



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

JEŘÁB RADIÁLNÍ PORTÁLOVÝ

RADIAL GANTRY CRANE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MILAN DVOŘÁK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

DOC. ING. JIŘÍ MALÁŠEK, PH.D.

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Milan Dvořák

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Jeřáb radiální portálový

v anglickém jazyce:

Radial gantry crane

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Navrhněte speciální konstrukci radiálního portálového jeřábu včetně důležitých výpočtů dle zadaných parametrů.

Nosnost: 1000 kg

Délka vyložení: 10000 mm

Výška zdvihu: 3100 mm

Dosah: 360°

Navrhněte alternativy pojízdné stojiny.

Cíle bakalářské práce:

Vypracovat technickou zprávu včetně důležitých výpočtů.

Navrhnout alternativní konstrukce pojízdné stojiny jeřábu.

Nakreslit konstrukční výkres sestavy jeřábu dle zadaných parametrů, vhodné detailní výkresy.

Seznam odborné literatury:

1. Shigley J.E., Mischke Ch.R., Budynas R.G.: Konstruování strojních součástí. 2010. ISBN 978-80-214-2629-0.
2. Gajdůšek, J., Škopán, M.: Teorie dopravních a manipulačních zařízení.
3. Remta, F., Kupka, L., Dražan, F.: Jeřáby.
4. Cvekl, Z., Dražan, F.: Teoretické základy transportních zařízení.
5. Jančík, L.: Části a mechanismy strojů, ČVUT Praha, 2004.
6. Klimeš P.: Části a mechanismy strojů I, II, VUT Brno 2003.

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Jiří Malášek, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 30.10.2012

L.S.

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty



ABSTRAKT

Cílem tohoto bakalářského projektu je vypracovat konstrukční návrh speciální konstrukce radiálního (tj. otočného) portálového jeřábu (dále jen JRP) dle zadaných parametrů, který bude používán v uzavřeném pracovním prostředí k manipulaci s různým materiálem. Konstrukční řešení bude provedeno podle základních zadaných parametrů, které jak geometricky, tak staticky deklarují pracovní prostor v průmyslové hale či dílně a následnou manipulaci pracovníka s jeřábovou konstrukcí při provozu jeřábu. Jako každý konstrukční návrh, tak i konstrukční návrh JRP vychází z pevnostních (statických) návrhových výpočtů, ze kterých vyplývá volba vhodného materiálu, což deklaruje náklady na výrobu a provoz radiálního portálového jeřábu. Zvláštní pozornost bude věnována alternativním konstrukcím pojízdných stojin, jejichž základní parametry jako jsou tuhost, hmotnost a tvar rozhodují o velikosti třecích sil mezi koly pojízdných stojin a podlahou pracovního prostoru, z čehož plyne namáhání celé konstrukce JRP při provozu v zatíženém stavu.

KLÍČOVÁ SLOVA

radiální portálový jeřáb, pojízdné stojiny, tuhost, zatížený stav

ABSTRACT

The goal of this Bachelor's Project is to develop a structural design of special construction of Radial Gantry Crane by entered parameters, it will be used in enclosed space to manipulation with various materials. The structural design will be done by basic set parameters, which as geometrically, so statically they declare workspace in industrial hall or industrial workshop and subsequent manipulation of worker with a construction crane during operation. As each design of machines, so and structural design of Radial Gantry Crane is based on the strenght design calculations, from which follows the choise of suitable material, which declares the cost of production and operation of Radial Gantry Crane. Special attention will be given to alternative designs mobile supports, whose basic parameters such as stiffness, weight and shape determine the size of the frictional forces between the wheels and the floor rails mobile workspace, implying stress of the whole structure Radial Gantry Crane when operating in loaded condition.

KEYWORDS

Radial Gantry Crane, mobile supports, stiffness, loaded condition



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

DVOŘÁK, M. *Jeřáb radiální portálový*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 48 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jiří Malášek, Ph.D.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Jiří Malášek, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 22. května 2013

.....

Milan Dvořák



PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval všem, kteří se jakkoliv podíleli na vzniku mé bakalářské práce a hlavní a největší dík patří samozřejmě mému vedoucímu bakalářské práce panu doc. Ing. Jiřímu Maláškoví, Ph.D., kterému děkuji za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.



OBSAH

| | |
|--|----|
| Úvod | 9 |
| 1 Radiální jeřáby..... | 10 |
| 1.1 Použití radiálních jeřábů | 10 |
| 2 Speciální konstrukce JRP-1000/10/3,1 | 11 |
| 2.1 Popis radiálního portálového jeřábu JRP-1000/10/3,1 | 11 |
| 2.1.1 Použití radiálního portálového jeřábu JRP-1000/10/3,1 | 11 |
| 2.2 Statický a pevnostní výpočet radiálního portálového jeřábu JRP-1000/10/3,1 | 12 |
| 2.2.1 Kladkostroj JRP..... | 13 |
| 2.2.2 Zařazení jeřábu podle čsn 27 0103 | 13 |
| 2.2.3 Hlavní vnější zatížení JRP | 14 |
| 2.2.4 Hlavní nosník JRP | 14 |
| 2.2.5 Otáčení JRP | 20 |
| 2.2.6 Sloup JRP ukotvený v betonovém základu | 21 |
| 2.2.7 Pojízdna stojina JRP | 24 |
| 2.2.8 Vzpěra..... | 29 |
| 2.2.9 Základová patka..... | 31 |
| 2.2.10 Alternativní konstrukce pojízdny stojiny JRP | 33 |
| 2.2.11 Zhodnocení obou typů pojízdny stojin | 35 |
| 2.3 Montážní postup radiálního portálového jeřábu JRP-1000/10/3,1 | 35 |
| Závěr..... | 37 |
| Seznam použitých zkratk a symbolů | 39 |
| Seznam příloh..... | 46 |



ÚVOD

V problematice konstrukce radiálních portálových jeřábů je jeden dosti tvrdý oříšek a ten spočívá v tom, jak zkonstruovat pojízdnou podporu jeřábu, aby třecí síly mezi pojízdnou stojinou a podlahou pracovního prostoru byly co nejmenší a zároveň aby byly splněny všechny ostatní požadavky kladené na jeřábovou konstrukci. V této práci bude uvedeno jedno z možných řešení konstrukce radiálního portálového jeřábu, dle zadaných parametrů jeřábu. Řešení bude v této práci popsáno pomocí statických a pevnostních výpočtů jednotlivých částí konstrukce jeřábu. A navíc, zde bude nastíněn návrh alternativní konstrukce pojízdné stojiny a příslušného pojezdu této stojiny.

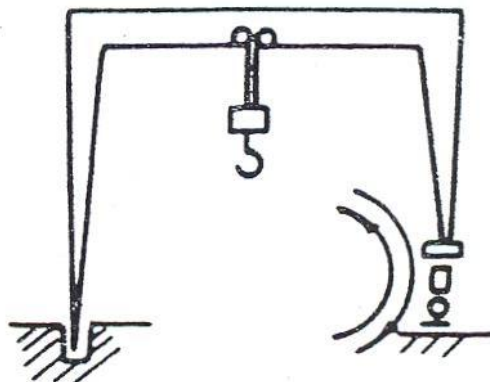


1 RADIÁLNÍ JEŘÁBY

Radiální jeřáby, stejně jako všechny jeřáby slouží pro svislou i vodorovnou manipulaci s břemenem, a tvoří speciální skupinu jeřábů, neboť jejich použití není až tak běžné jako je tomu u jiných typů jeřábů. Zvláštností těchto typů jeřábů je to, že jejich konstrukce má dvě podpory, přičemž jedna z nich je kolmá otočná a je to tzv. sloup portálu jeřábu, který bývá ukotven nejčastěji v železobetonovém základu, druhou podporou konstrukce je tzv. pojízdná stojina portálu, která bývá zpravidla opět kolmá k podlaze pracovního prostoru (viz Obr. 1). U jeřábů s velkým rozpětím (délkou výložného prostoru) pak právě tyto pojízdné stojiny představují dosti problematický prvek jeřábu. Hlavním problémem těchto jeřábů jsou právě třecí síly od kol pojízdné stojiny, proto nebývají konstrukce těchto jeřábů dimenzovány na velké nosnosti. Tvary a typy pojezdu stojiny jsou různé, ovšem nejčastěji bývá pojezd stojiny realizován, buď pomocí klasických kol na betonové podlaze, anebo pomocí kol na kolejnici pracovního prostoru. Na druhou stranu velkou výhodou těchto jeřábů je velké rozpětí a dosah v pracovním prostoru jeřábu a vzhledem k jejich menší nosnosti i snadná ruční manipulace, neboť právě ruční pohon radiálních jeřábů je v praxi nejčastější.

1.1 POUŽITÍ RADIÁLNÍCH JEŘÁBŮ

Tyto jeřáby se nejčastěji používají na výrobních pracovištích k manipulaci s různým hutním materiálem nebo výrobky. Jsou také vhodné do menších skladových hal či do průmyslových hal se stavebním materiálem. Tyto typy jeřábů můžeme nalézt i na speciálních pracovištích jako jsou například jaderné elektrárny nebo skladové prostory dopravních lodí.



Obr. 1 – Schéma radiálního jeřábu



2 SPECIÁLNÍ KONSTRUKCE JRP-1000/10/3,1

Návrh speciální konstrukce radiálního portálového jeřábu bude proveden podle základních zadaných parametrů, které konstrukce musí splňovat v souladu s příslušnými normami. Označení celé konstrukce radiálního portálového jeřábu je JRP-1000/10/3,1 (voleno autorem BP).

2.1 POPIS RADIÁLNÍHO PORTÁLOVÉHO JEŘÁBU JRP-1000/10/3,1

Konstrukce radiálního portálového jeřábu je navržena pro manipulaci s materiálem a výrobky na zámečnické dílně do hmotnosti 1000 kg. Hlavním prvkem jeřábu je nosník jedním koncem umístěn otočně na sloupu, který je usazen na vybudovaném železo-betonovém základu, buď v rohu dílny (dosah 90°) nebo v prostoru dílny (dosah 360°). Druhý konec jeřábu tvoří stojina portálu jeřábu s koly pro pojezd při otáčení jeřábové konstrukce kolem vertikální osy sloupu. Pojízdna stojina s koly je připevněna k nosníku jeřábu pomocí vzpěr. Provedení stojiny a vzpěr umožňuje pojezd kladkostroje s břemenem pod portálovou stojinu.

Sloup portálu tvoří základový plech s trubkou sloupu. V horní části sloupu je uložena točna. Na točnu sloupu je připevněn nosník jeřábu svorníkem s distanční trubkou. Stojina portálu je připevněna k nosníku svorníky. Vzpěry jsou připevněny na stojinu portálu a na nosník pomocí čepu do bočních ok. Do spodních třmenů stojiny portálu jsou namontovaná kyvná vahadla s koly o nosnosti 750 kg. Kola jsou na vahadlech uložena tak, aby jejich osy otáčení směřovaly do osy sloupu (středu otáčení).

Bok nosníku je vyztužen profily s držáky a ztužidly. Jeden profil bočního vyztužení tvoří profil C, který slouží jako kolejnice pro unášecí vozíky smyček vlečeného přívodního kabelu. Na spodní části profilu nosníku je nasunuto pojezdové ústrojí kladkostroje. Pojezdové ústrojí je na obou koncích nosníku zajištěno proti vyjetí dorazy. Na pojezdové ústrojí je připevněn elektrický řetězový kladkostroj, který je připojen vlečným kabelem na ovládací napětí 3 x 400 V. Kladkostroj je vybaven ovládacím panelem, který umožňuje rychlé či pomalé zvedání a ovládá pojezd kladkostroje po nosníku.

Natáčení portálového jeřábu s břemenem je ruční a pojezd celé zatížené konstrukce je realizován po rovné betonové podlaze.

Celá konstrukce radiálního portálového jeřábu je navržena s minimální bezpečností $k_n = 2$. Jako materiál hlavních prvků konstrukce (nosník, sloup, vzpěra, stojina) je volena konstrukční ocel S355J263 ČSN 11523, která je zejména vhodná pro dílenské jeřáby v kryté hale.

2.1.1 POUŽITÍ RADIÁLNÍHO PORTÁLOVÉHO JEŘÁBU JRP-1000/10/3,1

Radiální portálový jeřáb slouží k manipulaci s materiálem a výrobky o hmotnosti do 1000 kg při výrobě. Otočné provedení splňuje požadavky na pokrytí pracovního prostoru. Tento typ jeřábu lze použít i do jakéhokoliv skladového prostoru (např. sklad s hutním materiálem, atd.) nebo do pracovních prostor jaderné elektrárny (např. manipulace s vyhořelým palivem, atd.) dle parametrů jeřábu.



