



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

MICHAL MATUŠKA

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: 2012/13

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Michal Matuška

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

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

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 nástěnný**

v anglickém jazyce:

### **Wall crane**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Navrhněte konstrukci nástěnného jeřábu včetně důležitých pevnostních výpočtů dle zadaných parametrů:

Délka vyložení ramene            3150mm

Výška zdvihu                        4900mm

Nosnost                                800kg

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 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 2012/13.

V Brně, dne 7.11.2012



prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.  
Ředitel ústavu



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



## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce se zabývá konstrukčním návrhem nástěnného jeřábu pro nosnost 800 kg a délku vyložení 3 150 mm. Obsahuje důležité pevnostní výpočty včetně kontroly výložníku na únavu a na klopení s ohledem na příslušné normy. Dále obsahuje rozbor výběru vhodného kladkostroje dle současné nabídky výrobců. Součástí práce je také výkresová dokumentace.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

nástěnný jeřáb, řetězový kladkostroj, únavu výložníku, klopení výložníku, nosná konstrukce

## **ABSTRACT**

This bachelor thesis deals with a construction proposal of wall crane for capacity 800 kg and unloading arm 3 150 mm. It contains important strength calculations including checking boom to fatigue and roll with respect to the relevant norms. It also includes analysis of the selection of a suitable hoist according to current offer manufacturers. The work also involves drawings.

## **KEYWORDS**

wall crane, chain hoist, fatigue boom, roll boom, support structure



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

MATUŠKA, M. *Nástěnný jeřáb*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 41 s. Vedoucí diplomové 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 24. května 2013

.....

Michal Matuška



## **PODĚKOVÁNÍ**

Tím to chci poděkovat doc. Ing. Jiřímu Maláškovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a připomínky při psaní práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině a blízkým přátelům za podporu.



## OBSAH

Úvod .....	10
1 Konstrukce nástěnného jeřábu .....	11
1.1 Nástěnný otočný jeřáb LW .....	11
1.2 Nástěnný otočný jeřáb LWX .....	11
1.3 Nástěnný otočný jeřáb VW .....	12
1.4 Volba nástěnné jeřábu .....	12
2 Upevnění nástěnných otočných jeřábů .....	13
2.1 Na ocelových podpěrách pomocí nástěnných konzol/nástěnných ložisek .....	13
2.2 Na železobetonových podpěrách pomocí upínacích konzol .....	13
2.3 Na železobetonových stěnách nebo podpěrách pomocí přivařovaných desek .....	14
2.4 Na železobetonových stěnách pomocí nástěnných konzol a průchozích kotev .....	14
3 Volba kladkostroje .....	15
4 Výpočet nosné konstrukce .....	16
4.1 Charakteristiky provozu .....	17
4.2 Schéma a vstupní parametry .....	17
4.3 Součinitelé zatížení a dynamické součinitele .....	17
4.4 Zatížení způsobené od vlastní hmotnosti .....	18
4.5 Zatížení způsobené jmenovitým břemenem .....	18
4.6 Zatížení způsobené stálým břemenem .....	19
4.7 Úplné uvolnění a rovnice statické rovnováhy .....	19
4.8 Kontrola výložníku na ohyb .....	20
4.9 Kontrola krakorce na ohyb a tlak .....	21
5 Návrh ložisek .....	24
5.1 Ložisko A .....	24
5.2 Ložisko B .....	25
6 Kontrola výložníku na únavu .....	26
6.1 Zatížení způsobené od vlastní hmotnosti .....	26
6.2 Zatížení způsobené jmenovitým břemenem .....	27
6.3 Zatížení způsobené stálým břemenem .....	27
6.4 Výpočet maximálního napětí .....	27
6.5 Výpočet minimálního napětí .....	28
6.6 Výpočet středního napětí a amplitudy napětí .....	28
6.7 Stanovení meze únavy .....	29
6.8 bezpečnost k meznímu stavu únavy podle Goodmanova kritéria porušení .....	30



7	Kontrola na klopení výložníku .....	31
7.1	Stanovení třídy průřezu.....	31
7.2	Poloměr setrvačnosti průřezu ekvivalentní tlačené pásnice .....	32
7.3	Hodnota štíhlosti pro výpočet poměrné štíhlosti .....	33
7.4	Opravný součinitel pro rozdělení momentů.....	33
7.5	Návrhová únosnost v ohybu .....	34
7.6	Kontrola citlivosti na klopení .....	34
	Závěr.....	35
	Seznam použitých zkratk a symbolů .....	38
	Seznam příloh.....	41



## ÚVOD

Nástěnné jeřáby se používají přímo na pracovištích pro snadné a rychlé zdvihání a přepravování výrobků nejrůznějšího typu tam, kde nelze využívat pojízdné mostové jeřáby nebo tam, kde je potřeba většího počtu manipulací na více lokálních místech. Snižuje se tak čas strávený překládkou nebo se usnadňuje práce dělníků při manipulaci s těžkými a obtížně manipulovatelnými břemeny. Velkou výhodou nástěnných otočných jeřábů je, že jsou montovány na betonové zdi a tím nemají žádné nároky na podlahovou plochu.

Nástěnné jeřáby mají zpravidla otočný výložník z plnostěnných ocelových nosníků, který se otáčí v rozsahu do 180° a na kterém je umístěn kladkostroj tažený ručně lanem nebo řetězem. Pohon kladkostroje je ruční nebo elektrický. Uplatňují se u obráběcích strojů, na montážních pracovištích, otevřených skladištích, nakládacích rampách, skládkách a v říčních přístavech.

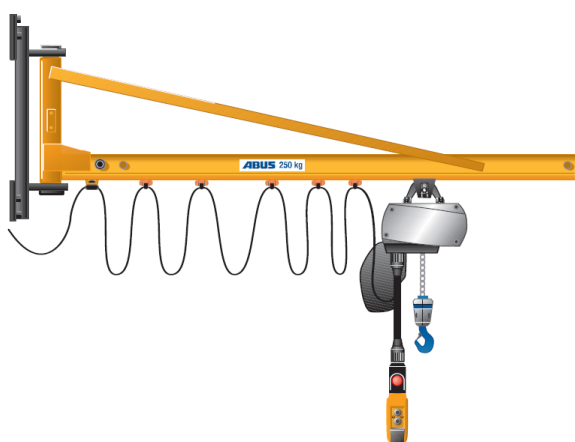


# 1 KONSTRUKCE NÁSTĚNNÉHO JEŘÁBU

Nástěnné jeřáby se vyrábějí v několika konstrukčních provedení. Následující rozdělení vychází z výrobků firmy ABUS, ale i ostatní firmy vyrábějí v podstatě stejné typy konstrukcí. Volba konstrukce je závislá na nosnosti, vyložení ramene, typu pojezdu kočky, způsobu a rozsahu otáčení, typu ovládání a způsobu upevnění.

