



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 NÁSTĚNNÝ

WALL CRANE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

LIBOR KOPECKÝ

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

doc. Ing. JÍŘÍ MALÁŠEK, Ph.D.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2013/2014

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Libor Kopecký

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

obor: **Stavba strojů a zařízení (2302R016)**

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

### **Jeřáb nástěnný**

v anglickém jazyce:

### **Wall crane**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Navrhnete konstrukci nástěnného jeřábu včetně důležitých pevnostních výpočtů dle zadaných parametru:

Délka vyložení ramene        3750mm

Výška zdvihu                5900mm

Nosnost                    600kg

Proveďte rozbor výběru vhodného kladkostroje,

- výrobci, parametry, ceny.

Cíle bakalářské práce:

Vypracovat technickou zprávu s rozbohem konstrukce,  
s výběrem vhodného kladkostroje, s důležitými pevnostními výpočty.

Nakreslit konstrukční výkres sestavy nástěnného jeřábu dle zadaných parametru, 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. Bigoš P., Kulka J., Kopas M., Mantic M.: Teória a stavba zdvíhacích a dopravných zariadení. TU v Košiciach. 2012. ISBN 978-80-553-1187-6
3. Jančík, L.: Části a mechanismy strojů, CVUT Praha, 2004.
4. Klimeš P.: Části a mechanismy strojů I, II, VUT Brno 2003.
5. Janíček P., Ondráček E., Vrbka J.: Pružnost a pevnost, VUT Brno, 1992.
6. Gajdušek, J., Škopán, M.: Teorie dopravních a manipulačních zařízení, skripta VUT Brno 1988.
7. Dražan, F. a kol.: Teorie a stavba dopravníku.
8. Kolár, D. a kol.: Části a mechanismy strojů.

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

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 20.11.2013

L.S.

---

prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.

Ředitel ústavu

---

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

Děkan fakulty



## ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá konstrukčním návrhem nástěnného jeřábu. Cílem práce je provést kontrolní výpočet dle aktuálních norem a vytvořit výkresovou dokumentaci pro zadání nosnosti 600 kg a vyložení 3750 mm. Dále provést vhodný výběr kladkostroje podle důležitých parametrů.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Nástěnný jeřáb, pevnostní výpočet, ocelová konstrukce, řetězový kladkostroj, výpočet na únavu, výkresová dokumentace.

## ABSTRACT

This bachelor thesis deals with constructional design of wall crane. The aim of this thesis is to perform inspecting calculation according to actual standards and to create drawing documentation for loading capacity 600 kg and unloading 3750 mm according to assignment. Another part of thesis is to perform appropriate choice of pulley block according to important parameters.

## KEYWORDS

Wall crane, strength calculation, steel construction, chain pulley block, fatigue calculation, drawing documentation.



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

KOPECKÝ, L. *Jeřáb nástěnný*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 46 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. Jiřího Maláška, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 25. května 2014

.....

Libor Kopecký



## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto bych rád poděkoval především doc. Ing. Jiřímu Maláškovi, Ph.D. a ostatním pedagogům za odbornou pomoc a cenné rady. Také bych chtěl poděkovat své rodině za podporu.



## OBSAH

Úvod .....	10
1 Druhy konstrukcí nástěnných jeřábů .....	11
1.1 Nástěnný otočný jeřáb LW .....	11
1.2 Nástěnný otočný jeřáb LWX .....	11
1.3 Nástěnný otočný jeřáb VW .....	12
2 Volba konstrukce nástěnného jeřábu .....	12
3 Upevnění nástěnných otočných jeřábů .....	13
4 Volba kladkostroje .....	14
5 Příslušenství jeřábu .....	15
6 Výpočet konstrukce .....	16
6.1 Zadané parametry a schéma .....	16
6.2 Navržené parametry .....	16
6.3 Volba dynamických součinitelů a součinitele zatížení .....	17
6.3.1 Dynamické součinitele .....	17
6.3.2 Součinitel zatížení .....	17
6.4 Zatížení stálé .....	17
6.5 Zatížení vlastní tíhou konstrukce .....	17
6.6 Úplné uvolnění a rovnice statické rovnováhy .....	19
6.7 Výpočet výložníku namáhaného na ohyb .....	20
6.8 Výpočet konzoly namáhané na ohyb a tlak .....	21
7 Výpočet konstrukce na únavu .....	25
7.1 Stanovení únavového zatížení .....	25
7.2 Výpočet maximálního únavového napětí .....	26
7.3 Výpočet minimálního únavového napětí .....	27
7.4 Prokázání únavové pevnosti .....	28
8 Kontrola na klopení výložníku .....	29
8.1 Opravný součinitel štíhlosti pro rozdělení momentů .....	29
8.2 Ekvivalentní poloměr setrvačnosti průřezu .....	29
8.3 Výpočet štíhlosti .....	30
8.4 Návrhové hodnoty ohybového momentu .....	31
8.5 Kontrola klopení .....	32
9 Návrh ložisek .....	33
9.1 Výpočet horního ložiska .....	33
9.1.1 Výpočet statické únosnosti .....	33
9.1.2 Prokázání statické bezpečnosti .....	34





9.2	Výpočet spodního ložiska .....	34
9.2.1	Výpočet statické únosnosti .....	34
9.2.2	Prokázání statické bezpečnosti .....	35
9.2.3	Axiální zatížení ložiska .....	35
10	Výpočet svarů .....	36
10.1	Svislé svary žeber horní patky .....	36
11	Výpočet sil v kotevních šroubech.....	38
	Závěr .....	39
	Použité informační zdroje.....	40
	Seznam použitých zkratk a symbolů .....	42
	Seznam obrázků.....	45
	Seznam příloh .....	46



## ÚVOD

Nástěnné jeřáby nachází uplatnění tam, kde je síla vyvinutá lidskými pažemi nedostačující pro manipulaci s břemenem a naopak kde není potřeba stavět velké a složité jeřábové konstrukce o vysokých nosnostech. Umístění nástěnných jeřábů je na nosných prvcích budov, jako jsou nosné stěny a sloupy. Proto nejsou potřeba žádné zvláštní požadavky na podlahu. Další možností je umístění nástěnného jeřábu přímo na výrobní stroj, který obrábí polotovary o vysokých hmotnostech. Nástěnné jeřáby mívají zpravidla ocelovou plnostěnnou konstrukci výložníku. Vyrábí se ve variantách s různými pracovními parametry dle potřeb zákazníků. Pokud je jeřáb otočný, je možno jej otáčet ručně nebo elektrickým pohonem. Po výložníku jezdí kočka s kladkostrojem. Jak kladkostroj, tak kočka mohou být poháněny ručně i elektricky. Nástěnný jeřáb nachází uplatnění zejména ve skladištích, výrobních a montovacích halách nebo přístavištích.



# 1 DRUHY KONSTRUKCÍ NÁSTĚNNÝCH JEŘÁBŮ

Nástěnné jeřáby můžeme obecně rozdělit na pojízdné, nepojízdné a otočné. Pro výběr konstrukce nástěnného jeřábu jsem vybral rozdělení otočných nepojízdných jeřábů podle firmy ABUS. Rozdělení u jiných výrobců je podobné (DEMAG, VETTER). Běžně se vyrábí nástěnné jeřáby s nosností až do 10 t a vyložení až 12 m. Výhodou je montáž na nosné zdi, sloupy a případně výrobní stroje, není potřeba spoléhat na kvalitu podlahové plochy.

## 1.1 NÁSTĚNNÝ OTOČNÝ JEŘÁB LW

Nástěnný otočný jeřáb LW se uplatňuje při ručním přesouvání lehkých břemen. Díky lehké konstrukci je možné jeřáb i břemeno rychle a precizně vést i při větším vyložení. Jeřáb lze upevnit pomocí upínacích konzol i na podpěry s různě velkými průřezy. [10]

Tato konstrukce je s umístěním výložníku u spodního ložiska, proto dosahuje menších výšek zdvihu.



Obr. 1. 1 Nástěnný otočný jeřáb LW [10]

## 1.2 NÁSTĚNNÝ OTOČNÝ JEŘÁB LWX

Pro použití nástěnného otočného jeřábu LWX jsou vhodné prostory s nízkými stropy, v kombinaci s požadavkem volného prostoru na zemi. Upevnění jeřábu je řešeno pomocí nástěnné konzoly, která je umístěná na ocelové podpěře na stěně místnosti. [10]



Obr. 1. 2 Nástěnný otočný jeřáb LWX [10]

### 1.3 NÁSTĚNNÝ OTOČNÝ JEŘÁB VW

Konstrukce nástěnného otočného jeřábu VW umožňuje využití rozměrů dané haly tak, že se dosáhne nejvyšší možné zdvihové výšky k přemístění břemene. Provedení upevnění je pomocí přivařovacích desek přímo na ocelové podpěry konstrukce haly. [10]



Obr. 1. 3 Nástěnný otočný jeřáb VW [10]

## 2 VOLBA KONSTRUKCE NÁSTĚNNÉHO JEŘÁBU

Vzhledem k blíže nespecifikovanému zadání v jakých prostorách bude jeřáb operovat, byla zvolena konstrukce nástěnného otočného jeřábu typu VW. Tento typ byl zvolen pro jeho robustní konstrukci a pro umístění výložníku u horního ložiska.