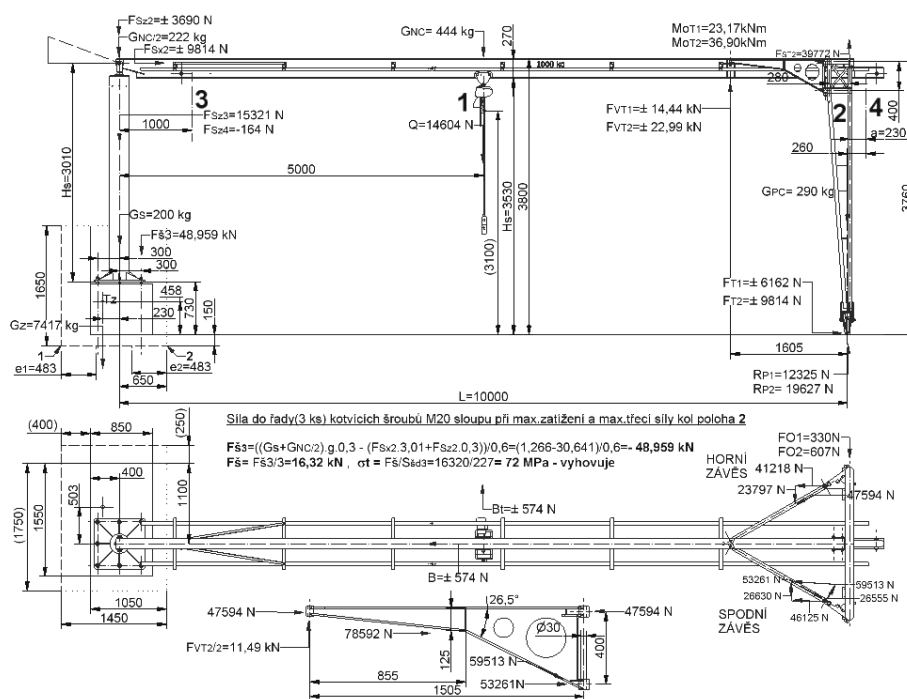
2.2 STATICKÝ A PEVNOSTNÍ VÝPOČET RADIÁLNÍHO PORTÁLOVÉHO JEŘÁBU JRP-1000/10/3,1

Zadané parametry JRP:

- Nosnost $m = 1000 \text{ kg}$
- Délka nosníku $L = 10000 \text{ mm}$
- Zdvih $h_s = 3100 \text{ mm}$
- Výška nosníku $H_s = 3530 \text{ mm}$
- Otáčení jeřábu ruční

Silové a geometrické poměry na konstrukci JRP (viz Obr. 1):

Na níže uvedeném schématu sestavy ve dvou pohledech je vyobrazena základní geometrie a silové zatížení působící na konstrukci jeřábu zatíženého břemenem, jehož poloha je na schématu popsána čísly **1**, **2**, **3**, **4**. Právě v těchto polohách břemene jsou pak prováděny důležité pevnostní výpočty (návrhové a kontrolní), kde je vždy odkázáno na danou polohu břemene. Hodnoty silových a momentových zatížení na schématu jsou vypočteny ze statické rovnováhy konstrukce zatížené břemenem a vlastní hmotností. Jednotlivé vnější i reakční síly a momenty jsou ve schématu umístěny a symbolicky označeny v bodech jejich působiště a mají dle volby příslušné indexování a vypočtenou hodnotu (viz dílčí výpočty jednotlivých částí jeřábové konstrukce). Na schématu nesmí samozřejmě chybět i veškeré geometrické hodnoty tj. celkové rozměry (v mm) v sestavě potřebné pro statický výpočet konstrukce jeřábu. Toto schéma je umístěno na začátku výpočtu právě proto, že na ně bude během celého výpočtu odkazováno.



Obr. 2 – Silové a geometrické poměry na konstrukci JRP



2.2.1 Kladkostroj JRP

Vzhledem k pracovním možnostem a zadaným parametrům JRP je volen dle katalogu německé firmy LIFTKET elektrický řetězový kladkostroj LIFTKET STAR 030/52 – 1000 kg, který je vybaven elektrickým pojezdem EFN 1000.

Základní parametry kladkostroje s pojezdem:

- Vlastní hmotnost $m_k = 65 \text{ kg}$
- Řetěz $5,2 \times 15 \text{ mm}$
- Výkon $P_k = 0,7 \text{ kW}$
- Rychlost zdvihu $v_h = (1,25 \div 5) \text{ m} * \text{min}^{-1}$
- Rychlost pojezdu $v_p = 16 \text{ m} * \text{min}^{-1}$
- Krytí $IP55, 3 \times 400 \text{ V}, 6 \text{ A}$



Obr. 3 – Model kladkostroje LIFTKET STAR 030/52 – 1000 kg

2.2.2 ZAŘAZENÍ JEŘÁBU PODLE ČSN 27 0103

Zařazení jeřábu dle příslušné normy se provede na základě těchto kritérií (tříd):

- Zdvihová třída H2
- Druh provozu D2
- Provozní skupina J3
- Spektrum napětí S1

Na základě tohoto zařazení jsou určeni jednotliví součinitelé potřební pro výpočet hlavního zatížení konstrukce JRP.

1. Součinitelé statického zatížení: $\gamma_{lo} = 1,2$...souč. zatížení od břemena
 $\gamma_g = 1,1$...souč. zatížení od vl. hmotnosti
 $\gamma_i = 1,1$...souč. setrvačných sil
2. Součinitelé dynamického zatížení: $\delta_t = 1,1$...dynamický součinitel otáčení

$$\delta_h = 1,15 + 0,15 * \left(\frac{v_h}{60} * k_n \right) = 1,15 + 0,15 * \left(\frac{5}{60} * 2 \right) = 1,175 \quad (1)$$

...dynamický součinitel zdvihový je dán dle výše uvedeného vztahu.



2.2.3 HLAVNÍ VNĚJŠÍ ZATÍŽENÍ JRP

Hlavní vnější zatížení celé konstrukce JRP je dáno maximální hmotností břemene, vlastní hmotností a pojezdem celého kladkostroje. Zatížení konstrukce jeřábu jsou tedy svislá a vodorovná.

a) Svislá zatížení (od max. hmotnosti břemena a vlastní hmotnosti kladkostroje):

- Normová (teoretická) síla se určí dle vztahu:

$$Q_n = g(m + m_k) = 9,81(1000 + 65) = 10448 \text{ N}, \quad (2)$$

- Provozní (skutečná) síla se určí dle vztahu:

$$Q = g(m * \gamma_{lo} * \delta_h + m_k * \gamma_g * \delta_t) = 9,81(1000 * 1,2 * 1,175 + 65 * 1,1 * 1,1) = 14604 \text{ N}. \quad (3)$$

b) Vodorovná zatížení (od pojezdu zatíženého kladkostroje):

- Příčná zatížení vyplývá ze vztahů:

$$B_{tn} = 0,05 * Q_n = 0,05 * 10448 = 522 \text{ N}, \quad (4)$$

$$B_t = \pm B_{tn} * \gamma_g = \pm 522 * 1,1 = \pm 574 \text{ N}, \quad (5)$$

- Podélná zatížení vyplývá ze vztahů:

$$B_{nn} = 0,1 * \frac{Q_n}{2} = 0,1 * \frac{10448}{2} = 522 \text{ N}, \quad (6)$$

$$B_n = \pm B_{nn} * \gamma_g = \pm 522 * 1,1 = \pm 574 \text{ N}. \quad (7)$$

2.2.4 HLAVNÍ NOSNÍK JRP

Hlavní nosník (viz. Obr. 4) je jednou z nejdůležitějších částí jeřábu a působí na něj nejvíce typů zatížení, proto musí být navržen dostatečně tuhý. Taktéž musí být kontrolován z mnoha hledisek. Nosník je uložen z jedné strany rotačně v točně sloupu portálu a z druhé strany pevně spojen s pojízdou stojinou a zajištěn vzpěrami.

NÁVRHOVÝ VÝPOČET

Znamé hodnoty: $k_n = 2$; $Q = 14604 \text{ N}$; $L = 10000 \text{ mm}$; volen materiál S355J263, ČSN 11523 => $R_{emin} = 333 \text{ MPa}$.



Maximální ohybový moment (břemeno v $L/2$ tj. v bodě 1, viz Obr. 2) se určí dle vztahu:

$$M_Q = \frac{Q}{2} * \frac{L}{2} = \frac{14604 * 10000}{4} = 36510000 \text{ Nmm} = 36,51 \text{ kNm}. \quad (8)$$

Dovolené napětí v ohybu (návrh) dle vztahu [9], minimální modul průřezu v ohybu [10]:

$$\sigma_D = \frac{R_{emin}}{k_n} = \frac{333}{2} = 167 \text{ MPa}, \quad (9)$$

kde R_{emin} je minimální mez kluzu pro materiál 11523.

$$\sigma_D = \frac{M_Q}{W_o} \Rightarrow W_o = \frac{M_Q}{\sigma_D} = \frac{36510000}{167} = 219000 \text{ mm}^3 = 219 \text{ cm}^3 \Rightarrow \quad (10)$$

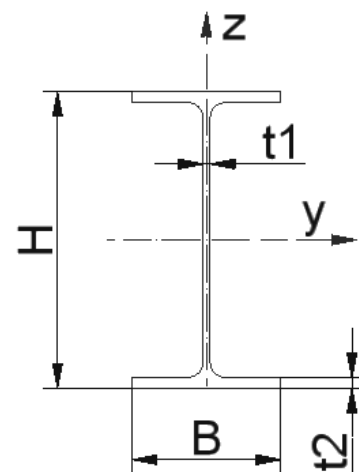
dle ČSN 42 5553 volen s ohledem na dynamické a statické kombinované zatížení celé konstrukce jeřábu a zatížení vlastní hmotností nosníku a kladkostroje **nosník typu IPE 270**.

STATICKÝ A PEVNOSTNÍ VÝPOČET

Statické a pevnostní výpočty jsou provedeny na základě známých vztahů napjatosti a deformace vždy ze známých parametrů.

Základní průřezové charakteristiky IPE 270 ČSN 42 5553 – 11523:

| | | |
|-------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| $H = 270 \text{ mm}$ | $J_y = 57,9 * 10^6 \text{ mm}^4$ | $q_I = 36,1 \text{ kgm}^{-1}$. |
| $B = 135 \text{ mm}$ | $J_z = 4,2 * 10^6 \text{ mm}^4$ | |
| $t_1 = 6,6 \text{ mm}$ | $J_T = 0,141 * 10^6 \text{ mm}^4$ | |
| $t_2 = 10,2 \text{ mm}$ | $W_y = 429 * 10^3 \text{ mm}^3$ | |
| $R = 15 \text{ mm}$ | $W_z = 62,2 * 10^3 \text{ mm}^3$ | |



Obr. 4.1 – Profil IPE



Obr. 4 – Model hlavního nosníku



Dovolený průhyb nosníku (břemeno v $L/2$ tj. v bodě 1, viz Obr. 2) dle vztahu:

Znamé hodnoty: $Q = 14604 \text{ N}$; $L = 10000 \text{ mm}$; $E = 207000 \text{ MPa}$;
 $J_y = 57,9 * 10^6 \text{ mm}^4$.

$$z_D = \frac{F * L^3}{48 * E * J} = \frac{Q * L^3}{48 * E * J_y} = \frac{14604 * 10000^3}{48 * 207000 * 57,9 * 10^6} = 25,4 \text{ mm}, \quad (11)$$

kde E je modul pružnosti v tahu pro ocel a J_y je kvadratický moment profilu IPE 270.

Zatížení hlavního nosníku:

a) Lokální ohyb – pojezd

Znamé hodnoty: $Q = 14604 \text{ N}$; $B = 135 \text{ mm}$; $t_1 = 6,6 \text{ mm}$; $R = 15 \text{ mm}$;
 $t_2 = 10,2 \text{ mm}$.

$$b_1 = \frac{B}{2} - \frac{t_1}{2} = \frac{135}{2} - \frac{6,6}{2} = 64,2 \text{ mm}, \quad (12)$$

$$\frac{R}{b_1} = \frac{15}{64,2} = 0,234 \Rightarrow \alpha_{x2} = 1,7173, \quad (13)$$

kde b_1 je šířka poloviny spodní pásnice nosníku, B je šířka profilu IPE 270, t_1 je tloušťka střední pásnice profilu IPE 270, R je poloměr zaoblení na profilu IPE 270 a α_{x2} je součinitel koncentrace napětí.

Napětí od lokálního ohybu vyplývá ze vztahu:

$$\sigma_{loc} = \alpha_{x2} * \frac{Q}{4 * t_2^2} = 1,7173 * \frac{14604}{4 * 10,2^2} = 60,3 \text{ MPa}, \quad (14)$$

kde t_2 je tloušťka spodní pásnice profilu IPE 270.

b) Zatížení nosníku vlastní hmotností se určí ze vztahu:

Znamé hodnoty: $q_I = 36,1 \text{ kgm}^{-1}$; $g = 9,81 \text{ ms}^{-2}$; $\gamma_g = 1,1$; $\delta_t = 1,1$.

$$q_N = q_I * g * \gamma_g * \delta_t = 36,1 * 9,81 * 1,1 * 1,1 = 429 \text{ Nm}^{-1}, \quad (15)$$

kde q_I je hmotnost profilu IPE 270 na metr délky a g je tíhové zrychlení.

c) Ohybový moment na nosníku od vlastní hmotnosti se určí ze vztahu:

Znamé hodnoty: $q_N = 429 \text{ Nm}^{-1}$; $L = 10000 \text{ mm}$.



$$M_{qN} = q_N * \frac{L^2}{8} = 429 * \frac{10^2}{8} = 5362 \text{ Nm.} \quad (16)$$

- d) Ohybový moment na nosníku od zatíženého kladkostroje (břemeno v $L/2$ tj. v bodě 1, viz Obr. 2) se určí ze vztahu:

Známé hodnoty: $Q = 14604 \text{ N}$; $L = 10000 \text{ mm}$.

$$M_Q = \frac{Q}{2} * \frac{L}{2} = \frac{14604 * 10000}{4} = 36510000 \text{ Nmm} = 36,51 \text{ kNm.} \quad (17)$$

- e) Ohybový moment na nosníku od příčné síly ve vodorovné rovině (břemeno v $L/2$ tj. v bodě 1, viz Obr. 2) vyplývá ze vztahu:

Známé hodnoty: $B_t = \pm 574 \text{ N}$; $L = 10000 \text{ mm}$.

$$M_z = \frac{B_t}{2} * \frac{L}{2} = \frac{574}{2} * \frac{10}{2} = 1435 \text{ Nm.} \quad (18)$$

- f) Boční třecí síla kol pojízdné stojiny (břemeno v $L/2$ tj. v bodě 1, viz Obr. 2)

Známé hodnoty: $Q = 14604 \text{ N}$; $G_{NC} = 444 \text{ kg}$; $G_{PC} = 290 \text{ kg}$; $g = 9,81 \text{ ms}^{-2}$; součinitel tření kol na podlaze (za pohybu) $\mu = 0,5$.