## 1.1 NÁSTĚNNÝ OTOČNÝ JEŘÁB LW

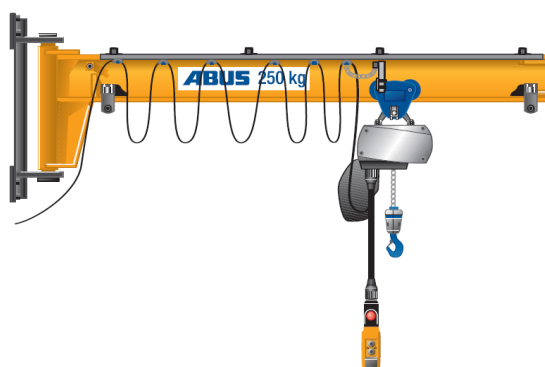
Nástěnný otočný jeřáb LW pomáhá při ručním přemisťování lehčích břemen. Díky lehké konstrukci je možné jeho i břemeno rychle a precizně vést i při větším vyložení, a proto představuje účinnou pomoc při každodenní práci. Pomocí upínacích konzol lze obejmout i podpěry s velkými průřezy a jeřáb se může umístit v požadované výšce. [1]



Obr. 1.1 Nástěnný otočný jeřáb LW [1]

## 1.2 NÁSTĚNNÝ OTOČNÝ JEŘÁB LWX

Nízké stropy a navíc požadovaný volný prostor na zemi jsou typická rozhodovací kritéria pro použití nástěnného otočného jeřábu LWX. Jeřáb přitom přesvědčí především svými malými nároky na prostor a realizovatelnou výšku zdvihu. Jeřáb je upevněn pomocí nástěnné konzoly umístěné na ocelové podpěře místnosti. [1]



Obr. 1.2 Nástěnný otočný jeřáb LWX [1]



### 1.3 NÁSTĚNNÝ OTOČNÝ JEŘÁB VW

Tento jeřáb je vhodný pro přepravu břemen mezi dvěma různě vysokými pracovními rovinami. Díky konstrukci nástěnného otočného jeřábu VW lze dané rozměry haly využít tak, že se dosáhne nejvyšší možná výška zdvihu pro přeložení břemene. Upevnění je realizováno pomocí přivařovaných desek přímo na ocelové podpěry halové konstrukce. [1]



*Obr.1.3 Nástěnný otočný jeřáb VW[1]*

### 1.4 VOLBA NÁSTĚNNÉ JEŘÁBU

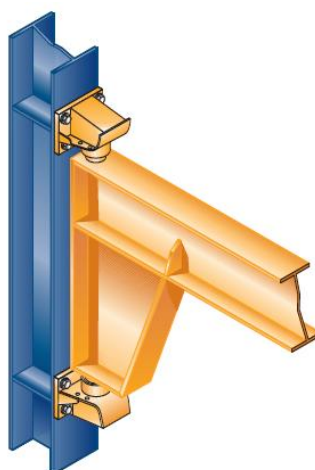
Vzhledem k předem neurčenému účelu použití volím nástěnný jeřáb typu VW, který má širší využití a kvůli konstrukci využívá lépe výšku daného prostoru.



## 2 UPEVNĚNÍ NÁSTĚNNÝCH OTOČNÝCH JEŘÁBŮ

### 2.1 NA OCELOVÝCH PODPĚRÁCH POMOCÍ NÁSTĚNNÝCH KONZOL/NÁSTĚNNÝCH LOŽISEK

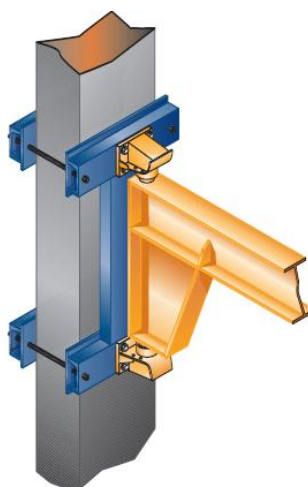
Nejjednodušší způsob upevnění nástěnných otočných jeřábů je přišroubování k ocelovým podpěrám. Podpěry musí být staticky dostatečně dimenzovány (případně je nutné provést jejich zesílení) a musí mít dostatečně širokou připojovací plochu. U typů LW a LWX je provedeno prostřednictvím nástěnné konzoly, u typu VW přímým přišroubováním obou nástěnných ložisek. [1]



Obr.2.1 Upevnění na ocelových podpěrách [1]

### 2.2 NA ŽELEZOBETONOVÝCH PODPĚRÁCH POMOCÍ UPÍNACÍCH KONZOL

Na staticky vhodných, čtvercových nebo obdélníkových železo betonových podpěrách, které lze ze všech stran obepnout, lze nástěnné otočné jeřáby připevnit pomocí upínacích konzol. Prostřednictvím závitových tyčí se dosáhnou potřebné upínací síly, aby bylo možné jeřáb na podpoře držet v požadované výšce. Podpěra proto musí být dostatečně široká. [1]

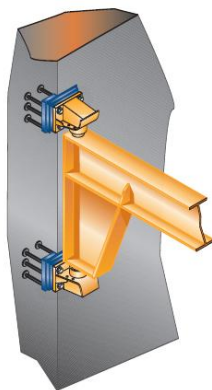


Obr. 2.2 Upevnění pomocí upínacích konzol [1]



### 2.3 NA ŽELEZOBETONOVÝCH STĚNÁCH NEBO PODPĚRÁCH POMOCÍ PŘIVAŘOVANÝCH DESEK

Betonové stěny nebo podpěry lze zalitím vhodných montážních desek se zpětným kotvením připravit jako spodní konstrukci pro upevnění nástěnných otočných jeřábů pomocí přivařovaných desek. Při přípravě stavby je nutné dbát na to, aby montážní desky ležely přesně ve stejné úrovni a měly kolmé připojovací plochy. Přivařované desky se svaří se spodní konstrukcí. Nástěnná konzola, popř. nástěnné ložisko jeřábu se na přivařovanou desku přišroubují. [1]



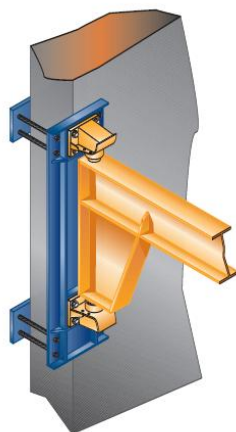
Obr.2.3 Upevnění pomocí přivařovaných desek [1]

#### Na ocelových podpěrách pomocí přivařovaných desek

Přivařované desky lze také přímo přivařit k ocelovým podpěrám nebo k nosným ocelovým konstrukcím, jestliže se nemají nebo nemohou provrtat. [1]

### 2.4 NA ŽELEZOBETONOVÝCH STĚNÁCH POMOCÍ NÁSTĚNNÝCH KONZOL A PRŮCHOZÍCH KOTEV

Upevnění na dostatečně zatížitelných železo betonových stěnách se provádí pomocí nástěnných konzol. U typů LW a LWX je nástěnná konzola součástí dodávky. U typů VW je jako doplňkové vybavení. Nástěnné konzoly se na stěnu připevňují za použití kotevních šroubů a protidesek. [1]



Obr. 2.4 Upevnění pomocí průchozích kotev [1]



### 3 VOLBA KLADKOSTROJE

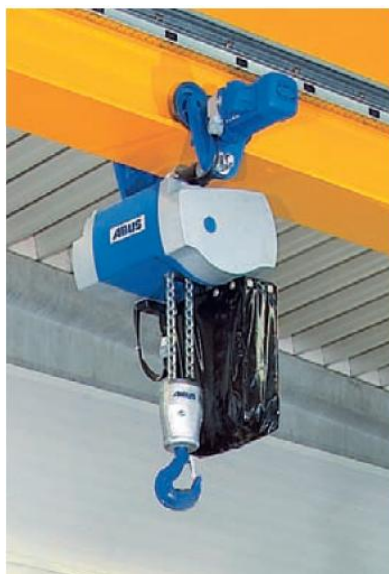
Na trhu jsou dostupné základní dva typy elektrických kladkostrojů tj. lanový nebo řetězový. Pro svoji bakalářskou práci volím elektrický řetězový kladkostroj, který je zpravidla levnější, lépe snáší přetížení maximální váhové kapacity, potřebuje menší údržbu a je možné bez problémů zavěšené břemeno vychýlit do boku.

