požadavky na použitý typ kolejnice – její minimální šířku a výšku.

Lze použít jednoduché kolejnice čtvercového, resp. obdélníkového průřezu nebo speciální tvarované kolejnice typu JK a JKL. Nejčastěji navrhované typy jeřábových kolejnic jsou zachyceny na Obr. 7.1.



Obr. 7.1: Používané typy kolejnice (zleva obdélníková, JK, 2x JKL)

Typ kolejnice je nezbytné volit z hlediska jejího opotřebení pojezdy jeřábu a s tím související možností její výměny.

Velmi důležitý konstrukční detail tvoří připojení kolejnice k jeřábovému nosníku, neboť je třeba spojením bezpečně přenést podélné i příčné vodorovné síly. Jestliže průřez kolejnice zahrneme do celkového průřezu jeřábového nosníku při jeho návrhu, musí připojení kolejnice přenést taktéž smykové síly.

Kolejnice mohou být provedeny jako:

- Stykované, které jsou tvořeny vzájemně nespojenými dílci.
- Bezstykové, které jsou tvořeny dílci kolejnic svařenými do jednoho celku, odpovídajícímu délce pojezdové dráhy.

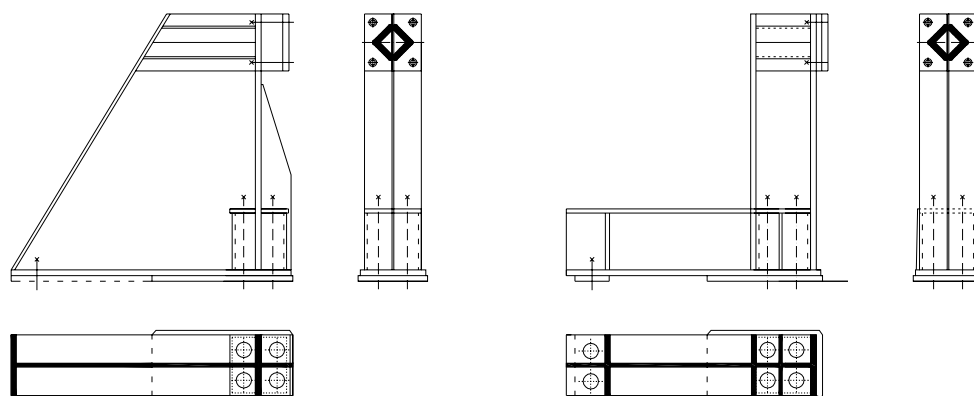
7.2 Nárazníky

Nárazníky jsou konstrukčními prvky, které fyzicky zabraňují jeřábům ve vyjetí z jeřábové dráhy. Nárazníky se navrhují tak, aby bezpečně zadržely jeřáb jedoucí 50% jmenovitou pojezdovou rychlostí se zavěšeným břemenem, odpovídajícím 80% jmenovité hmotnosti.

Nárazníky se připojují k hlavnímu nosníku jeřábové dráhy nejčastěji pomocí šroubových spojů, aby bylo možné poškozený nárazník jednoduše vyměnit.

Rozlišujeme nárazníky pevné a pružné:

- **Pevný nárazník** vykazuje vysokou ohybovou tuhost. Při nárazu jeřábu tak může dojít jak k poškození jeřábu, tak i vlastní jeřábové dráhy.
- **Pružný nárazník** je tvořen vodorovným nosníkem a svislým konzolovitě vyloženým prvkem s osazeným čelem, do kterého naráží jeřáb. Čelo nárazníku je tvořeno pryžovou podložkou s krycí ocelovou deskou. Při nárazu jeřábu dojde k plastickému přetvoření svislé části nárazníku (konzoly), jeřábový most i konstrukce jeřábové dráhy zůstávají nepoškozeny. Některé jeřábové mosty bývají osazeny pružnými nárazníky, tudíž není nutné koncové nárazníky dráhy vybavovat pružnými deskami.



Obr. 7.2. Typizované nárazníky jeřábových drah: vlevo pevný, vpravo pružný

Pro mostové jeřáby, používané podle ČSN 27 0005 byla vytvořena řada typizovaných pevných i pružných nárazníků.

7.3 Lávky

Každý jeřáb by měl být přístupný (např. při poruše) v kterékoliv poloze na jeřábové dráze. Z tohoto důvodu obvykle navrhujeme po celé délce jeřábové dráhy alespoň u jedné větve průchozí obslužnou (revizní) lávku, u druhé větve revizní lávku v jednom (nejčastěji koncovém) poli dráhy, aby bylo možné provádět údržbu, opravy a revize jeřábu.