Reakční síla v kolech stojiny se určí ze vztahu:

$$R_{P1} = g \left(\frac{G_{NC}}{2} + G_{PC} \right) + \frac{Q}{2} = 9,81 \left(\frac{444}{2} + 290 \right) + \frac{14604}{2} = 12325 \text{ N,} \quad (19)$$

kde G_{NC} je hmotnost hlavního nosníku a G_{PC} je hmotnost pojízdné stojiny jeřábu.

Boční třecí síla kol stojiny podle vztahu:

$$F_{T1} = R_{P1} * \mu = 12325 * 0,5 = 6162 \text{ N.} \quad (20)$$

- g) Boční třecí síla kol pojízdné stojiny (břemeno v L tj. v bodě 2, viz Obr. 2)

Známé hodnoty: $Q = 14604 \text{ N}$; $G_{NC} = 444 \text{ kg}$; $G_{PC} = 290 \text{ kg}$; $g = 9,81 \text{ ms}^{-2}$; součinitel tření kol na podlaze (za pohybu) $\mu = 0,5$.

Reakční síla v kolech stojiny se určí ze vztahu:

$$R_{P2} = g \left(\frac{G_{NC}}{2} + G_{PC} \right) + Q = 9,81 \left(\frac{444}{2} + 290 \right) + 14604 = 19627 \text{ N,} \quad (21)$$

Boční třecí síla kol stojiny podle vztahu:



$$F_{T2} = R_{P2} * \mu = 19627 * 0,5 = 9814 \text{ N.} \quad (22)$$

h) Ohybový moment na nosníku od boční třecí síly kol pojízdné stojiny (břemeno v L/2 tj. v bodě 1, viz Obr. 2) se určí podle vztahu:

Znamé hodnoty: $F_{T1} = 6162 \text{ N}$; $h = 3760 \text{ mm}$.

$$M_{OT1} = F_{T1} * h = 6162 * 3,76 = 23170 \text{ Nm,} \quad (23)$$

kde h je výška pojízdné stojiny.

Napětí v nosníku (spodní tažná vlákna) se určí podle vztahu:

Znamé hodnoty: $M_Q = 36510 \text{ Nm}$; $M_{qN} = 5362 \text{ Nm}$; $M_{OT1} = 23170 \text{ Nm}$;
 $M_z = 1435 \text{ Nm}$; $\sigma_{loc} = 60,3 \text{ MPa}$; $\varepsilon = 0,75$; $W_y = 429 * 10^3 \text{ mm}^3$; $W_z = 62,2 * 10^3 \text{ mm}^3$; $R_{emin} = 333 \text{ MPa}$.

$$\sigma_S = \frac{M_Q + M_{qN} + \frac{M_{OT1}}{2}}{W_y} + \frac{M_z}{W_z} + \varepsilon * \sigma_{loc} = \frac{36510 + 5362 + 11585}{429} + \frac{1435}{62,2} + 0,75 * 60,3 = 192,9 \text{ MPa} , \quad (24)$$

kde W_y , W_z jsou moduly průřezu v ohybu IPE 270 a ε je poměrné přetvoření.

Kontrola bezpečnosti vzhledem k MSP se provede podle vztahu:

$$k_{k1} = \frac{R_{emin}}{\sigma_S} = \frac{333}{192,9} = 1,73. \quad (25)$$

Klopení nosníku podle ČSN 73 1401

Znamé hodnoty: $L = 10000 \text{ mm}$; $H = 270 \text{ mm}$; $t_2 = 10,2 \text{ mm}$; $\kappa_M = 0,86$;
 $\gamma = 0,3$; $J_y = 57,9 * 10^6 \text{ mm}^4$; $J_z = 4,2 * 10^6 \text{ mm}^4$; $J_T = 0,141 * 10^6 \text{ mm}^4$.

Kritická štíhlost prutu λ se určí podle vztahu [28]:

$$z_1 = \frac{H}{2} - \frac{t_2}{2} = \frac{270}{2} - \frac{10,2}{2} = 129,9 \text{ mm,} \quad (26)$$

$$i_{z1} = \sqrt{\frac{J_z}{J_y} * z_1^2} = \sqrt{\frac{4,2}{57,9} * 129,9^2} = 35 \text{ mm,} \quad (27)$$

kde z_1 je vzdálenost těžiště tlačené pásnice od těžiště průřezu IPE 270, H je výška profilu IPE 270, i_{z1} je poloměr setrvačnosti tlačeního pásu na hlavním nosníku a J_z, J_y jsou kvadratické momenty profilu IPE 270.



$$\lambda = \gamma * \frac{\kappa_M * L}{i_{z1}} = 0,3 * \frac{0,86 * 10000}{35} = 73,71 \Rightarrow \varphi_{lab} = 0,90, \quad (28)$$

kde γ je součinitel štíhlosti při klopení a κ_M je součinitel vzpěrné délky při klopení.

Parametr kroucení α_t se určí podle vztahu [30]:

$$h_0 = H - t_2 = 270 - 10,2 = 259,8 \text{ mm}, \quad (29)$$

kde h_0 je teoretická výška průřezu,

$$\alpha_t = 0,62 * \frac{L}{h_0} * \sqrt{\frac{J_T}{J_z}} = 0,62 * \frac{10000}{259,8} * \sqrt{\frac{0,141}{4,2}} = 4,37. \quad (30)$$

Zabezpečení tlačného pásu nosníku proti vybočení z roviny ohybu bočními profily (výztuhami).

Napětí v nosníku (horní tlačná vlákna) se určí podle vztahu:

Znamé hodnoty: $M_Q = 36510 \text{ Nm}$; $M_{qN} = 5362 \text{ Nm}$; $M_{OT1} = 23170 \text{ Nm}$;
 $M_z = 1435 \text{ Nm}$; $W_y = 429 * 10^3 \text{ mm}^3$; $W_z = 62,2 * 10^3 \text{ mm}^3$; $R_{emin} = 333 \text{ MPa}$;
 $\varphi_{lab} = 0,90$.

$$\sigma_H = \frac{M_Q + M_{qN} + \frac{M_{OT1}}{2}}{W_y * \varphi_{lab}} + \frac{M_z}{W_z} = \frac{36510 + 5362 + 11585}{429 * 0,90} + \frac{1435}{62,2} = 161,5 \text{ MPa}. \quad (31)$$

Kontrola bezpečnosti vzhledem k MSP se provede podle vztahu:

$$k_{k2} = \frac{R_{emin}}{\sigma_H} = \frac{333}{161,5} = 2,06. \quad (32)$$

Převislý konec nosníku (břemeno v bodě 4, viz Obr. 2)

Nosník má převislý konec, který je celou svojí délkou za pojízdnou stojinou z důvodu možnosti pohybu kladkostroje i pod pojízdnou stojinu.

Znamé hodnoty: $Q = 14604 \text{ N}$; $a = 230 \text{ mm}$; *mat. ČSN 11523* ; $W_{ya} = 98 * 10^3 \text{ mm}^3$.

Ohybový moment na převislém konci nosníku se určí podle vztahu:

$$M_a = Q * a = 14604 * 0,230 = 3359 \text{ Nm}, \quad (33)$$

kde a je délka převislého konce nosníku.

Napětí v ohybu převislého konce nosníku se určí podle vztahu:



$$\sigma_a = \frac{M_a}{W_{ya}} = \frac{3359}{98} = 34,3 \text{ MPa}, \quad (34)$$

kde W_{ya} je modul průřezu v ohybu profilu převislého konce nosníku.

Průhyb nosníku od nahodilého zatížení v L/2 a ohybového momentu boční třecí síly kol stojiny v bodě 1 (viz Obr. 2) se určí podle vztahu:

Znamé hodnoty: $Q_n = 10448 \text{ N}$; $M_{OT1} = 23170 \text{ Nm}$; $L = 10000 \text{ mm}$; $E = 207000 \text{ MPa}$; $J_y = 57,9 * 10^6 \text{ mm}^4$.

$$z_{1max} = \frac{Q_n * L^3}{48 * E * J_y} + \frac{3 * M_{OT1} * L^2}{48 * E * J_y} = \frac{10448 * 10000^3 + 23170 * 10000^2}{48 * 207000 * 57,9 * 10^6} = 30,2 \text{ mm}. \quad (35)$$

2.2.5 OTÁČENÍ JRP

Otáčení jeřábu jako celku je velice problematické v zatíženém stavu, neboť třecí síly mezi koly pojízdné stojiny a podlahou jsou dosti velké. Tyto třecí síly zachytává reakční síla ve sloupu portálu a dochází tak k usmýkání kol pojízdné stojiny.

POJEZDOVÉ KOLO JRP

Jako pojezdová kola jeřábu byla zvolena 4 těžkotonážní pevná kola ZPK 250/FH s plastovými obručkami pro vysoké zatížení vnějšího průměru 250 mm a nosností 1000 kg.

VALIVÝ ODPOR KOL PORTÁLU PŘI OTÁČENÍ (BŘEMENO V L/2 TJ. V BODĚ 1, VIZ OBR. 2)

Znamé hodnoty: $R_{p1} = 12325 \text{ N}$; rameno valivého odporu (pneumatika-beton) $e = 2 \text{ mm}$; poloměr kola $r_k = 125 \text{ mm}$; $G_{NC} = 444 \text{ kg}$; $G_{PC} = 290 \text{ kg}$; $m_k = 65 \text{ kg}$; $m = 1000 \text{ kg}$; předpokládané tečné zrychlení $a_{pt} = 0,2 \text{ ms}^{-2}$.

Valivý moment se určí ze vztahu:

$$M_{OV1} = R_{p1} * e = 12325 * 2 = 24650 \text{ Nmm}, \quad (36)$$

Valivá síla vyplývá ze vztahu:

$$F_{V1} = \frac{M_{OV1}}{r_k} = \frac{24650}{125} = 197,2 \text{ N}, \quad (37)$$

Hmotnost konstrukce na 1 nohu stojiny m_{p1} se určí ze vztahu:

$$m_{p1} = [0,25(G_{NC} + m + m_k) + G_{PC}] = [0,25(444 + 1000 + 65) + 290] = 667,25 \text{ kg}, \quad (38)$$

Síla ze zrychlení portálu při rozjezdu a zastavování při otáčení vyplývá ze vztahu:

$$F_{S1} = m_{p1} * a_{pt} = 667,25 * 0,2 = 133 \text{ N}, \quad (39)$$



Síla potřebná pro otáčení portálu (síla od pracovníka působící do nohy stojiny):

$$F_{O1} = F_{V1} + F_{S1} = 197 + 133 = 330 \text{ N.} \quad (40)$$

VALIVÝ ODPOR KOL PORTÁLU PŘI OTÁČENÍ (BŘEMENO V L TJ. V BODĚ 2, VIZ OBR. 2)

Znamé hodnoty: $R_{P2} = 19627 \text{ N}$; rameno valivého odporu (pneumatika-beton) $e = 2 \text{ mm}$; poloměr kola $r_k = 125 \text{ mm}$; $G_{NC} = 444 \text{ kg}$; $G_{PC} = 290 \text{ kg}$; $m_k = 65 \text{ kg}$; $m = 1000 \text{ kg}$; $g = 9,81 \text{ ms}^{-2}$; předpokládané tečné zrychlení $a_{Pt} = 0,2 \text{ ms}^{-2}$.

Valivý moment se určí ze vztahu:

$$M_{OV2} = R_{P2} * e = 19627 * 2 = 39254 \text{ Nmm}, \quad (41)$$

Valivá síla vyplývá ze vztahu:

$$F_{V2} = \frac{M_{OV1}}{r_k} = \frac{39254}{125} = 314 \text{ N}, \quad (42)$$

Hmotnost konstrukce na 1 nohu stojiny m_{P2} :

$$m_{P2} = m + m_k + G_{PC} + 0,25 * G_{NC} = 1000 + 65 + 290 + 0,25 * 444 = 1466 \text{ kg}, \quad (43)$$

Síla ze zrychlení portálu při rozjezdu a zastavování při otáčení vyplývá ze vztahu:

$$F_{S2} = m_{P2} * a_{Pt} = 1466 * 0,2 = 293 \text{ N}, \quad (44)$$

Síla potřebná pro otáčení portálu (síla od pracovníka působící do nohy stojiny):

$$F_{O2} = F_{V2} + F_{S2} = 314 + 293 = 607 \text{ N.} \quad (45)$$

ZHODNOCENÍ OTÁČENÍ PORTÁLU JEŘÁBU

Otáčení portálu jeřábu má pohon ruční. Valivé odpory (valivé síly) kol pojízdné stojiny jeřábu jsou menší než vodorovná příčná síla $B_t = 574 \text{ N}$. Protože případné navýšení příčné síly z tečného zrychlení je malé, neovlivní podstatným způsobem celkovou příčnou sílu.