Tab. 3 Srovnání kladkostrojů

Výrobce		GIGA	ABUS	Yale CPV	KITO	LIFTKET
Typ		CH2 800.4-JE	GM 4 800.5-2	CPVF 10-4	ER2M010IL-IS	800/2-5
Nosnost	kg	800	800	1 000	1 000	800
Rychlost zdvihu	m/min	1	1,3	1	0,7	-
	m/min	4	5	4	4,2	8
Rychlost pojezdu	m/min	5	5	4,5	4	5
	m/min	20	20	18	24	20
FEM/ISO		2m/M5	3m/M6	1Am/M4	2m/M5	2m/M5
Nosné průřezy		2	2	2	2	2
Výkon motoru	kW	0,18/0,75	0,22/0,9	0,18/0,75	0,22/0,9	1,1
Celková hmotnost	kg	57,4	53,5	52	79,6	55
Cena bez DPH (pro rok 2013)	Kč	49 879	50 731	58 610	60 470	48 318

V tabulce 3 jsou vybrané kladkostroje vhodné pro nástěnný jeřáb podle zadaných parametrů. Někteří výrobci mají menší nabídku kladkostrojů pro požadovanou nosnost 800 kg nebo ho vůbec nenabízejí např. výrobce Liftket uvádí ve svém katalogu jen kladkostroje s nosností 800 kg, který má pouze jednu rychlost zdvihu.

Volím kladkostroj od firmy Abus typ GM 4 800.5-2 (obr. 3), který má potřebnou nosnost 800 kg a oproti kladkostroji výrobce Giga má vyšší rychlost zdvihu a menší hmotnost, ale mírně vyšší cenu.



Obr.3 Kladkostroj typ GM4 s elektrickým pojezdem [2]



## 4 VÝPOČET NOSNÉ KONSTRUKCE

Výpočet ocelových konstrukcí jeřábů se provádí s uvážením všech nepříznivých kombinací účinků zatížení stálých, nahodilých a mimořádných. Kombinace se stanoví s ohledem na skutečnou možnost současného působení jednotlivých zatížení. [7]

Při výpočtu uvažují kombinaci zatížení od vlastní hmotnosti, od jmenovitého břemene a od stálého břemene kladkostroje.

Tab. 4 Základní kombinace zatížení [7]

Zatížení způsobené		Označení zatížení	souč. zatížení	ZÁKLADNÍ KOMBINACE ZATÍŽENÍ									
Stálá a nahodilá	vlastní hmotností	$m_k \cdot g$	$\gamma_g$	$m_k \cdot g \cdot \gamma_g \cdot \delta_i$	$m_k \cdot g \cdot \gamma_g \cdot \delta_i$	$m_k \cdot g \cdot \gamma_g$	$m_k \cdot g \cdot \gamma_g \cdot \delta_i$						
	jmenovitým břemenem	$m \cdot g$	$\gamma_{lo}$	$m \cdot g \cdot \gamma_{lo} \cdot \delta_h$	-		-	$m \cdot g \cdot \gamma_{lo}$					
	odpadnutím břemena	$-0,25 m_n \cdot \delta_h \cdot g$	$\gamma_{lo}$	-	-		$-0,25(m+m_n)g\gamma_{lo}\delta_h$	-					
	stálým břemenem	$m_s \cdot g$	$\gamma_g$	$m_s \cdot g \cdot \gamma_g \cdot \delta_b$	-		$m_s \cdot g \cdot \gamma_g$	$m_s \cdot g \cdot \gamma_g$					
	setrvačnými silami od	jízdy kočky	$F_{ik}$	$\gamma_i$	$F_{ik}\gamma_i$	-	-	-	$F_{ik}\gamma_i$	-	-	-	-
		jízdy jeřábu	$F_{ij}$	$\gamma_i$	-	$F_{ij}\gamma_i$	-	-	-	$F_{ij}\gamma_i$	-	-	-
		otáčení	$F_{io}$	$\gamma_i$	$F_{io}\gamma_i$	$F_{io}\gamma_i$	$F_{io}\gamma_i$	$F_{io}\gamma_i$	$F_{io}\gamma_i$	$F_{io}\gamma_i$	$F_{io}\gamma_i$	-	-
		sklápění výložníku	$F_{is}$	$\gamma_i$	-	-	$F_{is}\gamma_i$	-	-	-	$F_{is}\gamma_i$	-	-
	odstředivými silami	$F_o$	$\gamma_i$	-	-	-	$F_o\gamma_i$	-	-	-	-	-	
	větre	v provozu	$F_{v1}$	$\gamma_v$	$F_{v1}\gamma_v$			$F_{v1}\gamma_v$			-	$F_{v1}\gamma_v$	
mimo provoz		$F_{v2}$	$\gamma_v$	-			-			$F_{v2} \cdot \gamma_v$	-		
silami od přičení	$H_{gp}$	$\gamma_{gp}$	-			-			-	$H_{gp}\gamma_i$			
Mimořádná	vodorovnou technolog. silou na kočku s vedeným břemenem	$F_k$	$\gamma_i$	-			-			-	-		
	silami na nárazníky	$F_n$	$\gamma_n$	-			-			-	-		
	zkušebním břemenem při zkoušce	dynamické	$m_{zd} \cdot g$	-	-			-			-	-	
statické		$m_{zs} \cdot g$	-	-			-			-	-		



#### 4.1 CHARAKTERISTIKY PROVOZU

Norma ČSN 27 0103 [7] určuje pro jeřáb nástěnný – všeobecné použití tyto charakteristiky:

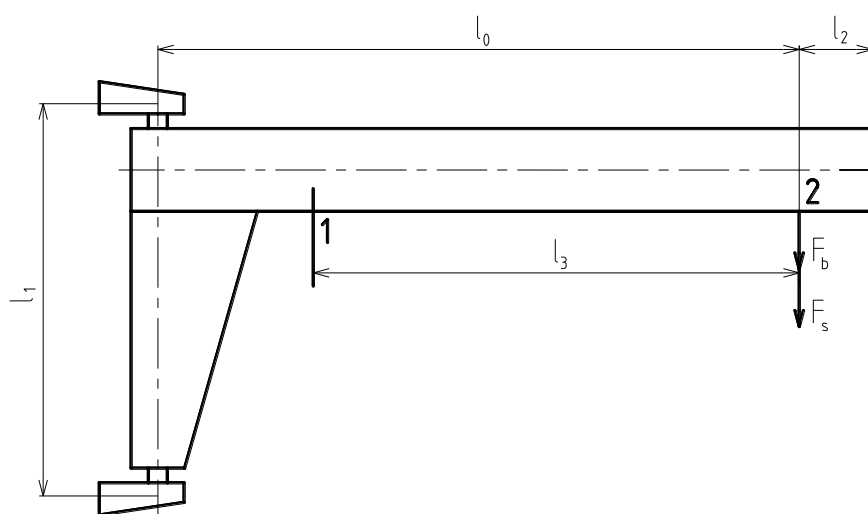
Zdvihová třída: H3

Druh provozu: D2

Spektrum napětí: S1

Provozní skupina: J3

#### 4.2 SCHÉMA A VSTUPNÍ PARAMETRY



Obr. 4.1 Schéma nosné konstrukce

$l_0 = 3150 \text{ mm}$  (dle zadání)

$l_1 = 1008 \text{ mm}$  (vzdálenost působišť vazbových sil)

$l_2 = 200 \text{ mm}$

$l_3 = 2650 \text{ mm}$  (délka pojezdu vztažená na hák)

#### 4.3 SOUČINITELE ZATÍŽENÍ A DYNAMICKÉ SOUČINITELE

Stanoveno z normy ČSN 27 0103 [7]

Součinitel zatížení od vlastní hmotnosti  $\gamma_g = 1,1$

Součinitel zatížení od jmenovitého břemene  $\gamma_{l_0} = 1,3$  (pro D2)

Dynamický zdvihový součinitel  $\delta_h = 1,18$  (pro  $v_h = 0,08 \frac{m}{s}$ )

Dynamický pojzdový součinitel  $\delta_t = 1,1$  (pro  $v_t = 0,33 \frac{m}{s}$ )



#### 4.4 ZATÍŽENÍ ZPŮSOBENÉ OD VLASTNÍ HMOTNOSTI

Do zatížení jsou započítány účinky dynamických sil vznikajících pojezděním jeřábu nebo jeho části podle ČSN 27 0103 [7]

##### Výložník:

Volím na základě předběžného výpočtu IPE profil 300 podle katalogu dodavatele [8][8]

$$F_m = (l_0 + l_2)q_g g\gamma_g\delta_t \quad (\text{N}) \quad (4.1)$$

$$F_m = (3,15 + 0,2) \cdot 42,2 \cdot 9,81 \cdot 1,1 \cdot 1,1 = 1678 \text{ N}$$

$$F_m = 1678 \text{ N}$$

kde: $q_g = 42,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$	hmotnost na jeden metr délky výložníku [8]
$\gamma_g = 1,1$	součinitel zatížení od vlastní hmotnosti [7]
$\delta_t = 1,1$	dynamický pojezdový součinitel [7]
$l_0 = 3,15 \text{ m}$	délka vyložení ramene
$l_2 = 0,2 \text{ m}$	délka konce výložníku

##### Krakorec:

$$F_k = m_k g\gamma_g\delta_t \quad (\text{N}) \quad (4.2)$$

$$F_k = 38,66 \cdot 9,81 \cdot 1,1 \cdot 1,1 = 459 \text{ N}$$

$$F_k = 459 \text{ N}$$

kde: $m_k = 38,66 \text{ kg}$	hmotnost krakorce dle výkresu
$\gamma_g = 1,1$	součinitel zatížení od vlastní hmotnosti [7]
$\delta_t = 1,1$	dynamický pojezdový součinitel [7]

#### 4.5 ZATÍŽENÍ ZPŮSOBENÉ JMENOVITÝM BŘEMENEM

Do zatížení jsou zahrnuty setrvačné síly při zvedání nebo spouštění břemene a náhodné zvětšení břemene např. zachycením podle ČSN 27 0103 [7]

$$F_b = mg\gamma_{l0}\delta_h \quad (\text{N}) \quad (4.3)$$

$$F_b = 800 \cdot 9,81 \cdot 1,3 \cdot 1,18 = 12039 \text{ N}$$

$$F_b = 12039 \text{ N}$$

kde: $m = 800 \text{ kg}$	jmenovitá hmotnost nástěnného jeřábu
$\gamma_{l0} = 1,3$	součinitel zatížení od jmenovitého břemene [7]
$\delta_h = 1,18$	dynamický zdvihový součinitel [7]



#### 4.6 ZATÍŽENÍ ZPŮSOBENÉ STÁLÝM BŘEMENEM

Do zatížení jsou zahrnuty setrvačné síly při zvedání nebo spouštění podle ČSN 27 0103 [7]

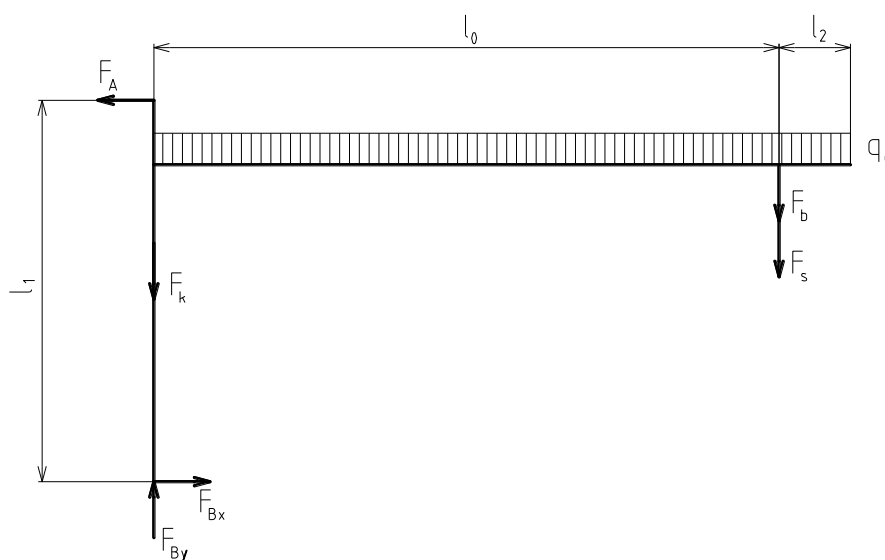
$$F_s = m_s g \gamma_g \delta_h \quad (\text{N}) \quad (4.4)$$

$$F_s = 53,5 \cdot 9,81 \cdot 1,1 \cdot 1,18 = 681 \text{ N}$$

$$F_s = 681 \text{ N}$$

kde:  $m_s = 53,5 \text{ kg}$  hmotnost kladkostroje  
 $\gamma_g = 1,1$  součinitel zatížení od vlastní hmotnosti [7]  
 $\delta_h = 1,18$  dynamický zdvihový součinitel [7]