### 3 UPEVNĚNÍ NÁSTĚNNÝCH OTOČNÝCH JEŘÁBŮ

Možnosti připevnění nástěnných otočných jeřábů jsou na železobetonové zdi provozních hal nebo na ocelové a železobetonové podpůrné sloupy provozních hal.

Upevnění na zdi může být řešeno pomocí přivařovacích desek, na které se přivaří konstrukce jeřábu. Přivařovací desky jsou zakotveny ve zdi pomocí kotevních šroubů. Další možností upevnění na zeď je pomocí průchozích kotevních šroubů. Při upevňování jeřábu na zeď je vždy nutná kontrola budovy statikem, protože jeřáb přenáší zatížení na nosnou zeď.

Další variantou je umístění jeřábu na podpůrné sloupy. Jeřáb může být upevněn na ocelovou konstrukci pomocí šroubů. Případně se jeřáb může uchytit na železobetonové i ocelové sloupy pomocí upínacích konzol. I v tomto případě je vhodná kontrola budovy statikem.

Pokud statika budovy nevyhovuje pro upevnění nástěnného jeřábu, je nutno zvolit jinou konstrukci jeřábu (např.: sloupový jeřáb).



Obr. 3. 1 Upevnění na železobetonových podpěrách pomocí konzoly [10]



Obr. 3. 2 Upevnění na železobetonových stěnách pomocí přivařovacích desek [10]



## 4 VOLBA KLADKOSTROJE

Kladkostroje můžeme rozdělit na lanové, řetězové a pásové pro speciální účely. Pro svoji bakalářskou práci vybírám typ elektricky poháněného řetězového kladkostroje s elektrickým pojezdem kočky. Lanové kladkostroje mívají většinou větší zástavbu než kladkostroje řetězové, z toho plyne i větší hmotnost. Někteří uvedení výrobci ani nenabízí lanové kladkostroje pro nosnost 600 kg. Lanové kladkostroje nachází uplatnění zpravidla u licích jeřábů.

Tab. 1 Porovnání kladkostrojů různých výrobců

Výrobce		LIFTKET	GIGA	STAHL	HADEF	KONECRANES
Typ		STAR 071/53	CH2 630.4- JE	ST 0503- 6/1,5	AK 406 DT80 N8/2	CLX05 08 1 063 4
Nosnost	kg	630	630	630	630	630
FEM/ISO	-	3m	3m/M6	1Bm/M3	3m/M6	1AM/M4
Rychlost zdvihu	m/min	1,25/5	1/4	0,75/3,2	2,3/9,4	1,3/8
Rychlost pojezdu	m/min	5/20	5/20	5/20	4/16	4/20
Nosné průřezy	-	2	2	2	1	1
Výkon elektromotoru	kW	0,2/1,1	0,18/0,75	0,1/0,4	0,25/1	0,9
Hmotnost	kg	73	58,6	42	93,4	-
Cena bez DPH	Kč	60 551	49 800	55 452	91 025*	76 753

\*Při kurzu 1 € = 27,50 Kč

Tabulka 1 obsahuje výběr kladkostrojů tuzemských i zahraničních výrobců. Výrobci prodávají pouze kladkostroje nosnosti 630 kg. Tato nosnost je nejbližší vyšší zadání práce. Prodejce kladkostrojů LIFTKET nabízí úpravu nosnosti na 600 kg pomocí nastavení kluzné spojky. Výrobce kladkostrojů KONECRANES ve své volně dostupné technické dokumentaci neuvádí hmotnost. Volím kladkostroj LIFTKET STAR 071/53. Rozhodl jsem se tak díky vysokému zatřídění životnosti v kombinaci s vyšší rychlostí zdvihu a přijatelnou cenou. Cenově přijatelnější alternativou by také mohl být kladkostroj GIGA CH2 630.4-JE.



## 5 PŘÍSLUŠENSTVÍ JEŘÁBU

- Regulace odporu otáčení (brzda).
- Vedení napájecích elektrických kabelů.
- Ovládání kladkostroje – závěsný ovládací panel.
- Dorazy pojezdu kladkostroje.
- Ochranný nátěr konstrukce.



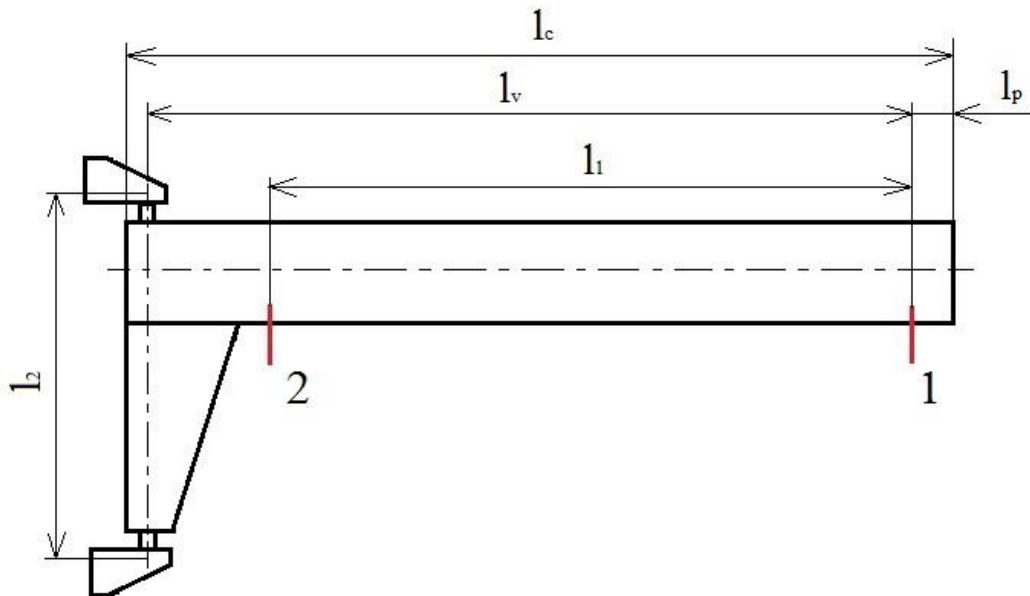
*Obr. 5. 1 Regulace odporu otáčení - řešení od firmy ABUS [10]*



## 6 VÝPOČET KONSTRUKCE

### 6.1 ZADANÉ PARAMETRY A SCHÉMA

Délka vyložení:	$l_v = 3\,750\text{ mm}$
Hmotnost břemene:	$m_b = 600\text{ kg}$
Hmotnost kladkostroje:	$m_s = 73\text{ kg}$
Výška zdvihu:	$h_z = 5\,900\text{ mm}$



Obr. 6. 1 Schéma nástěnného jeřábu

Celková délka výložníku:	$l_c = 4\,026\text{ mm}$
Vzdálenost mezi krajními polohami pojezdu kladkostroje:	$l_1 = 3\,330\text{ mm}$
Vzdálenost mezi ložisky:	$l_2 = 1\,028\text{ mm}$

### 6.2 NAVRŽENÉ PARAMETRY

Iteračním předběžným výpočtem byly stanoveny tyto parametry.

Výložník:	tyč IPE 300 ČSN 42 5553
Konzola:	svarek z plechu P10 ČSN EN 10029

Materiál: **S355J0** (dle ČSN EN 10025-2) [4] pro všechny prvky konstrukce.

Mez kluzu:	$f_y = 355\text{ MPa}$ [4]
Mez pevnosti:	$f_u = 510\text{ MPa}$ [4]





### 6.3 VOLBA DYNAMICKÝCH SOUČINITELŮ A SOUČiniteLE ZATÍŽENÍ

Při výpočtu je nutné uvažovat zatížení násobená součiniteli zatížení konstrukce a součiniteli dynamických účinků při zdvihu kladkostroje a pojezdu kočky. Hodnoty součinitelů byly stanoveny dle platných norem ČSN.

#### 6.3.1 DYNAMICKÉ SOUČiniteLE

Dle ČSN EN 13001-2 [5] pro jeřáby s třídou rozložení hmotnosti MCD1 a zvedací kategorie HC1.