2.2.6 SLOUP JRP UKOTVENÝ V BETONOVÉM ZÁKLADU

Sloup jeřábu slouží jako podpora pro uložení točny s ložisky a tudíž i celé konstrukce jeřábu. Sloup je tak spolu s točnou hlavním prvkem otáčení portálu jeřábu. Plní taktéž velice důležitou roli tím, že reakční silou zachytává třecí síly mezi koly pojízdné stojiny a podlahou pracovního prostoru. Z toho vyplývá fakt, že je namáhán kombinovaně a to nejvíce na ohyb. Tudíž musí být jeho tuhost dostatečně velká a jeho pevné šroubové ukotvení v betonovém základu dimenzováno na velké ohybové momenty. Kvůli výraznému namáhání na ohyb pak musí být poloha žeber mezi základovým plechem a sloupem stejná jako je pozice kotvících



šroubů (viz Obr. 5). Sloup nemá smysl kontrolovat z hlediska vzpěru, protože ohyb bude výraznější než tlak na sloup.

NÁVRHOVÝ VÝPOČET

Předpokládá se maximální zatížení od boční třecí síly (břemeno v L tj. v bodě 2, viz Obr. 2).

Znamé hodnoty: $F_{Sx2} = F_{T2} = 9814 \text{ N}$; $B = 574 \text{ N}$; $H_{Sl} = 3010 \text{ mm}$; $k_n = 2$; volen materiál S355J263, ČSN 11523 $\Rightarrow R_{emin} = 333 \text{ MPa}$.

Maximální ohybový moment působící na sloup (břemeno v L tj. v bodě 2, viz Obr. 2):

$$M_S = (F_{Sx2} + B) * H_{Sl} = (9814 + 574) * 3,010 = 31268 \text{ Nm}, \quad (46)$$

kde F_{Sx2} je radiální složka síly působící na sloup a H_{Sl} je výška sloupu.

Dovolené napětí v ohybu (návrh) se určí ze vztahu [47], minimální vnější průměr z rovnice [48]:

$$\sigma_{Ds} = \frac{R_{emin}}{k_n} = \frac{333}{2} = 167 \text{ MPa}, \quad (47)$$

$$\frac{D}{d} = 1,05 \Rightarrow D = 1,05d; \sigma_{Ds} = \frac{M_S}{W_{Sn}} = \frac{32 * M_S}{\pi(D^3 - d^3)} \Rightarrow d = \sqrt[3]{\frac{32 * M_S}{\pi * \sigma_{Ds} * 0,157}} = \sqrt[3]{\frac{32 * 31268000}{\pi * 167 * 0,157}} = 230 \text{ mm}; D = 1,05d = 1,05 * 230 = 242 \text{ mm} \Rightarrow \quad (48)$$

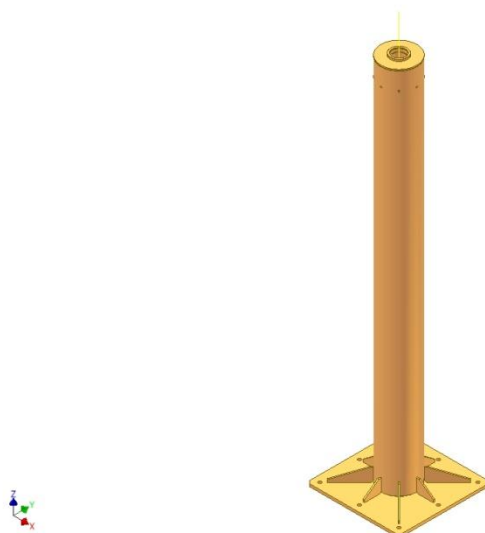
\Rightarrow dle ČSN 42 5715 volena trubka sloupu **TR Ø 273 x 6,3**.

STATICKÝ A PEVNOSTNÍ VÝPOČET

Statické a pevnostní výpočty jsou provedeny na základě známých vztahů napjatosti a deformace vždy ze známých parametrů.

Základní průřezové charakteristiky TR Ø 273 x 6,3 – ČSN 42 5715.01 – 11523

$D_S = 273 \text{ mm}$; $t_S = 6,3 \text{ mm}$; $A_S = 5278 \text{ mm}^2$; $J_S = 46,96 * 10^6 \text{ mm}^4$; $W_S = 344 * 10^3 \text{ mm}^3$; $i_S = 94,3 \text{ mm}$; $q_S = 41,5 \text{ kgm}^{-1}$.



Obr. 5 – Model sloupu jeřábu

Zatížení sloupu jeřábu (břemeno v L tj. v bodě 2, viz Obr. 2)

Zatížení sloupu jeřábu je kombinovaného charakteru tlak – ohyb, kde ohyb je výraznější z hlediska deformace sloupu.

Znamé hodnoty: $F_{Sx2} = 9814 \text{ N}$; $F_{Sz2} = 3690 \text{ N}$; $B = 574 \text{ N}$; $G_{NC} = 444 \text{ kg}$; $G_S = 200 \text{ kg}$; $H_{Sl} = 3010 \text{ mm}$; $g = 9,81 \text{ ms}^{-2}$; $i_S = 94,3 \text{ mm}$.

Štíhlost prutu se určí podle vztahu:

$$\lambda_S = 2 \frac{H_{Sl}}{i_S} = 2 \frac{3010}{94,3} = 63,8 \Rightarrow \varphi_S = 0,8, \quad (49)$$

kde i_S je poloměr setrvačnosti profilu sloupu.

Maximální ohybový moment (břemeno v L tj. v bodě 2, viz Obr. 2) se určí podle vztahu:

$$M_S = (F_{Sx2} + B) * H_{Sl} = (9814 + 574) * 3,010 = 31268 \text{ Nm}, \quad (50)$$

Maximální normálová síla vyplývá ze vztahu:

$$N_S = F_{Sz2} + g \left(G_S + \frac{G_{NC}}{2} \right) = 3690 + 9,81(200 + 222) = 7830 \text{ N}, \quad (51)$$

kde F_{Sz2} je axiální složka síly působící na sloup a G_S je hmotnost sloupu.

Napětí ve sloupu se určí ze vztahu:

Znamé hodnoty: $M_S = 31268 \text{ Nm}$; $N_S = 7830 \text{ N}$; $A_S = 5278 \text{ mm}^2$; $W_S = 344 * 10^3 \text{ mm}^3$; $\varphi_S = 0,8$.



$$\sigma_{Sl} = \frac{M_S}{W_S} + \frac{N_S}{A_S \cdot \varphi_S} = \frac{31268000}{46,96 \cdot 10^6} + \frac{7830}{5278 \cdot 0,8} = 92,7 \text{ MPa}, \quad (52)$$

kde W_S je modul průřezu v ohybu profilu sloupu a A_S je plocha průřezu profilu sloupu.

Průhyb sloupu od maximálního bočního zatížení vyplývá ze vztahu:

Znamé hodnoty: $F_{Sx2} = 9814 \text{ N}$; $B = 574 \text{ N}$; $H_{Sl} = 3010 \text{ mm}$; $J_S = 46,96 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$; $E = 207000 \text{ MPa}$.

$$y_{Sl} = \frac{(F_{Sx2} + B) \cdot H_{Sl}^3}{3 \cdot E \cdot J_S} = \frac{(9814 + 574) \cdot 3010^3}{3 \cdot 207000 \cdot 46,96 \cdot 10^6} = 9,7 \text{ mm}, \quad (53)$$

kde J_S je kvadratický moment profilu sloupu.

ULOŽENÍ TOČNY VE SLOUPU JEŘÁBU

Uložení točny tj. hlavního prvku otáčení je realizováno pomocí dvou ložisek, zajištěných proti axiálnímu posuvu pojistnými kroužky. Vzhledem k velkému radiálnímu zatížení sloupu jeřábu jsou volena jednořadá kuličková ložiska: SKF 6211 – 2RS1 ČSN 02 4630, SKF 6308 – 2RS1 ČSN 02 4630.

2.2.7 POJÍZDNÁ STOJINA JRP

Stojina portálu představuje nejproblematictější prvek speciální konstrukce portálového jeřábu z hlediska konstrukčního řešení. Je to část jeřábu, která přenáší velké třecí síly kol této pojízdné stojiny portálu do sloupu ukotveného v betonovém základu. Kvůli eliminaci velikosti třecích sil je nutno dodržet základní požadavky na tuto konstrukci pojízdné stojiny. Mezi tyto požadavky patří zejména co nejmenší hmotnost, co nejvyšší tuhost konstrukce a nesmí být samozřejmě opomenut tvar konstrukce stojiny, který je taktéž velice důležitým faktorem z hlediska možnosti zajištění kladkostroje s břemenem pod stojinu (tj. využití celé pracovní délky výložníku jeřábu). Když budou zohledněny tyto základní požadavky, vychází zde řešení konstrukce stojiny jako trubkový svařenec o vhodném tvaru, tuhosti a malé vlastní hmotnosti. Tvary trubkových svařenců konstrukce se dají do určité míry modifikovat dle pevnostního výpočtu (viz Alternativní konstrukce pojízdné stojiny JRP). Stojina portálu (viz Obr. 6) je přes horní nosník pevně spojena se zbytkem konstrukce jeřábu a navíc je na obou koncích (místech, kde se nachází nohy stojiny) vyztužena vzpěrami. Vzpěry zajišťují další spoj pojízdné stojiny s hlavním nosníkem jeřábu.



Obr. 6 – Model pojezdne stojiny portálu

HORNÍ NOSNÍK STOJINY

Horní nosník pojezdne stojiny zajišťuje spojení s hlavním nosníkem jeřábu a taktéž tvoří rozpětí (rozvor) obou noh stojiny portálu (viz Obr. 6).

Návrhový výpočet

Předpokládá se maximální zatížení od břemene v L tj. v bodě 2, viz Obr. 2.

Znamé hodnoty: $F_{HN} = 2 * R_{p2} = 2 * 19627 = 39254 \text{ N}$; $L_{ST} = 1640 \text{ mm}$; $k_n = 2$; volen materiál S355J263, ČSN 11523 => $R_{emin} = 333 \text{ MPa}$.

Maximální ohybový moment (břemeno v L tj. v bodě 2, viz Obr. 2) vyplývá ze vztahu:

$$M_{HN} = F_{HN} * \frac{L_{ST}}{4} = 39254 * \frac{1640}{4} = 16094,140 \text{ Nm}, \quad (54)$$

kde F_{HN} je síla zatěžující horní nosník a L_{ST} je délka horního nosníku.

Dovolené napětí v ohybu (návrh) se určí ze vztahu [55], minimální modul průřezu v ohybu ze vztahu [56]:

$$\sigma_{DHN} = \frac{R_{emin}}{k_n} = \frac{333}{2} = 167 \text{ MPa}, \quad (55)$$

$$\sigma_{DHN} = \frac{M_{HN}}{W_{yHN}} \Rightarrow W_{yHN} = \frac{M_{HN}}{\sigma_{DHN}} = \frac{16094140}{167} = 96372 \text{ mm}^3 = 96,372 \text{ cm}^3 \Rightarrow \quad (56)$$

=> dle ČSN 42 5554 volen nosník typu HEB 120.

Statické a pevnostní výpočty horního nosníku

Statické a pevnostní výpočty jsou provedeny na základě známých vztahů napjatosti a deformace vždy ze známých parametrů.



Základní průřezové charakteristiky HEB 120 ČSN 42 5554 - 11523

$$h_{HN} = 120 \text{ mm}$$

$$W_{xHN} = 144 * 10^3 \text{ mm}^3$$

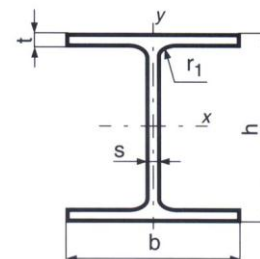
$$b_{HN} = 120 \text{ mm}$$

$$q_{HN} = 26,7 \text{ kgm}^{-1}$$

$$s_{HN} = 6,5 \text{ mm}$$

$$t_{HN} = 11 \text{ mm}$$

$$r_1 = 12 \text{ mm}$$



Obr. 6.1 – Profil HEB

Zatížení horního nosníku (břemeno v L tj. bodě 2, viz Obr. 2)

Znamé hodnoty: $F_{HN} = 39254 \text{ N}$; $L_{ST} = 1640 \text{ mm}$; $q_{HN} = 26,7 \text{ kgm}^{-1}$;
 $g = 9,81 \text{ ms}^{-2}$.

Maximální síla působící na horní nosník (včetně síly od vlastní hmotnosti) se určí ze vztahu:

$$F_{ST2} = F_{HN} + g(q_{HN} * L_{ST}) = 39254 + 9,81(26,7 * 1,640) = 39684 \text{ N}, \quad (57)$$

kde q_{HN} je hmotnost profilu horního nosníku na metr délky.

Maximální ohybový moment vyplývá ze vztahu:

$$M_{ST} = F_{ST2} * \frac{L_{ST}}{4} = 39684 * \frac{1640}{4} = 16270440 \text{ Nmm}. \quad (58)$$

Napětí v horním nosníku se určí ze vztahu:

Znamé hodnoty: $M_{ST} = 16270440 \text{ Nmm}$; $W_{xHN} = 144 * 10^3 \text{ mm}^3$.

$$\sigma_{ST} = \frac{M_{ST}}{W_{xHN}} = \frac{16270440}{144 * 10^3} = 113 \text{ MPa}, \quad (59)$$

kde W_{xHN} je modul průřezu v ohybu profilu HEB 120.

TRUBKY POJÍZDNÉ STOJINY

Trubkový svařenec se skládá vždy ze tří trubek tak, aby tvořil nohu stojiny. Horní část nohy stojiny je pevně svařena s horním nosníkem stojiny. Na spodní části nohy stojiny je připevněno kyvné vahadlo pojezdových kol. Obě nohy jsou dokonale provařeny ocelovými pláty (viz Obr. 6), které zachytávají krouťící moment vzniklý jako důsledek třecích sil mezi koly nohy pojezdné stojiny a podlahou pracovního prostoru.