#### 4.7 ÚPLNÉ UVOLNĚNÍ A ROVNICE STATICKÉ ROVNOVÁHY



Obr. 0 Úplné uvolnění

Spojité zatížení  $q_g$  od vlastní hmotnosti výložníku nahrazují silou  $F_m$ , která působí v těžišti spojitěho zatížení pro stanovení rovnic statické rovnováhy.

$$\sum F_x = 0$$

$$F_A = F_{Bx} \quad (\text{N}) \quad (4.5)$$

$$\sum F_y = 0$$

$$F_{By} = F_b + F_s + F_m + F_k \quad (\text{N}) \quad (4.6)$$

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

$$F_{Bx} \cdot l_1 = (F_b + F_s) \cdot l_0 + F_m \cdot \frac{(l_0 + l_2)}{2} \quad (\text{N}) \quad (4.7)$$



$$F_{Bx} = \frac{(F_b + F_s) \cdot l_0 + F_m \cdot \frac{(l_0 + l_2)}{2}}{l_1}$$

$$F_{Bx} = \frac{(12\,039 + 681) \cdot 3,15 + 1\,678 \cdot \frac{(3,15 + 0,2)}{2}}{1,008} = 42\,539 \text{ N}$$

$$F_{Bx} = 42\,539 \text{ N}$$

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

$$F_{By} = 12\,039 + 681 + 1\,678 + 459 = 14\,857 \text{ N}$$

$$F_{By} = 14\,857 \text{ N}$$

$$F_A = F_{Bx} = 42\,539 \text{ N}$$

kde: $F_b = 12\,039 \text{ N}$	zatížení od jmenovitého břemene
$F_s = 681 \text{ N}$	zatížení od stálého břemene
$F_m = 1\,678 \text{ N}$	zatížení od vlastní hmotnosti výložníku
$l_0 = 3,15 \text{ m}$	délka vyložení ramene
$l_1 = 1,008 \text{ m}$	vzdálenost působišť vazbových sil
$l_2 = 0,2 \text{ m}$	délka konce výložníku

#### 4.8 KONTROLA VÝLOŽNÍKU NA OHYB

Volím materiál S355J0 (1.0553/11 523) dle ČSN EN 10025-2 [9]

**Dovolené napětí:**

$$\sigma_{od} = \frac{R_e}{k_n} \quad (\text{MPa}) \quad (4.8)$$

$$\sigma_{od} = \frac{355}{4} = 88,75 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{od} = 88,75 \text{ MPa}$$

kde:  $R_e = 355 \text{ MPa}$  mez kluzu materiálu S355J0 (1.0553/11 523) [9]  
 $k_n = 4$  návrhový součinitel (volen)

**Maximální ohybový moment:**

$$M_{omax} = F_{Bx} \cdot l_1 \quad (\text{Nm}) \quad (4.9)$$

$$M_{omax} = 42\,539 \cdot 1,008 = 42\,879 \text{ Nm}$$

$$M_{omax} = 42\,879 \text{ Nm}$$

kde:  $F_{Bx} = 42\,539 \text{ N}$  radiální vazbová síla v bodě B  
 $l_1 = 1008 \text{ mm}$  vzdálenost působišť vazbových sil



**Minimální modul průřezu v ohybu:**

$$W_{xvmin} = \frac{M_{omax}}{\sigma_{od}} \quad (\text{mm}^3) \quad (4.10)$$

$$W_{xvmin} = \frac{42\,879 \cdot 10^3}{88,75} = 483\,144 \text{ mm}^3$$

$$W_{xvmin} = 483,1 \text{ cm}^3$$

$$W_{xv} = 557 \text{ cm}^3$$

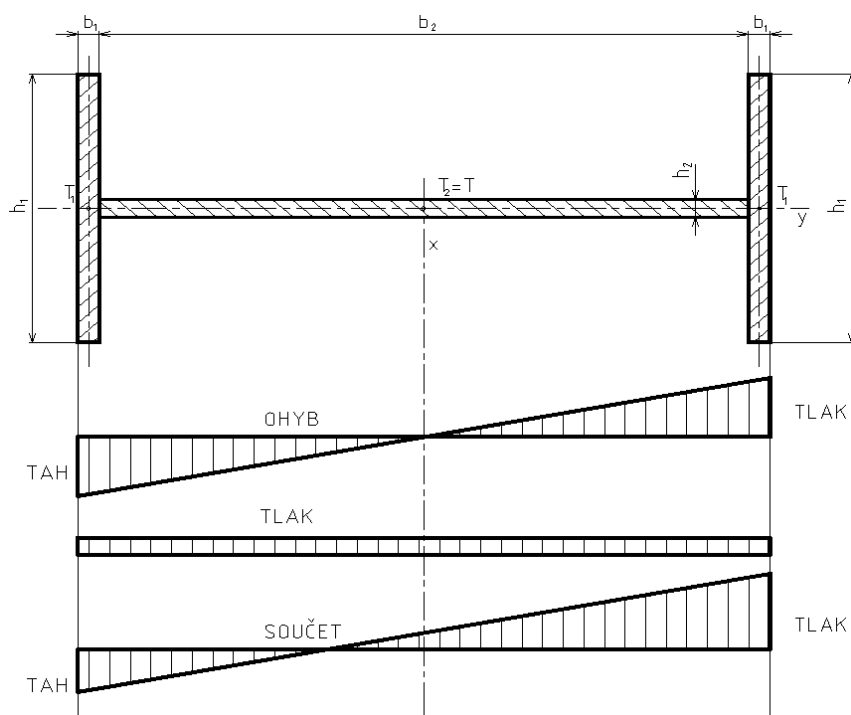
$$W_{xv} > W_{xvmin} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

kde:  $M_{omax} = 42\,879 \text{ Nm}$  maximální ohybový moment

$\sigma_{od} = 88,75 \text{ MPa}$  dovolené napětí

$W_{xv} = 557 \text{ cm}^3$  modul průřezu v ohybu [8] pro profil IPE 300 volený v kap. 4.4

#### 4.9 KONTROLA KRAKORCE NA OHYB A TLAK



Obr. 4.9 Průběh napětí největšího průřezu krakorce



**Maximální napětí v ohybu:**

$$\sigma_{omax} = \frac{M_{omax}}{W_y} \quad (\text{MPa}) \quad (4.15)$$

$$\sigma_{omax} = \frac{42\,879}{582,6} = 73,599 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{omax} = 73,6 \text{ MPa}$$

**Napětí v tlaku:**

$$\sigma_d = \frac{F_b + F_s + F_m}{2b_1h_1 + b_2h_2} \quad (\text{MPa}) \quad (4.16)$$

$$\sigma_d = \frac{12\,039 + 681 + 1\,678}{2 \cdot 12 \cdot 150 + 300 \cdot 10} = 2,18 \text{ MPa}$$

$$\sigma_d = 2,2 \text{ MPa}$$

kde: $F_b = 12\,039 \text{ N}$	zatížení od jmenovitého břemene
$F_s = 681 \text{ N}$	zatížení od stálého břemene
$F_m = 1\,678 \text{ N}$	zatížení od vlastní hmotnosti výložníku
$b_1 = 12 \text{ mm}$	šířka průřezu $S_1$
$h_1 = 150 \text{ mm}$	výška průřezu $S_1$
$b_2 = 12 \text{ mm}$	šířka průřezu $S_2$
$h_2 = 150 \text{ mm}$	výška průřezu $S_2$