Dynamický součinitel zdvihání a pro účinky tíhy, které působí na jeřáb [5]:

$$\varphi_1 = 1 + \delta \quad (-) \quad (6.1)$$

$$\varphi_1 = 1 + 0,1$$

$$\varphi_1 = 1,1$$

kde:  $\delta = 0,1$  výraz používaný při výpočtu  $\varphi_1$  (závisí na konstrukci jeřábu) [5]

Dynamický součinitel pro účinky tíhy a setrvačnosti při zdvihání břemene [5]:

$$\varphi_2 = \varphi_{2min} + \beta_2 \cdot v_h \quad (-) \quad (6.2)$$

$$\varphi_2 = 1,05 + 0,17 \cdot 0,083$$

$$\varphi_2 = 1,1$$

kde:  $\varphi_{2min} = 1,05$  výraz používaný při výpočtu  $\varphi_2$  [5, tab. 2]  
 $\beta_2 = 0,17$  výraz používaný při výpočtu  $\varphi_2$  [5, tab. 2]  
 $v_h = 0,083 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  rychlost zdvihu dle výrobce kladkostroje

#### 6.3.2 SOUČiniteLE ZATÍŽENÍ

Součinitel zatížení volen dle ČSN EN 1991-3, tab. A1 [6].

$$\varphi_f = 1,35 \quad (-)$$

### 6.4 ZATÍŽENÍ STÁLÉ

### 6.5 ZATÍŽENÍ VLASTNÍ TÍHOU KONSTRUKCE

Hmotnost výložníku:

$$m_v = q_g \cdot l_c \quad (kg) \quad (6.3)$$

$$m_v = 42,2 \cdot 4,026$$

$$m_v = 169,9 \text{ kg}$$

kde:  $q_g = 42,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$  hmotnost 1 m profilu IPE [16]

Hmotnost konzoly:

Hmotnost konzoly byla vypočtena v programu Autodesk Inventor Professional 2013 dle reálného modelu.

$$m_k = 28,27 \text{ kg}$$

Zatížení od tíhy výložníku:

$$F_v = m_v \cdot g_t \cdot \varphi_1 \cdot \varphi_f \quad (N) \quad (6.4)$$

$$F_v = 169,9 \cdot 9,81 \cdot 1,1 \cdot 1,35$$

$$F_v = 2\,475 \text{ N}$$

kde:  $g_t = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$  tíhové zrychlení

Zatížení od tíhy konzoly:

$$F_k = m_k \cdot g_t \cdot \varphi_1 \cdot \varphi_f \quad (N) \quad (6.5)$$

$$F_k = 28,27 \cdot 9,81 \cdot 1,1 \cdot 1,35$$

$$F_k = 411,9 \text{ N}$$

Zatížení jmenovitým břemenem:

Zatížení jmenovitým břemenem je uvažováno pro maximální nosnost jeřábu.

$$F_b = m_b \cdot g_t \cdot \varphi_2 \cdot \varphi_f \quad (N) \quad (6.6)$$

$$F_b = 600 \cdot 9,81 \cdot 1,1 \cdot 1,35$$

$$F_b = 8\,740,7 \text{ N}$$

Zatížení stálým břemenem:

Zatížení stálým břemenem je uvažováno jako zatížení od tíhy kladkostroje.

$$F_s = m_s \cdot g_t \cdot \varphi_1 \cdot \varphi_f \quad (N) \quad (6.7)$$

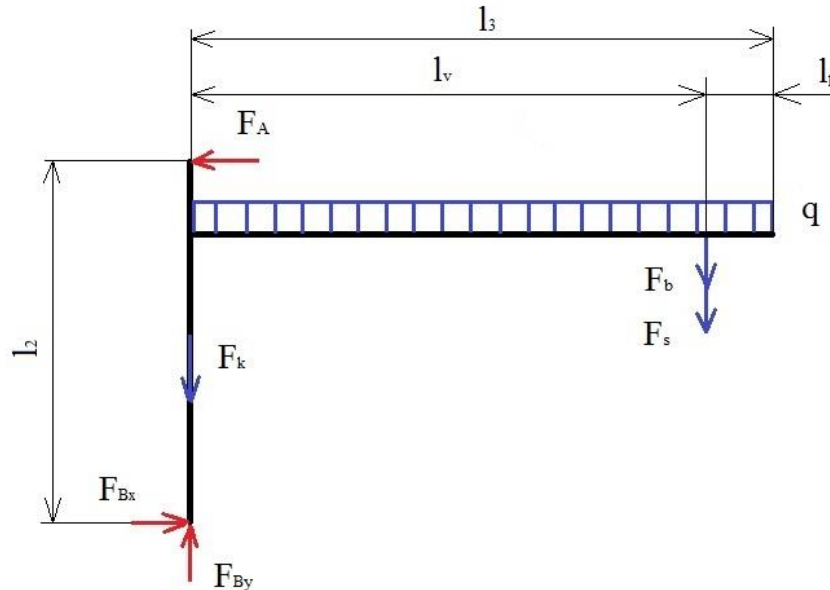
$$F_s = 73 \cdot 9,81 \cdot 1,1 \cdot 1,35$$

$$F_s = 1\,063,5 \text{ N}$$



## 6.6 ÚPLNÉ UVOLNĚNÍ A ROVNICE STATICKÉ ROVNOVÁHY

Spojité zatížení od tíhy výložníku bylo nahrazeno osamocenou silou  $F_v$  působící v těžišti výložníku. Uvažován je rovinný kartézský souřadný systém. Úloha byla řešena jako 2D.



Obr. 6. 2 Schéma úplného uvolnění konstrukce

Stanovení sil ve vazbách konstrukce:

$$\sum F_x = 0$$

$$F_{Bx} - F_A = 0 \quad (N) \quad (6.8)$$

$$\sum F_y = 0$$

$$F_{By} - F_k - F_v - F_s - F_b = 0 \quad (N) \quad (6.9)$$

$$F_{By} = F_k + F_v + F_s + F_b$$

$$F_{By} = 411,9 + 2\,475 + 1\,063,5 + 8\,740,7$$

$$F_{By} = 12\,691,1 \text{ N}$$

$$\sum M_{oB} = 0$$

$$F_A \cdot l_2 = F_s \cdot l_v + F_b \cdot l_v + F_v \cdot \frac{l_v + l_p}{2} \quad (Nm) \quad (6.10)$$



$$F_A = \frac{F_s \cdot l_v + F_b \cdot l_v + F_v \cdot \frac{l_v + l_p}{2}}{l_2}$$

$$F_A = \frac{1\,063,5 \cdot 3,75 + 8\,740,7 \cdot 3,75 + 2\,475 \cdot \frac{3,75 + 0,2}{2}}{1,028}$$

$$F_A = 40\,519,3 \text{ N}$$

kde:  $l_v = 3,75 \text{ m}$                       délka vyložení  
 $l_2 = 1,028 \text{ m}$                       vzdálenost mezi ložisky  
 $l_p = 0,2 \text{ m}$                       vzdálenost okraje výložníku od pozice 1 dle Obr. 6.1

$$F_{Bx} = F_A \quad (\text{N})$$

$$F_{Bx} = 40\,519,3 \text{ N}$$

## 6.7 VÝPOČET VÝLOŽNÍKU NAMÁHANÉHO NA OHYB

Dovolené napětí:

$$\sigma_{oD} = \frac{f_y}{k_n} \quad (\text{MPa}) \tag{6.11}$$

$$\sigma_{oD} = \frac{355}{3}$$

$$\sigma_{oD} = 118,3 \text{ MPa}$$

kde:  $f_y = 355 \text{ MPa}$                       mez kluzu voleného materiálu S355J0 [4]  
 $k_n = 3$                       návrhový součinitel (volen)

Maximální ohybový moment:

Maximální ohybový moment nastane, když se kladkostroj s maximálním zatížením od jmenovitého břemene dostane do pozice 1 dle Obr. 6.1.