Statické a pevnostní výpočty trubky pojízdné stojiny

Statické a pevnostní výpočty jsou provedeny na základě známých vztahů napjatosti a deformace vždy ze známých parametrů.

Základní průřezové charakteristiky TR $\varnothing 51 \times 4$ – ČSN 42 5715.01 – 11523

$$D_{TR} = 51 \text{ mm}$$

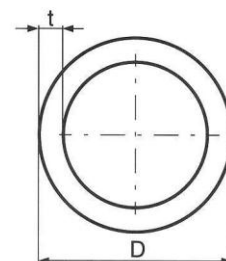
$$J_{TR} = 164,3 * 10^3 \text{ mm}^4$$

$$t_{TR} = 4 \text{ mm}$$

$$W_{TR} = 6442 \text{ mm}^3.$$

$$S_{TR} = 591 \text{ mm}^2$$

Obr. 6.2 – Profil trubky



Zatížení trubky stojiny

Znamé hodnoty: $F_{T2} = 9814 \text{ N}$; $F_{O2} = 607 \text{ N}$; celková délka trubky $L_C = h = 3760 \text{ mm}$; délka vetknuté části trubky $h_V = 400 \text{ mm}$; činná délka trubky $L_T = h - h_V = 3760 - 400 = 3360 \text{ mm}$; rozměry ocelového plátu svařeného k trubkám (místo vetknutí) $a_1 = 280 \text{ mm}$; $a_2 = 200 \text{ mm}$; délka části trubky mezi provařenými ocelovými pláty $l = 1000 \text{ mm}$; $J_{TR} = 164,3 * 10^3 \text{ mm}^4$; $S_{TR} = 591 \text{ mm}^2$; $E = 207000 \text{ MPa}$; $R_{emin} = 333 \text{ MPa}$.

Celková síla působící na trubku se určí podle vztahu [62] (výpočet vyplývá z momentových rovnic statické rovnováhy ve dvou směrech [60, 61]):

$$\sum M_Z = 0: \frac{F_{T2}}{2} * L_T - F_{TRx} * a_1 = 0 \Rightarrow F_{TRx} = \frac{F_{T2}}{2} * \frac{L_T}{a_1} = \frac{9814}{2} * \frac{3360}{280} = 58884 \text{ N}, \quad (60)$$

$$\sum M_x = 0: \frac{F_{O2}}{2} * L_T - F_{TRz} * a_2 = 0 \Rightarrow F_{TRz} = \frac{F_{O2}}{2} * \frac{L_T}{a_2} = \frac{607}{2} * \frac{3360}{200} = 5099 \text{ N}, \quad (61)$$

$$F_{TR} = F_{TRx} + F_{TRz} = 58884 + 5099 = 63983 \text{ N}. \quad (62)$$

Štíhlost prutu (vzpěr) se určí podle vztahu [63], kritická štíhlost podle vztahu [64]:

$$\lambda_{TR} = \frac{l}{\sqrt{\frac{J_{TR}}{S_{TR}}}} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{164,3 * 10^3}{591}}} = 60 \Rightarrow \quad (63)$$

\Rightarrow součinitel vzpěrnosti pro ČSN 11523 $c_1 = 1,32$,

$$\lambda_k = \pi \sqrt{\frac{E}{R_{emin}}} = \pi \sqrt{\frac{207000}{333}} = 78,4, \quad (64)$$

$\lambda_{TR} < \lambda_k \Rightarrow$ nenastane mezní stav vzpěrné stability prutu.

Napětí v trubce se určí podle vztahu:

$$\sigma_{TR} = \frac{F_{TR}}{S_{TR}} * c_1 = \frac{63983}{591} * 1,32 = 143 \text{ MPa}, \quad (65)$$



kde S_{TR} je plocha průřezu trubky stojiny.

Kontrola bezpečnosti vzhledem k MSP vyplývá ze vztahu:

$$k_{k3} = \frac{R_{emin}}{\sigma_{TR}} = \frac{333}{143} = 2,3. \quad (66)$$

SPODNÍ A HORNÍ ZÁVĚS VZPĚRY

Spodní a horní závěs vzpěry (viz Obr. 7) přenáší ohybové momenty od třecích sil mezi koly stojiny a podlahou na vzpěru, která tyto momenty zachytává. Spodní i horní závěs musí být proto správně dimenzován.



Obr. 7 – Model spodního a horního závěsu vzpěry

Statické a pevnostní výpočty spodního a horního závěsu

Předpokládá se maximální zatížení konstrukce od boční třecí síly (břemeno v L tj. v bodě 2, viz Obr. 2).

Znamé hodnoty: $F_{T2} = 9814 \text{ N}$; celková délka trubky $L_C = h = 3760 \text{ mm}$; délka vetknuté části trubky $h_V = 400 \text{ mm}$; činná délka trubky $L_T = h - h_V = 3760 - 400 = 3360 \text{ mm}$; plocha průřezu závěsu $S_V = 600 \text{ mm}^2$; úhel sklonu vzpěry vůči hornímu nosníku (viz Obr. 2) $\alpha = 30^\circ$.

Spodní závěs vzpěry

Ohybový moment na spodním závěsu vzpěry se určí ze vztahu:

$$M_A = \frac{F_{T2}}{2} * h = \frac{9814}{2} * 3,760 = 18450,3 \text{ Nm}. \quad (67)$$

Z rovnice momentové rovnováhy vyplývá složka síly spodního závěsu:

$$\sum M = 0: M_A - M_B = M_A - F_{VZB} * h_V = 0 \Rightarrow F_{VZB} = \frac{M_A}{h_V} = \frac{18450,3}{0,400} = 46125 \text{ N}. \quad (68)$$

Celková síla spodního závěsu se určí podle vztahu:



$$F_{SZ} = \frac{F_{VZB}}{\cos \alpha} = \frac{46125}{\cos 30^\circ} = 53261 \text{ N.} \quad (69)$$

Napětí ve spodním závěsu se určí podle vztahu:

$$\sigma_{SZ} = \frac{F_{SZ}}{S_V} = \frac{53261}{600} = 89 \text{ MPa.} \quad (70)$$

Horní závěs vzpěry

Ohybový moment na horním závěsu vzpěry se určí ze vztahu:

$$M_D = \frac{F_{T2}}{2} * L_T = \frac{9814}{2} * 3,360 = 16487,5 \text{ Nm.} \quad (71)$$

Z rovnice momentové rovnováhy vyplývá složka síly horního závěsu:

$$\sum M = 0: M_C - M_D = F_{VZA} * h_V - M_D = 0 \Rightarrow F_{VZA} = \frac{M_D}{h_V} = \frac{16487,5}{0,400} = 41218 \text{ N.} \quad (72)$$

Celková síla horního závěsu se určí podle vztahu:

$$F_{HZ} = \frac{F_{VZA}}{\cos \alpha} = \frac{41218}{\cos 30^\circ} = 47594 \text{ N.} \quad (73)$$

Napětí v horním závěsu se určí podle vztahu:

$$\sigma_{HZ} = \frac{F_{HZ}}{S_V} = \frac{47594}{600} = 79 \text{ MPa.} \quad (74)$$

2.2.8 VZPĚRA

Funkce vzpěry je v konstrukci tohoto jeřábu velice důležitá. Vzpěra (viz obr. 8) zachytává velké ohybové momenty od třecích sil mezi koly stojiny a podlahou a tudíž je ukotvena čepy na širší straně ke spodnímu a hornímu závěsu na horní části nohy pojízdné stojiny. Na opačné straně je taktéž pomocí čepů připevněna k hlavnímu nosníku jeřábu.



Obr. 8 – Model vzpěry



HORNÍ PÁSNICE PLO 60 x 10

Předpokládá se maximální zatížení od boční třecí síly (břemeno v L tj. v bodě 2, viz Obr. 2).

Znamé hodnoty: $F_{HZ} = 47594 \text{ N}$; plocha průřezu pásnice $S_P = 600 \text{ mm}^2$; volen materiál S355J263, ČSN 11523 $\Rightarrow R_{emin} = 333 \text{ MPa}$.

Napětí v horní pásnici se určí podle vztahu:

$$\sigma_{HP} = \frac{F_{HZ}}{S_P} = \frac{47594}{600} = 79 \text{ MPa}. \quad (75)$$

Kontrola bezpečnosti vzhledem k MSP se určí podle vztahu:

$$k_{k4} = \frac{R_{emin}}{\sigma_{HP}} = \frac{333}{79} = 4,2. \quad (76)$$

SPODNÍ PÁSNICE PLO 60 x 10

Předpokládá se maximální zatížení od boční třecí síly (břemeno v L tj. v bodě 2, viz Obr. 2).

Znamé hodnoty: $F_{SZ} = 53261 \text{ N}$; plocha průřezu pásnice $S_P = 600 \text{ mm}^2$; volen materiál S355J263, ČSN 11523 $\Rightarrow R_{emin} = 333 \text{ MPa}$; úhel sklonu spodní pásnice (viz Obr. 2) $\beta = 26,5^\circ$.

Napětí ve spodní pásnici se určí podle vztahu:

$$\sigma_{SP1} = \frac{F_{SZ}}{\cos \beta \cdot S_P} = \frac{53261}{\cos 26,5^\circ \cdot 600} = 99 \text{ MPa}. \quad (77)$$

Kontrola bezpečnosti vzhledem k MSP se určí podle vztahu:

$$k_{k5} = \frac{R_{emin}}{\sigma_{SP1}} = \frac{333}{99} = 3,4. \quad (78)$$

SPODNÍ PÁSNICE PLO 60 x 10 v MÍSTĚ ZÚŽENÍ

Předpokládá se maximální zatížení od boční třecí síly (břemeno v L tj. v bodě 2, viz Obr. 2).

Znamé hodnoty: $F_{T2} = 9814 \text{ N}$; celková délka trubky $L_C = h = 3760 \text{ mm}$; vzdálenost zúženého konce vzpěry od kraje stojiny $L_M = 1605 \text{ mm}$; plocha průřezu pásnice $S_P = 600 \text{ mm}^2$; plocha průřezu vzpěry $S_{VZ} = 1660 \text{ mm}^2$; délka vzpěry $L_{VZ} = 1505 \text{ mm}$; délka zúženého konce vzpěry $L_{ZK} = 855 \text{ mm}$; výška vzpěry v místě zúžení $h_{MZ} = 125 \text{ mm}$; volen materiál S355J263, ČSN 11523 $\Rightarrow R_{emin} = 333 \text{ MPa}$.



Základní průřezové charakteristiky profilu spodní pásnice v místě zúžení:

$$B_{VZ} = 10 \text{ mm}; H_{VZ} = 60 \text{ mm}; b_{VZ} = 115 \text{ mm}; h_{VZ} = 4 \text{ mm};$$

Kvadratický moment spodní pásnice v místě zúžení se určí podle vztahu:

$$J_{VZ} = \frac{B_{VZ} \cdot H_{VZ}^3 + b_{VZ} \cdot h_{VZ}^3}{12} = \frac{20 \cdot 60^3 + 115 \cdot 4^3}{12} = 360613 \text{ mm}^4, \quad (79)$$

kde B_{VZ} je šířka pásnice v místě zúžení, H_{VZ} je výška pásnice v místě zúžení, b_{VZ} je šířka středového plátu v místě zúžení a h_{VZ} je výška středového plátu v místě zúžení.

Zatížení spodní pásnice v místě zúžení (výpočet vyplývá z momentových rovnic statické rovnováhy [80, 81]):

$$\sum M = 0: F_{T2} \cdot L_C - F_{VT2} \cdot L_M = 0 \Rightarrow F_{VT2} = F_{T2} \cdot \frac{L_C}{L_M} = 9814 \cdot \frac{3760}{1605} = 22991 \text{ N}, \quad (80)$$

$$\sum M = 0: \frac{F_{VT2}}{2} \cdot L_{ZK} - F_{Bx} \cdot h_{MZ} = 0 \Rightarrow F_{Bx} = \frac{F_{VT2}}{2} \cdot \frac{L_{ZK}}{h_{MZ}} = \frac{22991}{2} \cdot \frac{855}{125} = 78592 \text{ N}. \quad (81)$$

Štíhlost prutu (vzpěr) se určí podle vztahu:

$$\lambda_{VZ} = \frac{L_{VZ}}{\sqrt{J_{VZ}}} = \frac{1505}{\sqrt{\frac{360613}{1660}}} = 102 \Rightarrow \text{součinitel vzpěrnosti } c_2 = 2,26. \quad (82)$$

Napětí ve spodní pásnici v místě zúžení se určí podle vztahu:

$$\sigma_{SP2} = \frac{F_{Bx}}{S_P} \cdot c_2 = \frac{78592}{600} \cdot 2,26 = 296 \text{ MPa}, \quad (83)$$

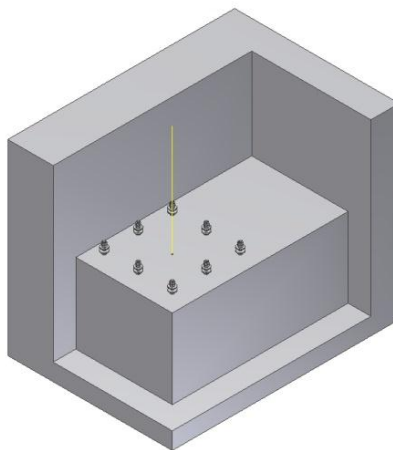
kde F_{Bx} je síla působící v místě zúžení (vyplývá z momentové rovnice [81]).