**Celkové napětí:**

$$\sigma_c = \sigma_d + \sigma_{omax} \quad (\text{MPa}) \quad (4.17)$$

$$\sigma_c = 2,2 + 73,6 = 75,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c = 75,8 \text{ MPa}$$

**Dovolené napětí:**

Volím stejný materiál krakorce jako u výložníku S355J0 dle ČSN EN 10025-2 [9] a stejný návrhový součinitel.

$$\sigma_{od} = 88,75 \text{ MPa (kap. 4.8)}$$

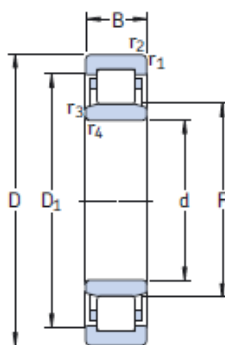
$$\sigma_{od} > \sigma_c \Rightarrow \text{vyhovuje}$$



## 5 NÁVRH LOŽISEK

Ložiska se během provozu pouze otáčí, a proto jsou kontrolována na statickou bezpečnost. Volím ložiska z katalogu od firmy SKF, proto budu používat jejich doporučené vztahy. Obě ložiska jsou volena rozměrově stejně, aby byly zaměnitelné navazující díly.

### 5.1 LOŽISKO A



Obr. 5.1 Válečkové ložisko [12]

Ložisko je zatíženo pouze radiální silou, a proto volím válečkové ložisko NU 2212 ECP [12]

#### Základní parametry ložiska:

- $d_A = 60 \text{ mm}$       průměr díry válečkového ložiska [12]  
 $D_A = 110 \text{ mm}$       vnější průměr válečkového ložiska [12]  
 $B = 28 \text{ mm}$       šířka válečkového ložiska [12]  
 $C_{0A} = 153 \text{ kN}$       základní statická únosnost válečkového ložiska [12]

#### Ekvivalentní statické zatížení:

$$P_{0A} = F_A = 42,539 \text{ kN}$$

#### Statická bezpečnost:

$$s_{0A} = \frac{C_{0A}}{P_{0A}} \quad (-) \quad (5.1)$$

$$s_{0A} = \frac{153}{42,539}$$

$$s_{0A} = 3,59$$

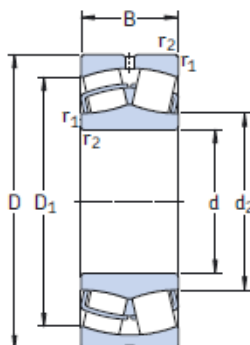
Výrobce SKF [11] doporučuje minimální hodnotu statické bezpečnosti pro běžné provozní podmínky a pro ložiska s čárovým stykem:  $s_0 = 1,5$

$$s_{0A} > s_0 \Rightarrow \text{vyhovuje}$$



## 5.2 LOŽISKO B

Volím soudečkové ložisko, které zachytí jak radiální tak axiální sílu.



Obr. 5.2 Soudečkové ložisko [13]

### Základní parametry ložiska 22212 E:

$d_B = 60 \text{ mm}$	průměr díry soudečkového ložiska [13]
$D_B = 110 \text{ mm}$	vnější průměr soudečkového ložiska [13]
$B = 28 \text{ mm}$	šířka soudečkového ložiska [13]
$C_{0A} = 166 \text{ kN}$	základní statická únosnost soudečkového ložiska [13]
$Y_0 = 2,8$	součinitel axiálního zatížení ložiska [13]

### Ekvivalentní statické zatížení:

$$P_{0B} = F_{Bx} + Y_0 F_{By} \quad (\text{N}) \quad (5.2)$$

$$P_{0B} = 42\,539 + 2,8 \cdot 14\,857 = 84\,138,6 \text{ N}$$

$$P_{0B} = 84\,139 \text{ N}$$

### Statická bezpečnost:

$$s_{0B} = \frac{C_{0A}}{P_{0A}} \quad (-) \quad (5.3)$$

$$s_{0B} = \frac{173}{84,139}$$

$$s_{0B} = 2,06$$

$$s_{0B} > s_0 \Rightarrow \text{vyhovuje}$$



## 6 KONTROLA VÝLOŽNÍKU NA ÚNAVU

Při posuzování výložníku na únavu budu uvažovat kombinaci zatížení od vlastní hmotnosti, od užitečného břemene a od stálého břemene (kladkostroj).

Výložník je zatížen cyklicky pulsujícím ohybovým momentem vznikající pojížděním kladkostroje. Pro výpočet budu uvažovat nejméně příznivý případ, tj. plně naložený kladkostroj se pohybuje z pozice 1 do pozice 2 podle obr. 4.1

Tab. 6 Kombinace zatížení pro posuzování ocelových konstrukcí při únavě[7]

Zatížení způsobené		Označení zatížení	Kombinace zatížení pro posuzování OK při únavě				
stálá a nahodilá	vlastní hmotností	$m_g \cdot g$	$m_g \cdot g \cdot \delta_t$				
	užitečným břemenem	$m \cdot g$	$m \cdot g \cdot \delta_h$				
	odpadnutím břemena	$-0,25 \cdot m \cdot g \cdot \delta_h$	—				
	stálým břemenem	$m_s \cdot g$	$m_s \cdot g \cdot \delta_h$				
	setrvačnými silami	jízdy kočky	$F_{ik}$	$F_{ik}$	—	—	—
		jízdy jeřábu	$F_{ij}$	—	$F_{ij}$	—	—
		otáčení	$F_{io}$	$F_{io}$	$F_{io}$	$F_{io}$	$F_{io}$
		sklápění výložníku	$F_{is}$	—	—	$F_{is}$	—
	odstředivými silami		$F_o$	—	—	—	$F_o$

### 6.1 ZATÍŽENÍ ZPŮSOBENÉ OD VLASTNÍ HMOTNOSTI

Do zatížení jsou započítány účinky dynamických sil vznikajících pojížděním jeřábu nebo jeho části podle ČSN 27 0103 [7]

**Výložník:**

$$F_{mu} = (l_0 + l_2)q_g g \delta_t \quad (\text{N}) \quad (6.1)$$

$$F_{mu} = (3,15 + 0,2) \cdot 42,2 \cdot 9,81 \cdot 1,1 = 1\,526 \text{ N}$$

$$F_{mu} = 1\,526 \text{ N}$$

kde:  $q_g = 42,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$  hmotnost na jeden metr délky výložníku [8]  
 $\delta_t = 1,1$  dynamický pojezdový součinitel [7]  
 $l_0 = 3,15 \text{ m}$  délka vyložení ramene  
 $l_2 = 0,2 \text{ m}$  délka konce výložníku