$$M_{omax} = F_A \cdot l_2 \quad (\text{Nm}) \tag{6.12}$$

$$M_{omax} = 40\,519,3 \cdot 1,028$$

$$M_{omax} = 41\,653,8 \text{ Nm}$$

kde:  $l_2 = 1,028 \text{ m}$                       vzdálenost mezi ložisky



Minimální modul průřezu v ohybu:

$$W_{xmin} = \frac{M_{omax}}{\sigma_{oD}} \quad (m^3) \quad (6.13)$$

$$W_{xmin} = \frac{41\,653,8}{118,3 \cdot 10^6}$$

$$W_{xmin} = 3,52 \cdot 10^{-4} m^3 = 352 cm^3$$

Dle výrobce Feron, a.s. je průřezový modul k ose  $x$  pro tyč IPE 300 roven  $W_x = 557 cm^3$ . [16]

$$W_x > W_{xmin} \quad (cm^3) \quad (6.14)$$

$557 > 352 \Rightarrow$  **vyhovuje**

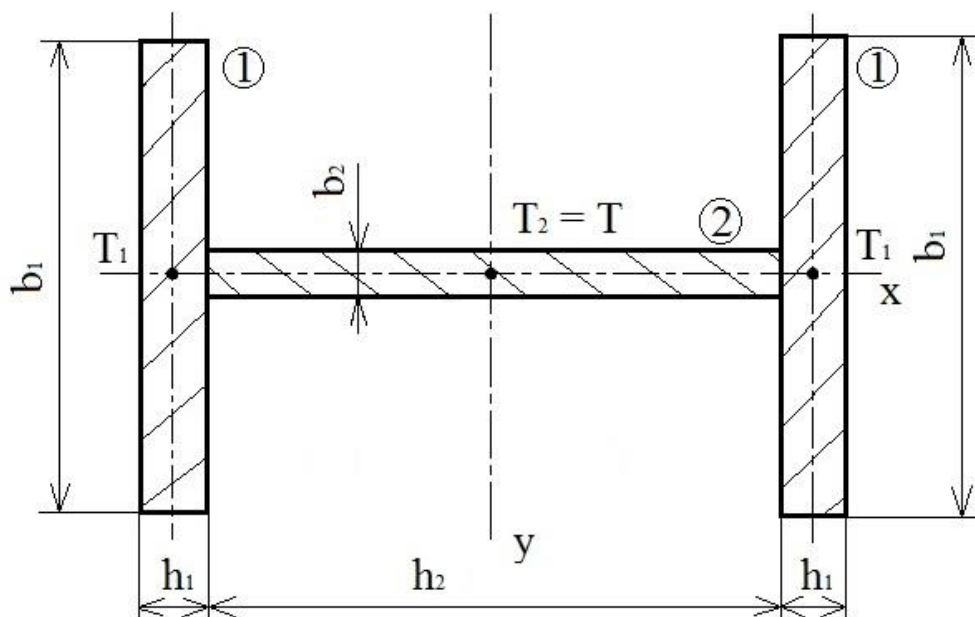
Napětí působící na výložník:

$$\sigma_{ov} = \frac{M_{omax}}{W_x} \quad (MPa) \quad (6.15)$$

$$\sigma_{ov} = \frac{41\,653,8 \cdot 10^3}{557 \cdot 10^3}$$

$$\sigma_{ov} = 74,8 MPa$$

## 6.8 VÝPOČET KONZOLY NAMÁHANÉ NA OHYB A TLAK



Obr. 6. 3 Schéma průřezu konzoly



Dle *Obr. 6.3* se zatěžovaný průřez konzoly rozdělí na tři jednoduché obdélníky. Druhý obdélník *I* je uvažován bez zkosení. Vzniklá chyba při výpočtu je zanedbatelná.

Kvadratický moment průřezu konzoly:

Nejprve byly vypočteny kvadratické momenty obdélníku *I* a *2* dle *Obr. 6.3*. Následně pomocí Steinerovy věty byl vypočten kvadratický moment průřezu konzoly.

$$I_{y1} = \frac{1}{12} \cdot b_1 \cdot h_1^3 \quad (mm^4) \quad (6.16)$$

$$I_{y1} = \frac{1}{12} \cdot 150 \cdot 10^3$$

$$I_{y1} = 1,25 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

kde:  $b_1 = 150 \text{ mm}$                       šířka obdélníku *I* dle *Obr. 6.3*  
 $h_1 = 10 \text{ mm}$                               výška obdélníku *I* dle *Obr. 6.3*

$$I_{y2} = \frac{1}{12} \cdot b_2 \cdot h_2^3 \quad (mm^4) \quad (6.17)$$

$$I_{y2} = \frac{1}{12} \cdot 10 \cdot 297^3$$

$$I_{y2} = 2,183 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

kde:  $b_2 = 10 \text{ mm}$                       šířka obdélníku *2* dle *Obr. 6.3*  
 $h_2 = 297 \text{ mm}$                               výška obdélníku *2* dle *Obr. 6.3*

$$I_y = 2 \cdot \left[ I_{y1} + \left( \frac{h_1}{2} + \frac{h_2}{2} \right)^2 \cdot b_1 \cdot h_1 \right] + I_{y2} \quad (mm^4) \quad (6.18)$$

$$I_y = 2 \cdot \left[ 1,25 \cdot 10^4 + \left( \frac{10}{2} + \frac{297}{2} \right)^2 \cdot 150 \cdot 10 \right] + 2,183 \cdot 10^7$$

$$I_y = 9,254 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$



Modul průřezu v ohybu:

$$W_y = \frac{I_y}{h_1 + \frac{h_2}{2}} \quad (mm^3) \quad (6.19)$$

$$W_y = \frac{9,254 \cdot 10^7}{10 + \frac{297}{2}}$$

$$W_y = 5,839 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

Napětí v ohybu:

$$\sigma_{ok} = \frac{M_{omax}}{W_y} \quad (MPa) \quad (6.20)$$

$$\sigma_{ok} = \frac{41\,653,8 \cdot 10^3}{5,839 \cdot 10^5}$$

$$\sigma_{ok} = 71,341 \text{ MPa}$$

kde:  $M_{omax} = 41\,653,8 \text{ Nm}$       maximální ohybový moment

Napětí v tlaku:

$$\sigma_{dk} = \frac{F_b + F_s + F_v}{2 \cdot b_1 \cdot h_1 + b_2 \cdot h_2} \quad (MPa) \quad (6.21)$$

$$\sigma_{dk} = \frac{8\,740,7 + 1\,063,5 + 2\,475}{2 \cdot 150 \cdot 10 + 10 \cdot 297}$$

$$\sigma_{dk} = 2,057 \text{ MPa}$$

kde:  $F_b = 8\,470,7 \text{ N}$       zatížení jmenovitým břemenem  
 $F_s = 1\,063,5 \text{ N}$       zatížení stálým břemenem  
 $F_v = 2\,475 \text{ N}$       zatížení od tíhy výložníku



Celkové napětí:

$$\sigma_{ck} = \sigma_{ok} + \sigma_{dk} \quad (MPa) \quad (6.22)$$

$$\sigma_{ck} = 71,341 + 2,057$$

$$\sigma_{ck} = 73,398 \text{ MPa}$$

Celkové napětí musí být menší než dovolené napětí.

$$\sigma_{oD} > \sigma_{ck} \quad (MPa) \quad (6.23)$$

$$118,3 > 73,398 \quad \Rightarrow \quad \text{vyhovuje}$$

kde:  $\sigma_{oD} = 118,3 \text{ MPa}$       maximální dovolené napětí





## 7 VÝPOČET KONSTRUKCE NA ÚNAVU

Konstrukce nástěnného jeřábu byla vypočtena na únavu dle normy ČSN EN 13001-3-1+A1. [7]

### 7.1 STANOVENÍ ÚNAVOVÉHO ZATÍŽENÍ

Pro účinky únavového zatížení je nutno stanovit únavové součinitele a přepočítat zatížení. Dle ČSN EN 1991-3 [6] byla zvolena kategorie jeřábu S<sub>7</sub>. Tato kategorie je pro skladové jeřáby s častým provozem.

Stanovení součinitele ekvivalentního poškození:

Dle ČSN EN 1991-3 [6].

$$\lambda = 1$$

Stanovení dynamického součinitele pro ekvivalentní poškození rázem:

Dle ČSN EN 1991-3 [6].

$$\varphi_{fat} = \frac{1 + \varphi_1}{2} \quad (-) \quad (7.1)$$

$$\varphi_{fat} = \frac{1 + 1,1}{2}$$

$$\varphi_{fat} = 1,05$$

kde:  $\varphi_1 = 1,1$  dynamický součinitel zdvihání a pro účinky tíhy, které působí na jeřáb [5]

Zatížení od tíhy výložníku:

$$F_{vu} = m_v \cdot g_t \cdot \varphi_{fat} \cdot \lambda \quad (N) \quad (7.2)$$

$$F_{vu} = 169,9 \cdot 9,81 \cdot 1,05 \cdot 1$$

$$F_{vu} = 1750 \text{ N}$$

kde:  $m_v = 169,9 \text{ kg}$  hmotnost výložníku  
 $g_t = 9,81 \text{ m/s}^2$  tíhové zrychlení



Zatížení od tíhy konzoly:

$$F_{ku} = m_k \cdot g_t \cdot \varphi_{fat} \cdot \lambda \quad (N) \quad (7.3)$$

$$F_{ku} = 28,3 \cdot 9,81 \cdot 1,05 \cdot 1$$

$$F_{ku} = 291,2 \text{ N}$$

kde:  $m_k = 28,3 \text{ kg}$  hmotnost konzoly

Zatížení jmenovitým břemenem:

$$F_{bu} = m_b \cdot g_t \cdot \varphi_{fat} \cdot \lambda \quad (N) \quad (7.4)$$

$$F_{bu} = 600 \cdot 9,81 \cdot 1,05 \cdot 1$$

$$F_{bu} = 6180,3 \text{ N}$$

kde:  $m_b = 600 \text{ kg}$  hmotnost břemene

Zatížení stálým břemenem:

$$F_{su} = m_s \cdot g_t \cdot \varphi_{fat} \cdot \lambda \quad (N) \quad (7.5)$$

$$F_{su} = 73 \cdot 9,81 \cdot 1,05 \cdot 1$$

$$F_{su} = 751,9 \text{ N}$$

kde:  $m_s = 73 \text{ kg}$  hmotnost kladkostroje

## 7.2 VÝPOČET MAXIMÁLNÍHO ÚNAVOVÉHO NAPĚTÍ

Maximální ohybový moment:

Maximální ohybový moment nastane, když se kladkostroj s maximálním zatížením od jmenovitého břemene dostane do pozice 1 dle Obr. 6.1.

$$M_{oumax} = (F_{su} + F_{bu}) \cdot l_v + F_{vu} \cdot \left( \frac{l_v + l_p}{2} \right) \quad (Nm) \quad (7.6)$$

$$M_{oumax} = (751,9 + 6180,3) \cdot 3,75 + 1750 \cdot \left( \frac{3,75 + 0,2}{2} \right)$$

$$M_{oumax} = 29452,2 \text{ Nm}$$



kde:  $l_v = 3,75$  m délka vyložení  
 $l_p = 0,2$  m vzdálenost okraje výložníku od pozice 1 dle Obr. 6.1

Maximální únavové napětí:

$$\sigma_{umax} = \frac{M_{oumax}}{W_x} \quad (MPa) \quad (7.7)$$

$$\sigma_{umax} = \frac{29\,452,2 \cdot 10^3}{557\,000}$$

$$\sigma_{umax} = 52,9 \text{ MPa}$$

kde:  $W_x = 557 \text{ cm}^3$  průřezový modul k ose  $x$  [16]

### 7.3 VÝPOČET MINIMÁLNÍHO ÚNAVOVÉHO NAPĚTÍ

Minimální ohybový moment:

Minimální ohybový moment nastane, když se kladkostroj s maximálním zatížením od jmenovitého břemene dostane do pozice 2 dle Obr. 6.1.

$$M_{oumin} = (F_{su} + F_{bu}) \cdot (l_v - l_1) + F_{vu} \cdot \left( \frac{l_v + l_p}{2} \right) \quad (Nm) \quad (7.8)$$

$$M_{oumin} = (751,9 + 6\,180,3) \cdot (3,75 - 3,33) + 1750 \cdot \left( \frac{3,75 + 0,2}{2} \right)$$

$$M_{oumin} = 6\,367,8 \text{ Nm}$$

kde:  $l_1 = 3,33$  m vzdálenost mezi krajními polohami pojezdu kladkostroje

Minimální únavové napětí:

$$\sigma_{umin} = \frac{M_{oumin}}{W_x} \quad (MPa) \quad (7.9)$$

$$\sigma_{umin} = \frac{6\,367,8 \cdot 10^3}{557\,000}$$

$$\sigma_{umin} = 11,4 \text{ MPa}$$



## 7.4 PROKÁZÁNÍ ÚNAVOVÉ PEVNOSTI

Největší rozkmit návrhových napětí:

$$\Delta\sigma_{sd} = \sigma_{umax} - \sigma_{umin} \quad (MPa) \quad (7.10)$$

$$\Delta\sigma_{sd} = 52,9 - 11,4$$

$$\Delta\sigma_{sd} = 41,5 \text{ MPa}$$

Dílčí součinitel spolehlivosti únavové pevnosti:

Volen dle ČSN EN 13001-3-1+A1. [7]

$$\gamma_{mf} = 1,2 \quad (-)$$

Konstanta sklonu:

Volena dle ČSN EN 13001-3-1+A1. [7]

$$m_x = 3 \quad (-)$$

Parametr historie napětí:

Pro kategorii jeřábu S7. Volen dle ČSN EN 13001-3-1+A1. [7]

$$s_3 = 1 \quad (-)$$

Charakteristická únavová pevnost detailů:

Pro symetrické koutové svary stupně kvality C. Volena dle ČSN EN 13001-3-1+A1. [7, str. 67]

$$\Delta\sigma_c = 63 \text{ MPa}$$

Návrhový rozkmit napětí únosnosti:

$$\Delta\sigma_{rd} = \frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{mf} \cdot \sqrt[m_x]{s_3}} \quad (MPa) \quad (7.11)$$

$$\Delta\sigma_{rd} = \frac{63}{1,2 \cdot \sqrt[3]{1}}$$

$$\Delta\sigma_{rd} = 52,5 \text{ MPa}$$

Musí platit:

$$\Delta\sigma_{sd} \leq \Delta\sigma_{rd} \quad (MPa) \quad (7.12)$$

$$41,5 \leq 52,5 \quad \Rightarrow \quad \text{vyhovuje}$$



## 8 KONTROLA NA KLOPENÍ VÝLOŽNÍKU

Kontrola byla provedena zjednodušeným výpočtem dle ČSN EN 1993-1-1. [8] Pruty s jednotlivými příčnými podporami tlačené pásnice nejsou citlivé na klopení, jestliže vzdálenost  $l_v$  mezi příčnými podporami nebo výsledná štíhlost  $\lambda_f$  ekvivalentní tlačené pásnice vyhovuje vztahu (8.12). [8]

### 8.1 OPRAVNÝ SOUČINITEL ŠTÍHLOSTI PRO ROZDĚLENÍ MOMENTŮ

Výpočet dle ČSN EN 1993-1-1. [8]

$$k_{cx} = \frac{1}{1,33 - 0,33 \cdot \psi} \quad (-) \quad (8.1)$$

$$k_{cx} = \frac{1}{1,33 - 0,33 \cdot 0}$$

$$k_{cx} = 0,752$$

kde:  $\psi = 0$  (-) poměr napětí [8]

### 8.2 EKVIVALENTNÍ POLOMĚR SETRVAČNOSTI PRŮŘEZU

Kvadratický moment tlačené pásnice k ose nejmenší tuhosti průřezu:

$$I_{py} = \frac{1}{12} \cdot b_a^3 \cdot t_a \quad (cm^4) \quad (8.2)$$

$$I_{py} = \frac{1}{12} \cdot 15^3 \cdot 1,07$$

$$I_{py} = 300,9 \text{ cm}^4$$

kde:  $t_a = 10,7$  mm tloušťka pásnice profilu IPE [16]  
 $b_a = 150$  mm šířka profilu IPE [16]

Kvadratický moment jedné třetiny tlačené stojiny k ose nejmenší tuhosti průřezu:

$$I_{sy} = \frac{1}{3} \cdot \frac{s_a^3 \cdot \left[ \left( \frac{h_a}{2} \right) - t_a \right]}{12} \quad (mm^4) \quad (8.3)$$

$$I_{sy} = \frac{1}{3} \cdot \frac{7,1^3 \cdot \left[ \left( \frac{300}{2} \right) - 10,7 \right]}{12}$$

$$I_{sy} = 1 \text{ 384,9 mm}^4$$



kde:  $s_a = 7,1$  mm                      tloušťka stojiny profilu IPE [16]  
 $h_a = 300$  mm                              výška profilu IPE [16]

Součet kvadratických momentů celkového průřezu:

$$I_{fy} = I_{py} + I_{sy} \quad (cm^4) \quad (8.4)$$

$$I_{fy} = 300,9 + 0,139$$

$$I_{fy} = 301,039 \text{ cm}^4$$

Účinná plocha tlačené pásnice a jedné třetiny stojiny:

$$A_f = \frac{1}{3} \cdot \left[ \left( \frac{h_a}{2} \right) - t_a \right] \cdot s_a + b_a \cdot t_a \quad (mm^2) \quad (8.5)$$

$$A_f = \frac{1}{3} \cdot \left[ \left( \frac{300}{2} \right) - 10,7 \right] \cdot 7,1 + 150 \cdot 10,7$$

$$A_f = 1\,934,68 \text{ mm}^2$$

Ekvivalentní poloměr setrvačnosti průřezu:

$$i_{fy} = \sqrt{\frac{I_{fy}}{A_f}} \quad (mm) \quad (8.6)$$

$$i_{fy} = \sqrt{\frac{3\,010\,390}{1934,68}}$$

$$i_{fy} = 39,5 \text{ mm}$$

### 8.3 VÝPOČET ŠTÍHLOSTI

Poměrné přetvoření:

$$\varepsilon_x = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad (-) \quad (8.7)$$

$$\varepsilon_x = \sqrt{\frac{235}{355}}$$



$$\varepsilon_x = 0,814$$

kde:  $f_y = 355 \text{ MPa}$       mez kluzu [4]

Hodnota štíhlosti pro výpočet poměrné štíhlosti:

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon_x \quad (-) \quad (8.8)$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot 0,814$$

$$\lambda_1 = 76,4$$

Největší hodnota štíhlosti:

$$\lambda_{c0} = \lambda_{LT0} + 0,1 \quad (-) \quad (8.9)$$

$$\lambda_{c0} = 0,4 + 0,1$$

$$\lambda_{c0} = 0,5$$

kde:  $\lambda_{LT0} = 0,4$       délka vodorovné části křivky klopení [8]

#### 8.4 NÁVRHOVÉ HODNOTY OHYBOVÉHO MOMENTU

Návrhová únosnost v ohybu při klopení:

$$M_{c,Rd} = W_x \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} \quad (Nm) \quad (8.10)$$

$$M_{c,Rd} = 557 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{355 \cdot 10^6}{1}$$

$$M_{c,Rd} = 197\,735 \text{ Nm}$$

kde:  $\gamma_{M1} = 1$       dílčí součinitel únosnosti prutu při posuzování stability prutu [8]

Největší návrhová hodnota ohybového momentu:

$$M_{y,Ed} = M_{omax} \quad (Nm) \quad (8.11)$$

$$M_{y,Ed} = 41\,653,8 \text{ Nm}$$

kde:  $M_{omax} = 41\,653,8 \text{ Nm}$       maximální ohybový moment



## 8.5 KONTROLA KLOPENÍ

$$\lambda_f = \frac{k_{cx} \cdot l_v}{i_{fy} \cdot \lambda_1} \leq \lambda_{c0} \cdot \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}} \quad (-) \quad (8.12)$$

$$\frac{0,752 \cdot 3\,750}{39,5 \cdot 76,4} \leq 0,5 \cdot \frac{197\,735}{41\,653,8}$$

$0,936 \leq 2,374 \Rightarrow$  **vyhovuje** – nenastane klopení výložníku

kde:  $l_v = 3\,750$  mm      délka vyložení  
 $\lambda_f = 0,936$               výsledná štíhlost ekvivalentní tlačené pásnice



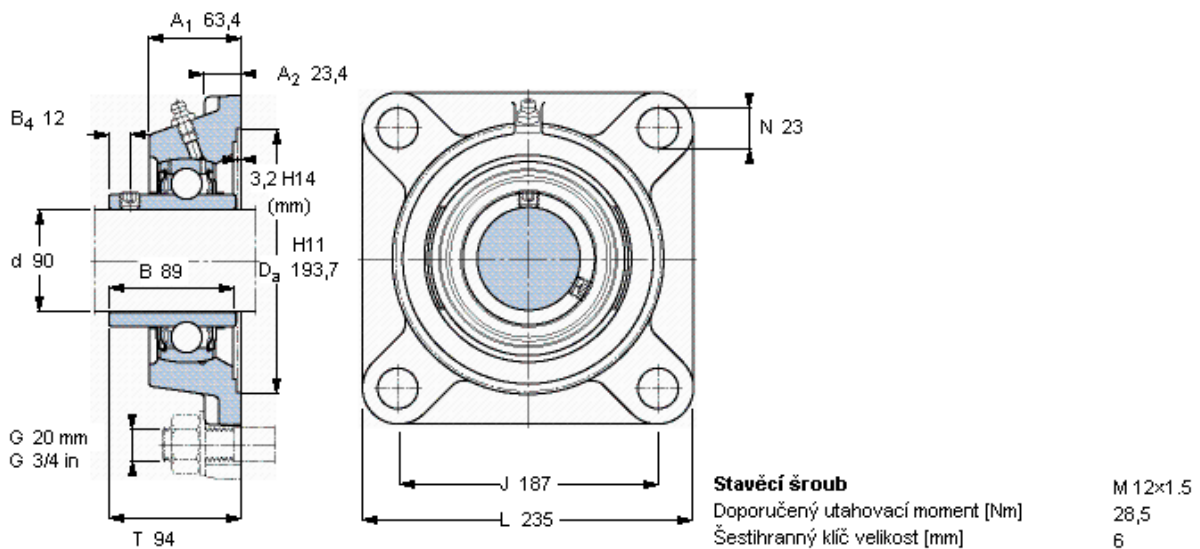


## 9 NÁVRH LOŽISEK

Ložiska byla volena a vypočtena dle katalogu firmy SKF. [20] Ložiska se budou v provozu pouze pomalu otáčet, proto byl výpočet proveden pouze na statickou únosnost. Ložiska jsou uložena v přírubové ložiskové jednotce také od firmy SKF. Tyto ložiskové jednotky jsou utěsněny a naplněny plastickým mazivem. Horní i spodní ložisko je identické.

### 9.1 VÝPOČET HORNÍHO LOŽISKA

Horní ložisko je namáhané pouze radiální silou. Byla zvolena přírubová ložisková jednotka Y, litinové těleso, čtvercová příruba, zajištění stavěcím šroubem, označení **FYJ 90 TF**. [18]



Obr. 9. 1 Ložisková jednotka FYJ 90 TF [18]

#### 9.1.1 VÝPOČET STATICKÉ ÚNOSNOSTI

Ekvivalentní zatížení:

$$P_{01} = F_A \quad (N) \quad (9.1)$$

$$P_{01} = 40\,519,3 \text{ N}$$

kde:  $F_A = 40\,519,3 \text{ N}$  radiální síla v horním ložisku

Statická únosnost [20]:

$$s_{01} = \frac{C_{01}}{P_{01}} \quad (-) \quad (9.2)$$



$$s_{01} = \frac{72\,000}{40\,519,3}$$

$$s_{01} = 1,777$$

kde:  $C_{01} = 72\text{ kN}$  základní statická únosnost ložiska [18]

### 9.1.2 PROKÁZÁNÍ STATICKÉ BEZPEČNOSTI

$$s_{01} \geq s_0 \quad (-) \tag{9.3}$$

$1,777 \geq 1 \Rightarrow$  ložisko **vyhovuje**

kde:  $s_0 = 1$  součinitel statické bezpečnosti dle SKF [20]

## 9.2 VÝPOČET SPODNÍHO LOŽISKA

Spodní ložisko je namáhané v radiálním i axiálním směru. Alternativou za ložiskovou jednotku by mohla být kombinace axiálního a radiálního ložiska. Tato alternativa by byla konstrukčně komplikovanější a dražší.

### 9.2.1 VÝPOČET STATICKÉ ÚNOSNOSTI

Ekvivalentní zatížení [19]:

$$P_{02} = 0,6 \cdot F_{Bx} + 0,5 \cdot F_{By} \quad (N) \tag{9.4}$$

$$P_{02} = 0,6 \cdot 40\,519,3 + 0,5 \cdot 12\,691,1$$

$$P_{02} = 30\,657,1\text{ N}$$

kde:  $F_{Bx} = 40\,519,3\text{ N}$  radiální síla ve spodním ložisku  
 $F_{By} = 12\,691,1\text{ N}$  axiální síla ve spodním ložisku

Posouzení ekvivalentního zatížení:

Pro  $P_{02} < F_{Bx}$  je třeba použít  $P_{02} = F_{Bx}$ . [19]

$$P_{02} < F_{Bx} \quad (N) \tag{9.5}$$

$$30\,657,1 < 40\,519,3 \Rightarrow P_{02} = F_{Bx} = 40\,519,3\text{ N}$$



Statická únosnost:

$$s_{02} = \frac{C_{01}}{P_{02}} \quad (-) \quad (9.6)$$

$$s_{02} = \frac{72\,000}{40\,519,3}$$

$$s_{02} = 1,777$$

### 9.2.2 PROKÁZÁNÍ STATICKÉ BEZPEČNOSTI

$$s_{02} \geq s_0 \quad (-) \quad (9.7)$$

$1,777 \geq 1 \Rightarrow$  ložisko **vyhovuje**

### 9.2.3 AXIÁLNÍ ZATÍŽENÍ LOŽISKA

Pokud se vnitřní kroužek opírá o opěrnou plochu osazení na hřídeli, potom přípustné axiální zatížení závisí na vlastnostech této plochy. Všeobecně platí, že axiální zatížení působící na ložisko by nemělo překročit  $0,25 \cdot C_{01}$ . [21]

Maximální axiální zatížení:

$$P_{xmax} = 0,25 \cdot C_{01} \quad (N) \quad (9.8)$$

$$P_{xmax} = 0,25 \cdot 72\,000$$

$$P_{xmax} = 18\,000 \text{ N}$$

Prokázání únosnosti v axiálním směru:

$$P_{xmax} \geq F_{By} \quad (N) \quad (9.9)$$

$18\,000 \geq 12\,691,1 \Rightarrow$  ložisko **vyhovuje**

Alternativní volbou pro vyšší spolehlivost je možnost volit dražší konstrukci ložiskové jednotky se soudečkovým ložiskem od firmy SKF.



## 10 VÝPOČET SVARŮ

K posouzení byly vybrány pouze svislé svary žeber, které spojují přípevnovací desku s deskou pro připevnění ložiskové jednotky. Uvažováno je pouze normálové napětí, které je kolmé na směr svaru.