Kontrola bezpečnosti vzhledem k MSP se určí podle vztahu:

$$k_{k6} = \frac{R_{emin}}{\sigma_{SP2}} = \frac{333}{296} = 1,13. \quad (84)$$

2.2.9 ZÁKLADOVÁ PATKA

Základová patka slouží pro ukotvení sloupu jeřábu pomocí kotvicích šroubů. Patka je betonový monolit (viz Obr. 9), jehož vnitřní ocelová armatura je síťový svařenec prutů oceli třídy 11 (ČSN 11320.0). K vnitřní armatuře jsou přivařeny kotvicí šrouby (namáhány na tah). Patka je zhotovena stavebními dělníky ještě před samotnou montáží jeřábu do pracovního prostoru.



Obr. 9 – Model základové patky

ZATÍŽENÍ ZÁKLADOVÉ PATKY (BŘEMENO V L T.J. V BODĚ 2, VIZ OBR. 2)

Známe hodnoty: $g = 9,81 \text{ ms}^{-2}$; hmotnost ocelové armatury $m_A = 39 \text{ kg}$; hustota betonu $\rho_B = 2500 \text{ kgm}^{-3}$; voleny kotvící šrouby $M20 \Rightarrow d_3 = 17 \text{ mm}$; Pozn.: dosažené číselné rozměry ve výpočtech jsou rozměry betonové patky v metrech (viz Obr. 2).

Hmotnost základu se určí ze vztahu:

$$G_Z = V_Z * \rho_B + m_A = (2,0 * 1,65 * 1,45 - 1,05 * 1,75 * 1,5 + 0,7 * 1,55 * 0,85) * 2500 + 39 = 7417 \text{ kg}, \quad (85)$$

kde V_Z je objem základu patky.

Hmotnost sloupu: $G_S = 220 \text{ kg}$.

Hmotnost ½ nosníku do sloupu: $\frac{G_{NC}}{2} = 222 \text{ kg}$.

Síly působící do čepu sloupu: $F_{Sx2} = \pm 9814 \text{ N}$; $F_{Sz2} = \pm 3670 \text{ N}$.

Bránící momenty (stabilizační) se určí podle vztahů:

$$M_{br1} = G_Z * g * 0,57 + g \left(G_S + \frac{G_{NC}}{2} \right) * 0,80 = 7417 * 9,81 * 0,57 + 9,81(200 + 222) * 0,80 = 44785 \text{ Nm}, \quad (86)$$

$$M_{br2} = G_Z * g * 0,88 + g \left(G_S + \frac{G_{NC}}{2} \right) * 0,65 = 7417 * 9,81 * 0,88 + 9,81(200 + 222) * 0,65 = 66720 \text{ Nm}. \quad (87)$$

Klopící momenty se určí podle vztahů:

$$M_{kl1} = F_{Sx2} * 3,89 + F_{Sz2} * 0,80 = 9814 * 3,89 + 3670 * 0,80 = 41112 \text{ Nm}, \quad (88)$$

$$M_{kl2} = F_{Sx2} * 3,89 + F_{Sz2} * 0,65 = 9814 * 3,89 + 3670 * 0,65 = 35791 \text{ Nm}. \quad (89)$$



Podmínka stability: $M_{br1} > M_{kl1} \Rightarrow$ VYHOVUJE (zaručená stabilita),

$M_{br2} > M_{kl2} \Rightarrow$ VYHOVUJE (zaručená stabilita).

Síla do řady (3 ks) kotvicích šroubů M20 při max. zatížení a max. třecí síly kol podle vztahu:

$$F_{s3} = \frac{(g(G_S + G_{NC}/2) * 0,3 - (F_{Sx2} * 3,010 + F_{Sz2} * 0,3))}{0,6} = \frac{(1266 - 30641)}{0,6} = -48959 \text{ N.} \quad (90)$$

Síla působící na jeden kotvicí šroub M20 se určí ze vztahu:

$$F_s = \frac{F_{s3}}{3} = \frac{|48959|}{3} = 16320 \text{ N.} \quad (91)$$

Napětí v kotvicím šroubu M20 se určí podle vztahu:

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_{sd3}} = \frac{4 * F_s}{\pi * d_s^2} = \frac{4 * 16320}{\pi * 17^2} = \frac{16320}{227} = 72 \text{ MPa} \Rightarrow \quad (92)$$

\Rightarrow VYHOVUJE.

2.2.10 ALTERNATIVNÍ KONSTRUKCE POJÍZDNÉ STOJINY JRP

Navržená konstrukce radiálního portálového jeřábu může mít i jiné typy pojízdné stojiny, které vyhovují pevnostnímu výpočtu a parametrům jeřábu. Tyto možné alternativní konstrukce však musí splňovat dva společné požadavky na konstrukci jeřábu jako celku a to sice pojezd po podlaze pracovního prostoru pomocí kol a možnost manipulace s břemenem pod pojízdnou stojinou. Právě tato podmínka deklaruje náročnost řešení dalších alternativních typů konstrukcí pojízdných stojin. Vzhledem k délce výložníku a velikosti zatížení od sil a momentů je třeba řešit alternativní typy konstrukcí pojízdných stojin na podobné bázi jako u prvního typu autorem zvolené svařencové sestavě pojízdné stojiny.

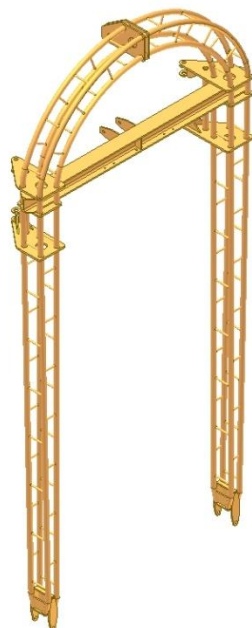
POJÍZDNÁ STOJINA JRP – ALTERNATIVNÍ KONSTRUKCE

Jako alternativní konstrukce předešlého typu pojízdné stojiny, pro kterou byl proveden pevnostní výpočet celé konstrukce radiálního portálového jeřábu, byla navržena dosti podobná konstrukce pojízdné stojiny, jejíž pevnostní výpočet z důvodu podobnosti již v technické zprávě nevystupuje. Návrh alternativní konstrukce pojízdné stojiny opět vychází ze stejných předpokladů jako u předešlého typu stojiny.

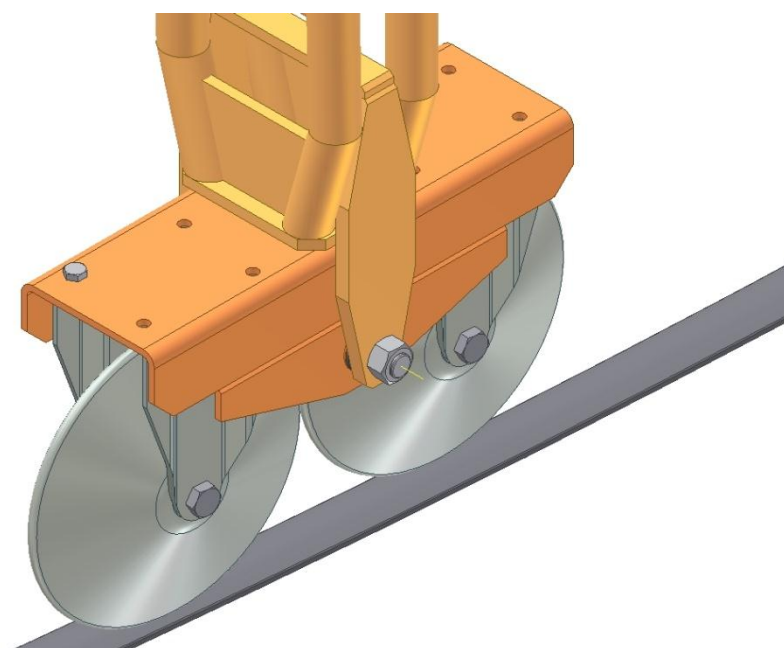
Stojina (viz Obr. 10) je opět tvořena, jako svařený trubkový rám. Tentokrát je základ zhotoven ze čtyř trubek (ČSN 11523), tvořících nohy stojiny, jejichž konce slouží pro uložení kyvných vahadel pojezdových kol. Obě nohy stojiny jsou v horní části spojeny do klenutého tvaru. Ukotvení stojiny k hlavnímu nosníku jeřábu je realizováno opět pomocí horního nosníku stojiny stejných rozměrů a horního a spodního závěsu pro uložení vzpěr jako u předešlého typu pojízdné stojiny, oproti předešlému typu je ukotvení stojiny ještě doplněno výztužnou vzpěrou v klenuté části stojiny.



Pojezd alternativní konstrukce je navržen jako pojezd kola po kolejnici. Z toho plyne, že pojezdová kola jsou celá vyrobena z oceli ČSN 12060.1 a jsou cementována a kalena. Tato pojezdová kola (o stejném průměru jako u předešlého typu konstrukce) jsou opět uložena v kyvných vahadlech vždy po dvou a jejich osy rotace směřují do středu otáčení jeřábové konstrukce. Obvod kol má kulovitý tvar (viz Obr. 11), z důvodu co nejmenších třecích sil. Dle parametrů pojezdových kol je dimenzována i kolejnice pro pojezd kol, jejíž průřez má tvar velice mělkého dolíku. Kolejnice (viz Obr. 11) má charakter pásnice a je celá zapuštěná v betonové podlaze. Délka dráhy kolejnice závislá na pracovním dosahu jeřábu tj. buď 90° nebo 360°. Dráha kolejnice není zcela spojitá, nýbrž obsahuje dilatační spáry velmi malých rozměrů, kvůli změnám teplot, které mohou v pracovním prostoru během provozu nastat.



Obr. 10 – Model alternativní konstrukce pojízdné stojiny



Obr. 11 – Model pojezdu alternativní konstrukce pojízdné stojiny



2.2.11 ZHODNOCENÍ OBOU TYPŮ POJÍZDNÝCH STOJIN

Obě navržené konstrukce pojízdných stojin včetně navržených pojezdů těchto stojin jsou z hlediska pevnostního a rozměrového plně kompatibilní, tudíž je možné je jakkoliv kombinovat se zbytkem konstrukce radiálního portálového jeřábu. Oba typy konstrukcí stojin mají své kladné a záporné stránky.

První typ konstrukce pojízdné stojiny je o něco více namáhán od bočních třecích sil, z důvodu pojezdu stojiny pomocí kol s plastovou obručí po betonové podlaze. Na druhou stranu je tento typ konstrukce dosti tuhý a hlavně má malou hmotnost, z čehož plyne i menší ekonomická náročnost z hlediska výroby.

Alternativní konstrukce pojízdné stojiny je o něco složitější a robustnější, tudíž má i větší hmotnost (cca o 90 kg), z toho plyne i větší ekonomická náročnost z hlediska výroby. Je však nutno říci, že vzhledem k vysoké tuhosti a typu pojezdu kolo - kolejnice, dochází vlivem malého smykového tření za pohybu k výrazné eliminaci bočních třecích sil mezi koly a kolejnicí.

Vzhledem k faktu o bočních třecích silách lze vyvodit závěr, že celkové zatížení celé konstrukce jeřábu bude menší a proto z tohoto důvodu je lepší použít druhý (alternativní) typ konstrukce pojízdné stojiny a navrhovaný typ pojezdu kolo – kolejnice.

2.3 MONTÁŽNÍ POSTUP RADIÁLNÍHO PORTÁLOVÉHO JEŘÁBU JRP-1000/10/3,1

V níže uvedeném montážním postupu jsou zmíněny základní body, které deklarují doporučený postup při montáži konstrukčního celku radiálního portálového jeřábu:

1. Dle výkresové dokumentace zhotovit základ pro sloup jeřábu, buď v rohu výrobní haly (dosah 90°), nebo v prostoru výrobní haly (dosah 360°).
2. Na základ ustavit sloup portálu jeřábu (2) podle výkresu a připevnit pomocí matic s podložkami.
3. Do horní části sloupu jeřábu nasunout točnu sloupu s ložisky (36, 37) a distančními kroužky (40, 41) a zajistit ve sloupu pojistným kroužkem (39).
4. Do točny uložit hlavní nosník (4) spolu s distanční trubkou (20) a zajistit svorníkem (15) s maticemi (51).
5. Na pravý konec nosníku do 1. otvoru pro plech závěsu nasadit otočně stojinu portálu (či její alternativní konstrukci) pozice 3 a zajistit svorníkem (16) s maticemi a podložkami (52, 56).
6. Do závěsu stojiny nasadit vzpěry (8) a připevnit otočně čepy (21) s podložkami a šrouby (23, 44 a 57).



7. Do spodních třmenů stojiny namontovat kyvná vahadla kol (6,7) s pevnými koly (12) pomoci dílů (17, 19, 25, 38, 47, 52, 54 a 58).
8. Konstrukce s nosníkem a stojnou postupně postavit pomocí zvedacího zařízení a vzpěry připevnit k nosníku čepy (22) a spojit spojovacím materiálem (24 a 53). Stojinu přišroubovat ke hlavnímu nosníku spojovacím materiálem (26, 43, 53 a 57).
9. Na hlavní nosník namontovat držáky profilu C a trubek (9, 10, 11) a na ně profil C (32, 33) a trubky (34, 35) pomocí spojovacího materiálu (27, 28, 29, 30, 45, 48, 50, 54, 58 a 59). Na držáky namontovat ztužidla (31) spojovacím materiálem pozice (49, 55 a 59). Všechny spoje jeřábu utáhnout momentem podle ČSN 73 1495.
10. Na nosník portálové konstrukce nasadit smontované pojezdové ústrojí s elektrickým kladkostrojem (13, 14).
11. Na obou stranách nosníku zabezpečit šrouby a maticemi (42, 53, 57) kladkostroj proti vyjetí pomocí dorazů pojezdu (18).
12. Pojezdové ústrojí a kladkostroj připojit vlečným kabelem zavěšeným na unášecích vozících vedených v kolejnici profilu C na přívodní elektrické vedení 400 V s vypínačem podle platných předpisů. Na elektrickém zařízení provést školeným pracovníkem revizi.