## 6.2 ZATÍŽENÍ ZPŮSOBENÉ JMENOVITÝM BŘEMENEM

Do zatížení jsou zahrnuty setrvačné síly při zvedání nebo spouštění břemene podle ČSN 27 0103 [7]

$$F_{bu} = mg\delta_h \quad (\text{N}) \quad (6.2)$$

$$F_{bu} = 800 \cdot 9,81 \cdot 1,18 = 9\,261 \text{ N}$$

$$F_{bu} = 9\,261 \text{ N}$$

kde:  $m = 800 \text{ kg}$  jmenovitá hmotnost nástěnného jeřábu  
 $\delta_h = 1,18$  dynamický zdvihový součinitel [7]

## 6.3 ZATÍŽENÍ ZPŮSOBENÉ STÁLÝM BŘEMENEM

Do zatížení jsou zahrnuty setrvačné síly při zvedání nebo spouštění podle ČSN 27 0103 [7]

$$F_{su} = m_s g \delta_h \quad (\text{N}) \quad (6.3)$$

$$F_{su} = 53,5 \cdot 9,81 \cdot 1,18 = 619 \text{ N}$$

$$F_{su} = 619 \text{ N}$$

kde:  $m_s = 53,5 \text{ kg}$  hmotnost kladkostroje  
 $\delta_h = 1,18$  dynamický zdvihový součinitel [7]

## 6.4 VÝPOČET MAXIMÁLNÍHO NAPĚTÍ

Maximální moment je počítám pro případ, kdy je kladkostroj v pozici 2 dle obr. 4.2

$$M_{u\max} = (F_{bu} + F_{su})l_0 + F_{mu} \frac{(l_0 + l_2)}{2} \quad (\text{Nm}) \quad (6.4)$$

$$M_{u\max} = (9\,261 + 619) \cdot 3,15 + 1\,526 \cdot \frac{(3,15 + 0,2)}{2} = 33\,678 \text{ Nm}$$

$$M_{u\max} = 33\,678 \text{ Nm}$$

kde:  $F_{bu} = 9\,261 \text{ N}$  zatížení způsobené od stálého břemene uvažovaného při únavě  
 $F_{su} = 619 \text{ N}$  zatížení způsobené od jm. břemene uvažovaného při únavě  
 $F_{mu} = 1\,526 \text{ N}$  zatížení způsobené od vlastní hmotnosti uvažovaného při únavě  
 $l_0 = 3,15 \text{ m}$  délka vyložení ramene  
 $l_2 = 0,2 \text{ m}$  délka konce výložníku

$$\sigma_{u\max} = \frac{M_{u\max}}{W_y} \quad (\text{MPa}) \quad (6.5)$$

$$\sigma_{u\max} = \frac{33\,678}{557} = 60,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{u\max} = 60,5 \text{ MPa}$$

kde:  $W_{xy} = 557 \text{ cm}^3$  modul průřezu v ohybu [8] pro profil IPE 300 volený v kap. 4.4



## 6.5 VÝPOČET MINIMÁLNÍHO NAPĚTÍ

Minimální moment je počítám pro případ, kdy je kladkostroj v pozici 1 dle obr. 4.2

$$M_{umin} = (F_{bu} + F_{su})(l_0 - l_3) + F_{mu} \frac{(l_0 + l_2)}{2} \quad (\text{Nm}) \quad (6.6)$$

$$M_{umin} = (9\,261 + 619) \cdot (3,15 - 2,650) + 1\,526 \cdot \frac{(3,15 + 0,2)}{2} = 7\,496 \text{ Nm}$$

$$M_{umin} = 7\,496 \text{ Nm}$$

kde: $F_{bu} = 9\,261 \text{ N}$	zatížení způsobené od stálého břemene uvažovaného při únavě
$F_{su} = 619 \text{ N}$	zatížení způsobené od jm. břemene uvažovaného při únavě
$F_{mu} = 1\,526 \text{ N}$	zatížení způsobené od vlastní hmotnosti uvažovaného při únavě
$l_0 = 3,15 \text{ m}$	délka vyložení ramene
$l_2 = 0,2 \text{ m}$	délka konce výložníku
$l_3 = 2,650 \text{ m}$	dráha pojezdu kladkostroje

$$\sigma_{umin} = \frac{M_{umin}}{W_y} \quad (\text{MPa}) \quad (6.7)$$

$$\sigma_{umin} = \frac{7\,496}{557} = 13,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{umin} = 13,5 \text{ MPa}$$

kde:  $W_{xy} = 557 \text{ cm}^3$  modul průřezu v ohybu [8] pro profil IPE 300 volený v kap. 4.4

## 6.6 VÝPOČET STŘEDNÍHO NAPĚTÍ A AMPLITUDY NAPĚTÍ

**Střední napětí:**

$$\sigma_{um} = \frac{\sigma_{umax} + \sigma_{umin}}{2} \quad (\text{MPa}) \quad (6.8)$$

$$\sigma_{um} = \frac{60,5 + 13,5}{2} = 37 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{um} = 37 \text{ MPa}$$

**Amplituda napětí:**

$$\sigma_{ua} = \frac{\sigma_{umax} - \sigma_{umin}}{2} \quad (\text{MPa}) \quad (6.9)$$

$$\sigma_{ua} = \frac{60,5 - 13,5}{2} = 23,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ua} = 23,5 \text{ MPa}$$

kde:  $\sigma_{umax} = 60,5 \text{ MPa}$  maximální napětí při únavě  
 $\sigma_{umin} = 13,5 \text{ MPa}$  minimální napětí při únavě



## 6.7 STANOVENÍ MEZE ÚNAVY

Podle Shigleyho [14] se stanoví mez únavy zkušební tyče v ohybu za rotace a z Marinovy rovnice se stanoví mez únavy reálné součásti.

**Mez únavy zkušební tyče v ohybu za rotace:**

$$\sigma_{co} = 0,504R_m \quad (\text{MPa}) \quad (6.10)$$

$$\sigma_{co} = 0,504 \cdot 520 = 262,08 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{co} = 262,1 \text{ MPa}$$

kde:  $R_m = 520 \text{ MPa}$  mez pevnosti materiálu S355J0 (1.0553/11 523) [9]

**Součinitel vlivu jakosti povrchu:**

Povrch polotovaru je válcován za tepla.

$$k_a = aR_m^b \quad (-) \quad (6.11)$$

$$k_a = 57,7 \cdot 520^{-0,718} = 0,647$$

$$k_a = 0,647$$

kde:  $a = 57,7$  parametr pro válcovaný povrch za tepla [14]  
 $b = -0,718$  exponent pro válcovaný povrch za tepla [14]

Pozn.: Mez pevnosti se dosazuje v MPa a součinitel vlivu jakosti povrchu vyjde jako bezrozměrné číslo.