Pokud je obsluha jeřábu prováděna z řídicí kabiny na jeřábovém mostu, slouží jeřábové lávky taktéž pro přístup obsluhy do kabiny jeřábu. Lávka se zpravidla umísťuje na vodorovný výztužný nosník (plnostěnný nebo příhradový), pokud má dostatečnou šířku.

8 Závěr, studijní prameny

8.1 Shrnutí

Modul, který jste právě prostudovali, byl zaměřen konstrukci jeřábové dráhy v průmyslových objektech. Jelikož se jedná o problematiku značně obsáhlou, která výrazně přesahuje možnosti tohoto modulu, byl kladen důraz zejména na statickou stánku návrhu základních nosných prvků konstrukce jeřábové dráhy, a to svislého (hlavního) nosníku, vodorovného výztužného nosníku a brzdných ztužidel. Prakticky, krok po kroku, jste se seznámili s výpočtem zatěžovacích účinků od mostových jeřábů i s následným návrhem a posouzením výše uvedených základních nosných prvků. V kapitole 7 Kolejnice, nárazníky, lávky byl uveden stručný popis ostatních částí konstrukce jeřábové dráhy.



Komplexní obraz o daném problému, a to především konstrukčním provedením detailů, lze získat studiem doporučené literatury.

8.2 Kontrolní otázky

1. *Jaké rozeznáváme základní druhy jeřábů v průmyslových objektech?*
2. *Jaké rozlišujeme základní typy nosníků jeřábové dráhy?*
3. *Které jsou základní součásti konstrukce jeřábové dráhy?*
4. *Vysvětlete zatížení, která jsou vyvozována jeřáby a jak působí.*
5. *Která zatížení bychom dále zohledňovali při návrhu venkovní jeřábové dráhy?*
6. *Vysvětlete, odlišnosti návrhu hlavního svislého nosníku jeřábové dráhy se štíhlou stojinou (tzn. třídy 4).*
7. *Vysvětlete základní princip posouzení jeřábové dráhy na únavu.*
8. *Vysvětlete základní uspořádání ztužidel budovy s jeřábovou dráhou, jejich výhody a nevýhody.*
9. *Vysvětlete princip a varianty návrhu křížového brzděného ztužidla jeřábové dráhy.*
10. *Jaká rozlišujeme základní provedení připojení jeřábových kolejnic k hlavnímu jeřábovému nosníku?*



8.3 Studijní prameny

U níže vypsáných technických standardů (norem) nejsou podchyceny a vypsány změny a doplňky ani jejich platnost. Tyto informace je nutné vyhledat ve sborníku norem vydaném pro příslušný rok Českým normalizačním institutem, Biskupský dvůr 5, 110 02 Praha 1.



8.3.1 Seznam použité literatury



- [1] ČSN 73 0035 *Zatížení stavebních konstrukcí*. Praha: ÚNM, 1988
- [2] ČSN 73 1401 *Navrhování ocelových konstrukcí*. Praha: ČSNI, 1998
- [3] ČSN 73 5130 *Jeřábové dráhy*. Praha: ČSNI, 1994
- [4] ČSN 27 0140 *Jeřáby a zdvihadla, část 1 až 6*. Praha: ČSNI, 1986
- [5] ČSN 27 0103 *Navrhování ocelových konstrukcí jeřábů*. Praha: Vydavatelství norem, 1989
- [6] ČSN 27 0200 *Elektrické mostové jeřáby nosnosti 5 - 50 t*. Praha: ÚNM, 1978
- [7] *ABUS Jeřábové systémy, výrobní program*. Brno: ITECO s.r.o
- [8] Melcher, J., Straka, B. *Kovové konstrukce. Konstrukce průmyslových budov*. Praha: SNTL. 1985
- [9] Ferjenčík, P., Kalousek, V. *Výberový předmět 2, Vybrané stavební z kovo-
vých konstrukcí II, Žeriavové dráhy*. Bratislava: SVŠT, 1986

8.3.2 Seznam doplňkové studijní literatury

- [10] Melcher, J., Straka, B. *Kovové konstrukce. Konstrukce průmyslových budov*. Praha: SNTL. 1985
- [11] Ferjenčík, P., Schun, J., Melcher, J., Voříšek, V., Chladný, E. *Navrhování ocelových konstrukcí. 1. a 2. část*. Bratislava: Alfa, Praha: SNTL. 1986
- [12] Marek, P. a kol. *Kovové konstrukce pozemních staveb*. Praha: SNTL. Bratislava: Alfa, 1985