ZÁVĚR

Závěrem je třeba zhodnotit konstrukční návrh radiálního portálového jeřábu jako celku. Práce byla konstrukčního charakteru a spočívala v konstrukčním návrhu speciální konstrukce radiálního portálového jeřábu dle zadaných parametrů, tudíž byla pojata formou technické zprávy, kde byly uvedeny všechny důležité statické a pevnostní výpočty, které se vždy týkaly konkrétní části konstrukce radiálního portálového jeřábu a plně tak vyhovují dalšímu postupu při samotné konstrukci jeřábu. Komplexní pevnostní návrhový výpočet byl proveden pro jeden typ pojízdné stojiny jeřábu, kvůli obsahu práce. Zvláštní kapitola byla věnována alternativní konstrukci pojízdné stojiny jeřábu, která byla navržena na platformě prvního typu pojízdné stojiny, tudíž je plně kompatibilní se zbytkem konstrukce radiálního portálového jeřábu. K této alternativní konstrukci byl navržen i jeden z možných typů pojezdu této stojiny. Kombinace alternativní konstrukce pojízdné stojiny a pojezdu kolo – kolejnice je vhodnější z hlediska tuhosti celé konstrukce při malém nárůstu hmotnosti, ovšem z ekonomického hlediska méně šťastnou variantou.



POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] LEINVEBER, Jan; VÁVRA Pavel. *Strojnické tabulky*. Čtvrté doplněné vydání. Úvaly: Albra – pedagogické nakladatelství, 2008. 914 s. ISBN 978-80-7361-051-7.
- [2] SVOBODA Pavel; BRANDEJS Jan; PROKEŠ František. *Výběry z norem pro konstrukční cvičení*. 3. vyd. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, 2009. 223 s. ISBN 978-80-7204-636-2.
- [3] SHIGLEY, Joseph Edward; MISCHKE Charles R.; BUDYNAS Richard G. *Konstruování strojních součástí*. 1. vyd. Editor Martin Hartl, Miloš Vlk. Brno: Nakladatelství VUTIMUM, 2010. 1159 s. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [4] REMTA, František; KUPKA, Ladislav; DRAŽAN, František. *Jeřáby: 1. Díl. 2*, přepracované a doplněné vydání. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1974. 648 s. 04-216-74.
- [5] Klopení nosníků [online]. [cit. 2013-04-15]. Dostupné z: http://www.fce.vutbr.cz/KDK/pilgr.m/BO02/BO02_cvi_11.pdf.
- [6] Katalog kladkostrojů LIFTKET STAR [online]. [cit. 2013-03-20]. Dostupné z: <http://www.kladkostroje.cz/prilohy/soubory/katalog-kladkostroju-liftket-star-2.pdf>.
- [7] Těžkotonážní pojezdové kolo ZPK 250/FH [online]. [cit. 2013-04-15]. Dostupné z: <http://eshop.adoz.cz/detail/73291>.
- [8] SKF, kuličková ložiska [online]. [cit. 2013-03-25]. Dostupné z: <http://www.skf.com/files/515051.pdf>.
- [9] ČSN ISO 4603. Jeřáby: Názvosloví [online]. [cit. 2013-03-25]. Dostupné z: http://www.id.vsb.cz/hra42/jer_3.pdf.
- [10] Feron, a.s., obrázek profilu HEB [online]. [cit. 2013-04-15]. Dostupné z: http://www.ferona.cz/cze/katalog/img.php?id=39&id_product=32503.
- [11] Feron, a.s., obrázek profilu trubky [online]. [cit. 2013-04-15]. Dostupné z: http://www.ferona.cz/cze/katalog/img.php?id=1&id_product=24355.



SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

| | | |
|------------------|----------------------|--|
| a | [mm] | délka převislého konce hlavního nosníku |
| a_1, a_2 | [mm] | rozměry ocelového plátu svařeného k trubkám pojízdné stojiny |
| a_{pt} | [m.s ⁻²] | předpokládané tečné zrychlení |
| A_S | [mm ²] | plocha průřezu profilu sloupu |
| b_1 | [mm] | délka poloviny spodní pásnice hlavního nosníku |
| b_{HN} | [mm] | šířka profilu HEB 120 |
| b_{VZ} | [mm] | šířka středového plátu v místě zúžení |
| B | [mm] | šířka profilu IPE 270 |
| B_n | [N] | skutečná podélná síla |
| B_{nn} | [N] | teoretická podélná síla |
| B_t | [N] | skutečná příčná síla |
| B_{tn} | [N] | teoretická příčná síla |
| B_{VZ} | [mm] | šířka pásnice v místě zúžení |
| c_1, c_2 | [-] | součinitelé vzpěrnosti |
| d_3 | [mm] | průměr dřívku kotvícího šroubu |
| D | [mm] | vnější průměr sloupu |
| D_{TR} | [mm] | vnější průměr trubky stojiny |
| e | [mm] | rameno valivého odporu (pneu - beton) |
| E | [MPa] | modul pružnosti v tahu pro ocel |
| F_{Bx} | [N] | síla působící v místě zúžení spodní pásnice vzpěry |
| F_{HN} | [N] | síla zatěžující horní nosník |
| F_{HZ} | [N] | síla horního závěsu vzpěry |
| F_{O1}, F_{O2} | [N] | síly potřebné pro otáčení portálu jeřábu |
| F_{S1}, F_{S2} | [N] | síly ze zrychlení portálu při rozjezdu a zastavování při otáčení |



| | | |
|------------------|----------------------|--|
| F_{ST2} | [N] | maximální síla působící na horní nosník |
| F_{Sx2} | [N] | radiální síla působící na sloup |
| F_{Sz2} | [N] | axiální síla působící na sloup |
| F_{SZ} | [N] | síla spodního závěsu vzpěry |
| F_{ξ} | [N] | síla působící na jeden kotvicí šroub M20 |
| $F_{\xi 3}$ | [N] | síla do řady (3 ks) kotvicích šroubů M20 |
| F_{T1}, F_{T2} | [N] | boční třecí síly kol pojízdné stojiny |
| F_{TR} | [N] | celková síla působící na trubku stojiny |
| F_{TRx} | [N] | axiální síla působící na trubku stojiny |
| F_{TRz} | [N] | radiální síla působící na trubku stojiny |
| F_{V1}, F_{V2} | [N] | valivé síly |
| F_{VT2} | [N] | síla určená z momentových rovnic v místě zúžení na spodní pásnici vzpěry |
| F_{VZA} | [N] | síla určená z momentových rovnic horního nosníku |
| F_{VZB} | [N] | síla určená z momentových rovnic spodního závěsu |
| g | [m.s ⁻²] | tíhové zrychlení |
| G_{NC} | [kg] | hmotnost hlavního nosníku jeřábu |
| G_{PC} | [kg] | hmotnost pojízdné stojiny jeřábu |
| G_S | [kg] | hmotnost sloupu jeřábu |
| G_Z | [kg] | hmotnost základu patky |
| h | [mm] | výška pojízdné stojiny |
| h_0 | [mm] | teoretická výška průřezu |
| h_{HN} | [mm] | výška profilu HEB 120 |
| h_{MZ} | [mm] | délka vzpěry v místě zúžení spodní pásnice vzpěry |
| h_S | [mm] | výška zdvihu jeřábu |
| h_V | [mm] | délka vetknuté části trubky |
| h_{VZ} | [mm] | výška středového plátu v místě zúžení spodní pásnice vzpěry |



| | | |
|------------|--------------------|---|
| H | [mm] | výška profilu IPE 270 |
| H_S | [mm] | výška nosníku |
| H_{Sl} | [mm] | výška sloupu jeřábu |
| H_{VZ} | [mm] | výška pásnice v místě zúžení |
| i_S | [mm] | poloměr setrvačnosti profilu sloupu |
| i_{z1} | [mm] | poloměr setrvačnosti tlačенého pásu na hlavním nosníku |
| J_T | [mm ⁴] | polární moment k těžišti profilu IPE 270 |
| J_{TR} | [mm ⁴] | kvadratický moment trubky stojiny |
| J_S | [mm ⁴] | kvadratický moment profilu sloupu |
| J_{VZ} | [mm ⁴] | kvadratický moment v místě zúžení spodní pásnice vzpěry |
| J_y, J_z | [mm ⁴] | kvadratický moment v ohybu profilu IPE 270 |
| k_{k1} | [-] | součinitel bezpečnosti vzhledem k meznímu stavu pružnosti v místě spodních tažených vláken na hlavním nosníku |
| k_{k2} | [-] | součinitel bezpečnosti vzhledem k meznímu stavu pružnosti v místě horních tlačенých vláken na hlavním nosníku |
| k_{k3} | [-] | součinitel bezpečnosti vzhledem k meznímu stavu pružnosti v místě trubky pojízdné stojiny |
| k_{k4} | [-] | součinitel bezpečnosti vzhledem k meznímu stavu pružnosti v místě horní pásnice vzpěry |
| k_{k5} | [-] | součinitel bezpečnosti vzhledem k meznímu stavu pružnosti v místě spodní pásnice vzpěry |
| k_{k6} | [-] | součinitel bezpečnosti vzhledem k meznímu stavu pružnosti v místě zúžení na spodní pásnici vzpěry |
| k_n | [-] | návrhový součinitel bezpečnosti vzhledem k meznímu stavu pružnosti |
| l | [mm] | délka části trubky mezi provařenými ocelovými pláty |
| L | [mm] | délka hlavního nosníku |
| L_C | [mm] | celková délka trubky stojiny |
| L_M | [mm] | vzdálenost zúženého konce vzpěry od kraje stojiny |
| L_{ST} | [mm] | délka horního nosníku |



| | | |
|--------------------|----------------------|--|
| L_T | [mm] | činná délka trubky stojiny |
| L_{VZ} | [mm] | délka vzpěry |
| L_{ZK} | [mm] | délka zúženého konce vzpěry |
| m | [kg] | maximální nosnost jeřábu |
| m_A | [kg] | hmotnost ocelové armatury do základové patky |
| m_k | [kg] | vlastní hmotnost kladkostroje s pojezdem |
| m_{p1}, m_{p2} | [kg] | hmotnosti konstrukce na 1 nohu stojiny |
| M_a | [Nm] nosníku | maximální ohybový moment na převislém konci hlavního |
| M_A, M_B | [Nm] | momenty k bodům A a B působící na spodní závěs vzpěry |
| M_{br1}, M_{br2} | [Nm] | bránící momenty |
| M_C, M_D | [Nm] | momenty k bodům C a D působící na horní závěs vzpěry |
| M_{HN} | [Nm] | maximální ohybový moment na horním nosníku (návrh) |
| M_{kl1}, M_{kl2} | [Nm] | klopící momenty |
| M_{OT1} | [Nm] | ohybový moment na hlavním nosníku od boční třecí síly |
| M_{OV1}, M_{OV2} | [Nm] | valivé momenty |
| M_{qN} | [Nm] | ohybový moment na hlavním nosníku od vlastní hmotnosti |
| M_Q | [Nm] | maximální ohybový moment na hlavním nosníku od zatíženého kladkostroje |
| M_S | [Nm] | maximální ohybový moment působící na sloup jeřábu |
| M_{ST} | [Nm] | maximální ohybový moment na horním nosníku |
| M_Z | [Nm] | ohybový moment na hlavním nosníku od příčné síly ve vodorovné rovině |
| N_S | [N] | maximální normálová síla působící na sloup jeřábu |
| P_k | [kW] | výkon elektrického řetězového kladkostroje |
| q_{HN} | [kgm ⁻¹] | hmotnost profilu horního nosníku na metr délky |
| q_N | [Nm ⁻¹] | liniové zatížení hlavního nosníku od vlastní hmotnosti |
| q_I | [kgm ⁻¹] | hmotnost profilu hlavního nosníku na metr délky |



| | | |
|------------------|------------------------|--|
| q_s | [kgm ⁻¹] | hmotnost profilu sloupu na metr délky |
| Q | [N] | provozní (skutečná) síla |
| Q_n | [N] | normová (teoretická) síla |
| r_1 | [mm] | poloměr zaoblení na profilu HEB 120 |
| r_k | [mm] | poloměr kola pojezdu |
| R | [mm] | poloměr zaoblení na profilu IPE 270 |
| R_{emin} | [MPa] | minimální mez kluzu materiálu ČSN 11523 |
| R_{p1}, R_{p2} | [N] | reakční síly v kolech stojiny |
| s_{HN} | [mm] | tloušťka střední pásnice profilu HEB 120 |
| S_p | [mm ²] | plocha průřezu horní pásnice vzpěry |
| S_{sd3} | [mm ²] | plocha dřívku kotvícího šroubu M20 |
| S_{TR} | [mm ²] | plocha průřezu trubky stojiny |
| S_V | [mm ²] | plocha průřezu závěsu |
| S_{VZ} | [mm ²] | plocha průřezu vzpěry |
| t | [mm] | tloušťka stěny sloupu jeřábu |
| t_1 | [mm] | tloušťka střední pásnice profilu IPE 270 |
| t_2 | [mm] | tloušťka spodní a horní pásnice profilu IPE 270 |
| t_{HN} | [mm] | tloušťka spodní a horní pásnice profilu HEB 120 |
| t_{TR} | [mm] | tloušťka stěny trubky stojiny |
| v_h | [m.min ⁻¹] | rychlost zdvihu |
| v_p | [m.min ⁻¹] | rychlost pojezdu |
| V_Z | [m ³] | objem základu patky |
| W_{HN} | [mm ³] | modul průřezu v ohybu profilu horního nosníku (návrh) |
| W_o | [mm ³] | modul průřezu v ohybu profilu hlavního nosníku (návrh) |
| W_S | [mm ³] | modul průřezu v ohybu profilu sloupu |
| W_{TR} | [mm ³] | modul průřezu v ohybu profilu trubky stojiny |