### 10.1 SVISLÉ SVARY ŽEBER HORNÍ PATKY

Zatížení horní konzoly:

$$F_h = F_A \cdot \varphi_1 \cdot \varphi_f \quad (N) \quad (10.1)$$

$$F_h = 40\,519,3 \cdot 1,1 \cdot 1,35$$

$$F_h = 60\,171,1 \text{ N}$$

kde:  $F_A = 40\,519,3 \text{ N}$       radiální síla v horním ložisku  
 $\varphi_1 = 1,1$                       dynamický součinitel zdvihání a pro účinky tíhy, které působí na jeřáb [5]  
 $\varphi_f = 1,35$                       součinitel zatížení [6]

Návrhové normálové napětí ve svaru:

Výpočet dle ČSN EN 13001-3-1+A1. [7]

$$\sigma_{wSd} = \frac{F_h}{n_r \cdot a_r \cdot l_r} \quad (MPa) \quad (10.2)$$

$$\sigma_{wSd} = \frac{60\,171,1}{4 \cdot 6 \cdot 140}$$

$$\sigma_{wSd} = 17,9 \text{ MPa}$$

kde:  $n_r = 4$                       počet svarů  
 $a_r = 6 \text{ mm}$                       tloušťka svaru  
 $l_r = 140 \text{ mm}$                       délka svaru

Návrhové napětí únosnosti svaru:

Výpočet dle ČSN EN 13001-3-1+A1. [7]

$$f_{wRd} = \frac{\alpha_w \cdot f_y}{\gamma_m} \quad (MPa) \quad (10.3)$$

$$f_{wRd} = \frac{1 \cdot 355}{1,1}$$

$$f_{wRd} = 322,7 \text{ MPa}$$



kde:  $\alpha_w = 1$  součinitel v závislosti na typu svaru, druhu napětí a materiálu [7]  
 $f_y = 355 \text{ MPa}$  mez kluzu [4]  
 $\gamma_m = 1,1$  obecný součinitel spolehlivosti [7]

Prokázání únosnosti svaru:

$$f_{wRd} \geq \sigma_{wsd} \quad (\text{MPa}) \quad (10.4)$$

$322,7 \geq 17,9 \Rightarrow$  svar **vyhovuje**



## 11 VÝPOČET SIL V KOTEVNÍCH ŠROUBECH

Horní upevňovací patka je namáhána na tah a spodní upevňovací patka je namáhána tlakem. Horní i spodní patka je uchycena pomocí čtyř šroubů.

Zatížení jednoho šroubu:

$$F_{h1} = \frac{F_h}{4} \quad (N) \quad (11.1)$$

$$F_{h1} = \frac{60\,171,1}{4}$$

$$F_{h1} = 15\,042,8 \text{ N}$$

Únosnost v tahu jednoho šroubu [3, str. 475]:

Výpočet pro na zapuštěný šroub. Byl zvolen šroub pevnostní třídy 8.8.

$$F_{tRn} = \frac{0,9 \cdot f_{us} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} \quad (N) \quad (11.2)$$

$$F_{tRn} = \frac{0,9 \cdot 800 \cdot 157}{1,25}$$

$$F_{tRn} = 90\,432 \text{ N}$$

kde:  $f_{us} = 800 \text{ MPa}$       minimální pevnost v tahu šroubu [3, str. 442]  
 $A_s = 157 \text{ mm}^2$       výpočtový průřez šroubu [3, str. 420]  
 $\gamma_{M2} = 1,25$       součinitel spolehlivosti materiálu [3, str. 474]

Prokázání únosnosti svaru:

$$F_{tRn} \geq F_{h1} \quad (N) \quad (11.3)$$

$90\,432 \geq 15\,042,8 \Rightarrow$  zvolený šroub **vyhovuje**



## ZÁVĚR

Dle zadaných parametrů byla vybrána vhodná konstrukce otočného nástěnného jeřábu. Byla zvolena robustní konstrukce typu VW (dle rozdělení firmy ABUS) s umístěním výložníku u horního ložiska. Dále byl vybrán vhodný elektrický řetězový kladkostroj v porovnání s konkurencí. Byl vybrán kladkostroj LIFTKET STAR 071/53 s elektrickým pojezdem kočky. Bylo navrženo i vhodné příslušenství jeřábu.

Pevnostní výpočty konstrukce zahrnují výpočet namáhání výložníku a konzoly pro stanovená zatížení. Výpočty byly provedeny dle platných norem. Byl proveden výpočet na únavu konstrukce dle normy ČSN EN 13001-3-1+A1. Dále byl zkontrolován výložník na klopení dle normy ČSN EN 1993-1-1. Ložiska byla navržena dle pokynů SKF, horní i spodní ložisko je identické. Navržená ložiska jsou dodávána v ložiskových jednotkách také od firmy SKF. Dle zadání byl vytvořen výkres sestavy nástěnného jeřábu a výkres svarku výložníku.



## POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] BIGOŠ, Peter et al. *Teória a stavba zdvíhacích a dopravných zariadení*. Vyd. 1. Košice: TU v Košiciach, Strojnícka fakulta, 2012, 356 s. ISBN 978-80-553-1187-6.
- [2] REMTA, František et al. *Jeřáby*. 2., přeprac. a dopln. vyd. Praha: SNTL, 1974, 645, [1] s.
- [3] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R MISCHKE a Richard G BUDYNAS. *Konstruování strojních součástí*. 1. vyd. Editor Martin Hartl, Miloš Vlk. Brno: VUTIUM, 2010, 1159 s. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [4] ČSN EN 10025-2. *Výrobky válcované za tepla z konstrukčních ocelí - Část 2: Technické dodací podmínky pro nelegované konstrukční oceli*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [5] ČSN EN 13001-2. *Jeřáby – Návrh všeobecně – Část 2: Účinky zatížení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [6] ČSN EN 1991-3. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 3: Zatížení od jeřábů a strojního vybavení*. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [7] ČSN EN 13001-3-1+A1. *Jeřáby - Návrh všeobecně - Část 3-1: Mezní stavy a prokázání způsobilosti ocelových konstrukcí*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
- [8] ČSN EN 1993-1-1. *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [9] ČSN ISO 690. *Informace a dokumentace – Pravidla pro bibliografické odkazy a citace informačních zdrojů*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [10] ABUS. *Katalog Otočné jeřáby* [online]. 2009 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://www.iteco.cz/files/ckeditor/Soubory/jeraby-otocne.pdf>
- [11] LIFTKET. *Elektrické řetězové kladkostroje* [online]. 2011 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://www.kladkostroje.cz/prilohy/soubory/katalog-liftket-star.pdf>
- [12] GIGA. *Elektrické řetězové kladkostroje GIGA* [online]. 2010 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: [http://www.gigasro.cz/files/katalogy/giga\\_chain\\_hoists\\_catalogue\\_-\\_2010.pdf](http://www.gigasro.cz/files/katalogy/giga_chain_hoists_catalogue_-_2010.pdf)
- [13] STAHL. *Chain hoists Product information* [online]. 2013 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: [http://www.stahlcranes.com/\\_media/download/pdf/produkte/hebezeuge/kettenzuege/pi\\_kettenzug\\_2013\\_11\\_st\\_de\\_en\\_fr.pdf](http://www.stahlcranes.com/_media/download/pdf/produkte/hebezeuge/kettenzuege/pi_kettenzug_2013_11_st_de_en_fr.pdf)
- [14] HADEF. *Electric chain hoist* [online]. 2012 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: [http://update.hadef.de/cms/pdfs/fig66\\_04.pdf](http://update.hadef.de/cms/pdfs/fig66_04.pdf)





- [15] KONECRANES. *CLX Chain hoist* [online]. 2012 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: [http://www.konecranes.cz/sites/default/files/download/konecranes\\_brochure\\_clx\\_chain\\_hoist\\_en.pdf](http://www.konecranes.cz/sites/default/files/download/konecranes_brochure_clx_chain_hoist_en.pdf)
- [16] FERONA, a.s. *Tyč průřezu IPE válcovaná za tepla* [online]. 2014 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://www.ferona.cz/cze/katalog/detail.php?id=25508>
- [17] VETTER KRANTECHNIK. *UNI End buffer* [online]. 2014 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: [http://www.vetter-krane.de/html/uni\\_end\\_buffer-349.html?lng=en](http://www.vetter-krane.de/html/uni_end_buffer-349.html?lng=en)
- [18] SKF. *Přírubové ložiskové jednotky Y* [online]. 2014 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://secure.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/bearing-units/ball-bearing-units/y-bearing-flanged-units/cast-housing-square-flange-grub-screw-locking/index.html?prodid=212601090&imperial=false>
- [19] SKF. *Ekvivalentní statické zatížení ložiska* [online]. 2014 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/ball-bearings/y-bearings/equivalent-static-bearing-load/index.html>
- [20] SKF. *Potřebná statická únosnost* [online]. 2014 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/roller-bearings/principles/selection-of-bearing-size/selecting-bearing-size-using-static-load/required-basic-static-load-rating/index.html>
- [21] SKF. *Axiální únosnost* [online]. 2014 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/ball-bearings/y-bearings/axial-load-carrying-ability/index.html>
- [22] ELASTCOM. *Dvouvrstvý systém* [online]. 2014 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://www.elastcom.cz/dvouvrstvy-system/>



## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

$A_f$	[mm <sup>2</sup> ]	účinná plocha tlačené pásnice a jedné třetiny stojiny
$a_r$	[mm]	tloušťka svaru
$A_s$	[mm <sup>2</sup> ]	výpočtový průřez šroubu
$b_1$	[mm]	šířka obdélníku 1
$b_2$	[mm]	šířka obdélníku 2
$b_a$	[mm]	šířka profilu IPE
$C_{01}$	[kN]	základní statická únosnost ložiska
$F_A$	[N]	radiální síla v horním ložisku
$F_b$	[N]	zatížení jmenovitým břemenem
$F_{bu}$	[N]	únavové zatížení jmenovitým břemenem
$F_{Bx}$	[N]	radiální síla ve spodním ložisku
$F_{By}$	[N]	axiální síla ve spodním ložisku
$F_h$	[N]	zatížení horní konzoly
$F_{h1}$	[N]	zatížení jednoho šroubu
$F_k$	[N]	zatížení od tíhy konzoly
$F_{ku}$	[N]	únavové zatížení od tíhy konzoly
$F_s$	[N]	zatížení stálým břemenem
$F_{su}$	[N]	únavové zatížení stálým břemenem
$F_{tRn}$	[N]	únosnost v tahu jednoho šroubu
$f_u$	[MPa]	mez pevnosti
$f_{us}$	[MPa]	minimální pevnost v tahu šroubu
$F_v$	[N]	zatížení od tíhy výložníku
$F_{vu}$	[N]	únavové zatížení od tíhy výložníku
$f_{wRd}$	[MPa]	návrhové napětí únosnosti svaru
$f_y$	[MPa]	mez kluzu
$g_t$	[m.s <sup>-2</sup> ]	tíhové zrychlení
$h_1$	[mm]	výška obdélníku 1
$h_2$	[mm]	výška obdélníku 2
$h_a$	[mm]	výška profilu IPE
$h_z$	[mm]	výška zdvihu
$I_{fy}$	[cm <sup>4</sup> ]	součet účinných momentu setrvačnosti
$i_{fy}$	[mm]	ekvivalentní poloměr setrvačnosti průřezu



$I_{py}$	[cm <sup>4</sup> ]	kvadratický moment tlačené pásnice k ose nejmenší tuhosti průřezu
$I_{sy}$	[mm <sup>4</sup> ]	kvadratický moment 1/3 tlačené stojiny k ose nejmenší tuhosti průřezu
$I_y$	[mm <sup>4</sup> ]	kvadratický moment průřezu konzoly
$I_{y1}$	[mm <sup>4</sup> ]	kvadratický moment obdélníku 1
$I_{y2}$	[mm <sup>4</sup> ]	kvadratický moment obdélníku 2
$k_{cx}$	[-]	opravný součinitel štíhlosti pro rozdělení momentů
$k_n$	[-]	návrhový součinitel
$l_1$	[mm]	vzdálenost mezi krajními polohami pojezdu kladkostroje
$l_2$	[mm]	vzdálenost mezi ložisky
$l_3$	[mm]	vzdálenost od osy otáčení ke konci výložníku
$l_c$	[mm]	celková délka výložníku
$l_p$	[mm]	vzdálenost okraje výložníku od pozice <i>Idle Obr. 6.1</i>
$l_r$	[mm]	délka svaru
$l_v$	[mm]	délka vyložení
$m_b$	[kg]	hmotnost břemene
$M_{c\_Rd}$	[N.m]	návrhová únosnost v ohybu
$m_k$	[kg]	hmotnost konzoly
$M_{omax}$	[N.m]	maximální ohybový moment
$M_{oumax}$	[N.m]	maximální únavový ohybový moment
$M_{oumin}$	[N.m]	minimální únavový ohybový moment
$m_s$	[kg]	hmotnost kladkostroje
$m_v$	[kg]	hmotnost výložníku
$m_x$	[-]	konstanta sklonu
$M_{y\_Ed}$	[N.m]	Největší návrhová hodnota ohybového momentu
$n_r$	[-]	počet svarů
$P_{01}$	[N]	ekvivalentní zatížení horního ložiska
$P_{02}$	[N]	ekvivalentní zatížení spodního ložiska
$P_{xmax}$	[N]	maximální axiální zatížení
$q_g$	[kg.m <sup>-1</sup> ]	hmotnost 1 m profilu IPE
$s_0$	[-]	součinitel statické bezpečnosti
$s_{01}$	[-]	statická únosnost horního ložiska
$s_{02}$	[-]	statická únosnost spodního ložiska
$s_3$	[-]	parametr historie napětí



$S_7$	[-]	kategorie jeřábu
$s_a$	[mm]	šířka profilu IPE
$t_a$	[mm]	tloušťka pásnice profilu IPE
$v_h$	[m.s <sup>-1</sup> ]	rychlost zdvihu dle výrobce kladkostroje
$W_x$	[m <sup>3</sup> ]	modul průřezu v ohybu
$W_{xmin}$	[m <sup>3</sup> ]	minimální modul průřezu v ohybu
$W_y$	[m <sup>3</sup> ]	modul průřezu v ohybu
$\alpha_w$	[-]	součinitel v závislosti na typu svaru, druhu napětí a materiálu
$\beta$	[-]	výraz použitý při výpočtu $\varphi_2$
$\gamma_m$	[-]	obecný součinitel spolehlivosti
$\gamma_{M2}$	[-]	součinitel spolehlivosti materiálu
$\gamma_{mf}$	[-]	součinitel spolehlivosti únavové pevnosti
$\gamma_{M1}$	[-]	součinitel únosnosti prutu při posuzování stability
$\delta$	[-]	výraz použitý při výpočtu $\varphi_1$
$\varepsilon_x$	[-]	poměrné přetvoření
$\lambda$	[-]	součinitel ekvivalentního poškození
$\lambda_1$	[-]	hodnota štíhlosti pro výpočet poměrné štíhlosti
$\lambda_{c0}$	[-]	největší hodnota štíhlosti
$\lambda_f$	[-]	výsledná štíhlost ekvivalentní tlačené pásnice
$\lambda_{LT0}$	[-]	délka vodorovné části křivky klopení
$\sigma_{ck}$	[MPa]	celkové napětí
$\sigma_{dk}$	[MPa]	napětí v tlaku
$\sigma_{oD}$	[MPa]	dovolené napětí
$\sigma_{ok}$	[MPa]	napětí v ohybu
$\sigma_{ov}$	[MPa]	napětí působící na výložník
$\sigma_{umax}$	[MPa]	maximální únavové napětí
$\sigma_{umin}$	[MPa]	minimální únavové napětí
$\sigma_{wSd}$	[MPa]	návrhové normálové napětí ve svaru
$\varphi_1$	[-]	dynamický součinitel zdvihání a pro účinky tíhy, které působí na jeřáb
$\varphi_2$	[-]	dynamický součinitel pro účinky tíhy a setrvačnosti při zdvihání břemene
$\varphi_{2min}$	[-]	výraz použitý při výpočtu $\varphi_2$
$\varphi_f$	[-]	součinitel zatížení
$\varphi_{fat}$	[-]	dynamický součinitel pro ekvivalentní poškození rázem



$\psi$  [-] poměr napětí

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. 1 Nástěnný otočný jeřáb LW [10] .....	11
Obr. 1. 2 Nástěnný otočný jeřáb LWX [10] .....	12
Obr. 1. 3 Nástěnný otočný jeřáb VW [10].....	12
Obr. 3. 1 Upevnění na železobetonových podpěrách pomocí konzoly [10] .....	13
Obr. 3. 2 Upevnění na železobetonových stěnách pomocí přivařovacích desek [10].....	13
Obr. 5. 1 Regulace odporu otáčení - řešení od firmy ABUS [10] .....	15
Obr. 6. 1 Schéma nástěnného jeřábu .....	16
Obr. 6. 2 Schéma úplného uvolnění konstrukce.....	19
Obr. 6. 3 Schéma průřezu konzoly .....	21
Obr. 9. 1 Ložisková jednotka FYJ 90 TF [18] .....	33



## SEZNAM PŘÍLOH

### Výkresová dokumentace

JEŘÁB NÁSTĚNNÝ	2-024-000
SEZNAM POLOŽEK	4-024-000
VÝLOŽNÍK	2-024-001