| | | |
|-----------------------------------|----------------------|---|
| W_{xHN} | [mm ³] | modul průřezu v ohybu profilu HEB 120 |
| W_y | [mm ³] | modul průřezu v ohybu (osa y) profilu IPE 270 |
| W_{ya} | [mm ³] | modul průřezu v ohybu profilu převislého konce hlavního nosníku |
| W_z | [mm ³] | modul průřezu v ohybu (osa z) profilu IPE 270 |
| γ_{Sl} | [mm] | průhyb sloupu od maximálního bočního zatížení |
| z_1 | [mm] | vzdálenost těžiště tlačené pásnice od těžiště průřezu IPE 270 |
| z_{1max} | [mm] | maximální průhyb hlavního nosníku od nahodilého zatížení |
| z_D | [mm] | dovolený průhyb hlavního nosníku |
| α | [°] | úhel sklonu vzpěry vůči hornímu nosníku |
| α_{x2} | [-] | součinitel koncentrace napětí |
| α_t | [-] | parametr kroucení |
| β | [°] | úhel sklonu spodní pásnice vzpěry |
| γ | [-] | součinitel štíhlosti při klopení |
| $\gamma_g, \gamma_i, \gamma_{lo}$ | [-] | součinitelé statického zatížení |
| δ_h, δ_t | [-] | součinitelé dynamického zatížení |
| ε | [-] | poměrné přetvoření |
| κ_M | [-] | součinitel vzpěrné délky při klopení |
| λ | [-] | kritická štíhlost prutu hlavního nosníku při klopení |
| λ_k | [-] | kritická štíhlost prutu trubky stojiny |
| λ_S | [-] | štíhlost prutu sloupu |
| λ_{TR} | [-] | štíhlost prutu trubky stojiny |
| λ_{VZ} | [-] | štíhlost prutu horní pásnice vzpěry |
| μ | [-] | součinitel tření kol na podlaze (za pohybu) |
| π | [-] | Ludolfovo číslo |
| ρ_B | [kgm ⁻³] | hustota betonu |
| σ_a | [MPa] | napětí v ohybu na převislém konci nosníku |



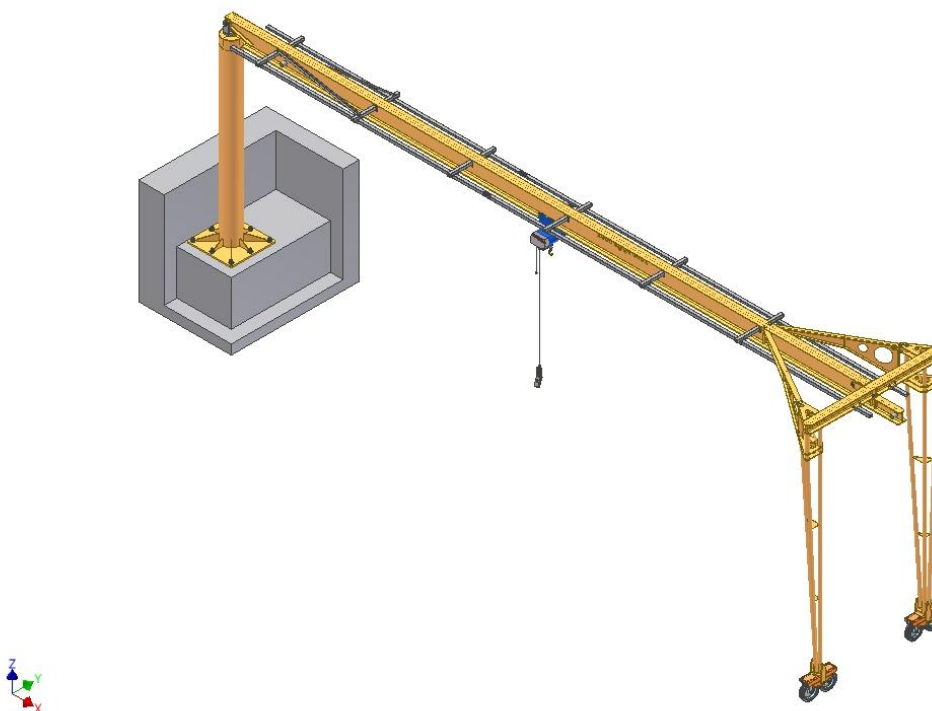
| | | |
|----------------------------|-------|--|
| σ_D | [MPa] | dovolené napětí v ohybu na hlavním nosníku (návrh) |
| σ_{DHN} | [MPa] | dovolené napětí v ohybu na horním nosníku |
| σ_{DS} | [MPa] | dovolené napětí v ohybu na sloupu |
| σ_H | [MPa] | napětí na hlavním nosníku (horní tlačná vlákna) |
| σ_{HP} | [MPa] | napětí v horní pásnici vzpěry |
| σ_{HZ} | [MPa] | napětí v horním závěsu vzpěry |
| σ_{loc} | [MPa] | napětí od lokálního ohybu hlavního nosníku |
| σ_S | [MPa] | napětí na hlavním nosníku (spodní tažná vlákna) |
| σ_{Sl} | [MPa] | napětí ve sloupu |
| σ_{Sp1} | [MPa] | napětí ve spodní pásnici vzpěry |
| σ_{Sp2} | [MPa] | napětí ve spodní pásnici vzpěry v místě zúžení |
| σ_{ST} | [MPa] | napětí na horním nosníku |
| σ_{SZ} | [MPa] | napětí ve spodním závěsu vzpěry |
| σ_{ξ} | [MPa] | napětí v kotvicím šroubu |
| σ_{TR} | [MPa] | napětí v trubce stojiny |
| φ_{lab}, φ_S | [-] | součinitelé vzpěru |



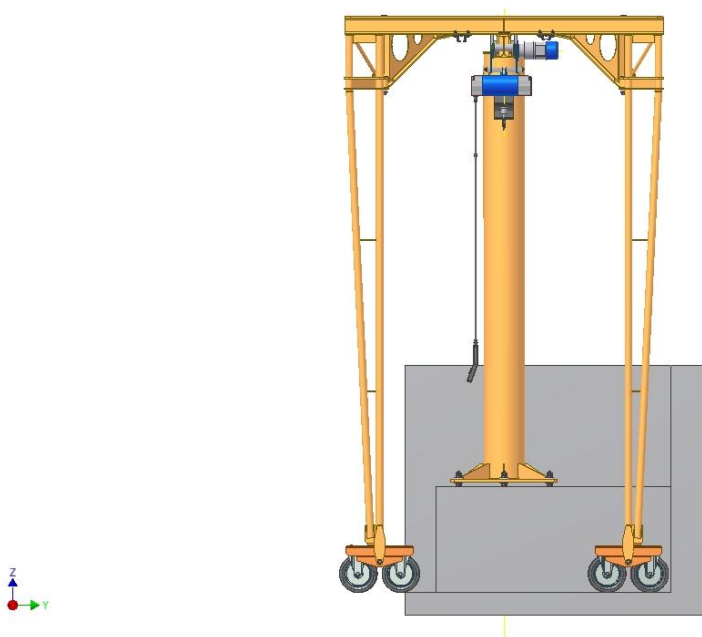
SEZNAM PŘÍLOH

Obrázková příloha:

P1 – Modelová sestava 1



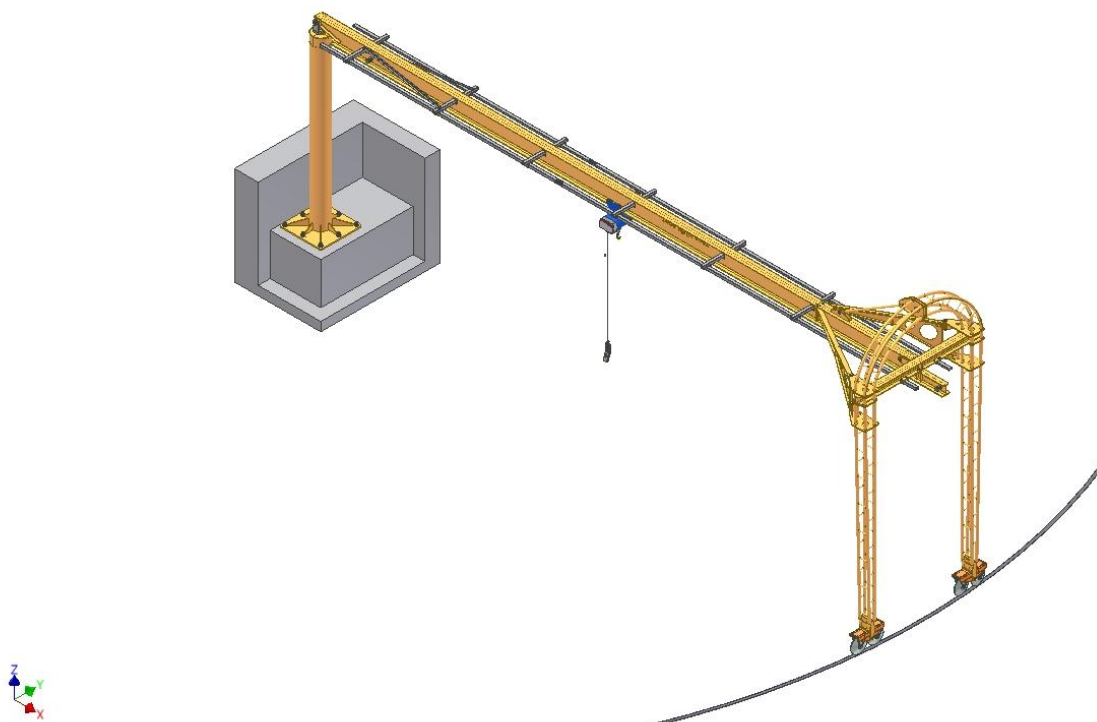
Obr. 12 – Model sestavy 1 (pohled izometrický - horní)



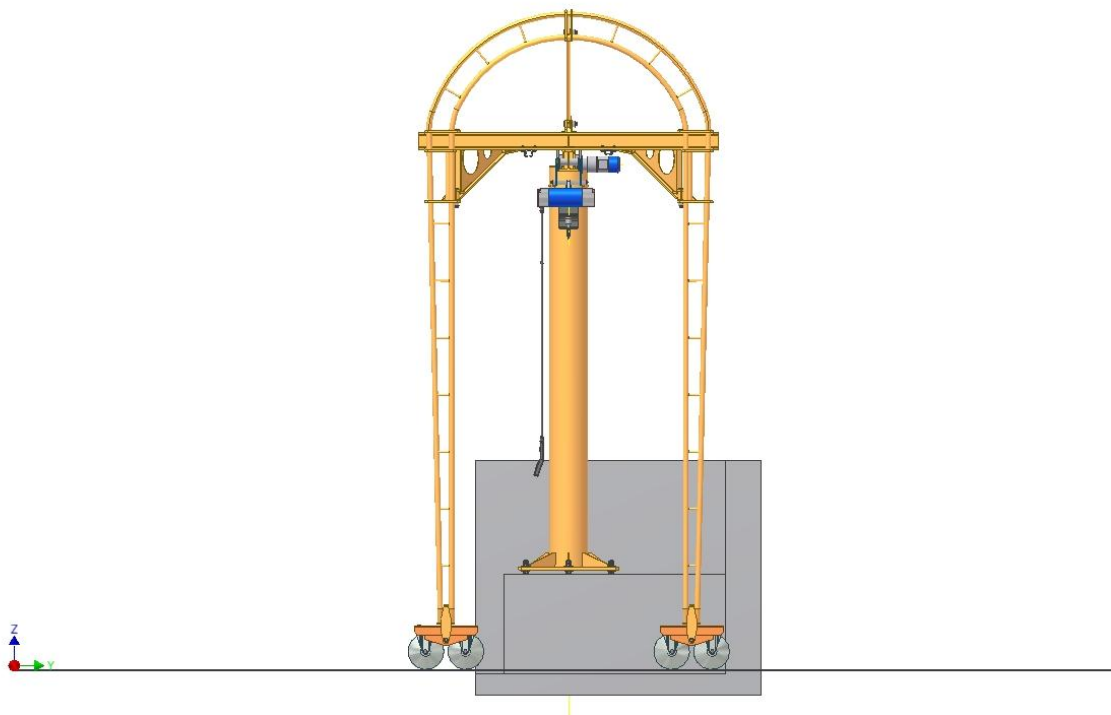
Obr. 13 – Model sestavy 1 (pohled zepředu)



P1 – Modelová sestava 2



Obr. 14 – Model sestavy 2 (pohled izometrický - horní)



Obr. 15 – Model sestavy 2 (pohled zepředu)

Výkresová dokumentace:

| | | |
|--------------------|--------------------------|------------------|
| Výkres sestavy: | Jeřáb radiální portálový | JRP/1-1-00.00.00 |
| Výkresy podsestav: | Sloup jeřábu | JRP/1-3-02.00.00 |
| | Hlavní nosník jeřábu | JRP/1-2-04.00.00 |
| | Vzpěra | JRP/1-2-08.00.00 |
| | Pojízdná stojina | JRP/1-1-03.00.00 |
| Seznam položek: | Jeřáb radiální portálový | JRP/1-1-K.00.00 |

Příloha na CD:

| | |
|------------------------|---------------------------------------|
| Technická zpráva: | Jeřáb radiální portálový (formát PDF) |
| Výkresová dokumentace: | Výkresová dokumentace (formát PDF) |