**Součinitel vlivu velikosti tělesa:**

Shigley [14] na základě efektivního rozměru  $d_e$  stanovuje součinitel vlivu velikosti tělesa, kde efektivní rozměr se získá porovnáním rovnice 6.12 a 6.13. Rovnice 6.12 vyjadřuje plochu, v níž působí napětí o velikosti rovné nejméně 95% maximálního napětí definovanou pro rotující kruhový průřez jako mezikružší o vnějším průměru  $d$  a vnitřním průměru  $0,95d$ . Rovnice 6.13 stanovuje stejnou plochu nerotujícího průřezu IPE profilu.

$$S_{0,95\sigma} = 0,0766 \cdot d_e^2 \quad (\text{mm}^2) \quad (6.12)$$

$$S_{0,95\sigma} = 0,05b_v h_v \quad (\text{mm}^2) \quad (6.13)$$

$$d_e = 0,8079\sqrt{b_v h_v} \quad (\text{mm}) \quad (6.14)$$

$$d_e = 0,8079\sqrt{150 \cdot 300} = 171,38 \text{ mm}$$

$$d_e = 171,38 \text{ mm}$$

kde:  $b_v = 150 \text{ mm}$  šířka profilu IPE 300 [8]  
 $h_v = 300 \text{ mm}$  výška profilu IPE 300 [8]



$$k_b = 1,51d_e^{-0,157} \quad (-) \quad (6.15)$$

$$k_b = 1,51 \cdot 171,38^{-0,157} = 0,673$$

$$k_b = 0,673$$

Pozn.: Efektivní rozměr se dosazuje v mm a součinitel vlivu velikosti tělesa vyjde jako bezrozměrné číslo.

**Marinova rovnice:**

$$\sigma'_{co} = k_a k_b k_c k_d k_e k_f \sigma_{co} \quad (\text{MPa}) \quad (6.16)$$

$$\sigma'_{co} = 0,647 \cdot 0,673 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,753 \cdot 1 \cdot 262,1 = 85,94 \text{ MPa}$$

$$\sigma'_{co} = 85,9 \text{ MPa}$$

kde: $k_a = 0,647$	součinitel vlivu jakosti povrchu
$k_b = 0,673$	součinitel vlivu velikosti tělesa
$k_c = 1$	součinitel vlivu způsobu zatěžování [14]
$k_d = 1$	součinitel vlivu teploty ( $t = 20^\circ\text{C}$ ) [14]
$k_e = 0,753$	součinitel spolehlivosti (pro spolehlivost 99,9%) [14]
$k_f = 1$	součinitel dalších vlivů (další vlivy neuvažují) [14]
$\sigma_{co} = 262,1 \text{ MPa}$	mez únavy zkušební tyče v ohybu za rotace

## 6.8 BEZPEČNOST K MEZNÍMU STAVU ÚNAVY PODLE GOODMANOVA KRITÉRIA PORUŠENÍ

$$k_u = \frac{1}{\frac{\sigma_{ua} + \sigma_{um}}{\sigma'_{co}} + \frac{\sigma_{um}}{R_m}} \quad (-) \quad (6.17)$$

$$k_u = \frac{1}{\frac{23,5}{85,9} + \frac{37}{520}} = 2,90$$

$$k_u = 2,9$$

Bezpečnost vyhovuje.

kde: $\sigma_{um} = 37 \text{ MPa}$	střední napětí
$\sigma_{ua} = 23,5 \text{ MPa}$	amplituda napětí
$\sigma'_{co} = 85,9 \text{ MPa}$	mez únavy reálné součásti
$R_m = 520 \text{ MPa}$	mez pevnosti materiálu S355J0 (1.0553/11 523) [9]

## 7 KONTROLA NA KLOPENÍ VÝLOŽNÍKU

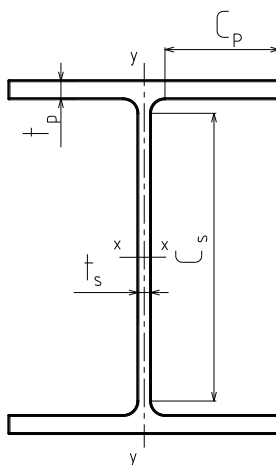
Výložník je zatížen ohybovým momentem, který způsobuje, že tlačená část průřezu má tendenci vybočit ve směru nejmenšího odporu a tažená část tuhý průřez stabilizuje, tzn. přispívá k jeho pootočení jako celku. [15]

Výložník není citlivý na klopení splněním podmínky (7.14) dle ČSN EN 1993-1-1 [16]

Při výpočtu uvažují kombinaci zatížení od vlastní hmotnosti, od jmenovitého břemene a od stálého břemene kladkostroje podle ČSN 27 0103 [7]

### 7.1 STANOVENÍ TŘÍDY PRŮŘEZU

Stanoveno dle ČSN 27 0103 [7]



Obr. 7.1 Válcovaná tyč profilu IPE

výška stojiny:  $C_s = 248,6 \text{ mm}$

tloušťka stojiny:  $t_s = 7,1 \text{ mm}$

délka přečnávající pásnice:  $C_p = 56,45 \text{ mm}$

tloušťka pásnice:  $t_p = 10,7 \text{ mm}$

**Poměrné přetvoření:**

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{R_e}} \quad (-) \quad (7.1)$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

$$\varepsilon = 0,81$$

kde:  $R_e = 355 \text{ MPa}$  mez kluzu materiálu S355J0 (1.0553/11 523) [9]



**Zatřídění přečnívající pásnice:**

$$\frac{c_s}{t_s} = \frac{248,6}{7,1} = 35,0 \quad (7.2)$$

$$72\varepsilon = 72 \cdot 0,81 = 58,32 \quad (7.3)$$

$$\frac{c_s}{t_s} < 72\varepsilon \Rightarrow \text{průřez třídy 1}$$

**Zatřídění stojny:**

$$\frac{c_p}{t_p} = \frac{56,45}{10,7} = 5,28 \quad (7.4)$$

$$9\varepsilon = 9 \cdot 0,81 = 7,29 \quad (7.5)$$

$$\frac{c_s}{t_s} < 72\varepsilon \Rightarrow \text{průřez třídy 1}$$

## 7.2 POLOMĚR SETRVAČNOSTI PRŮŘEZU EKVIVALENTNÍ TLAČENÉ PÁSNICE

Norma ČSN 27 0103 [7] stanovuje poloměr setrvačnosti průřezu ekvivalentní tlačené pásnice, složené z tlačené pásnice a 1/3 tlačené části stojny, k ose nejmenší tuhosti průřezu.

**Moment setrvačnosti tlačené stojny k ose nejmenší tuhosti průřezu:**

$$I_{sy} = \frac{\left(\frac{h_l}{2} - t_p\right)t_s^3}{12} \quad (\text{mm}^4) \quad (7.6)$$

$$I_{sy} = \frac{\left(\frac{300}{2} - 10,7\right)7,1^3}{12} = 49\,857,0 \text{ mm}^4$$

$$I_{sy} = 4,986 \text{ cm}^4$$

kde:  $h_l = 300 \text{ mm}$       výška profilu IPE 300 [8]  
 $t_p = 10,7 \text{ mm}$       tloušťka pásnice [8]  
 $t_s = 7,1 \text{ mm}$       tloušťka stojny [8]

**Moment setrvačnosti tlačené pásnice k ose nejmenší tuhosti průřezu:**

$$I_{py} = \frac{b_l^3 t_p}{12} \quad (\text{mm}^4) \quad (7.7)$$

$$I_{py} = \frac{150^3 \cdot 10,7}{12} = 3\,009\,375 \text{ mm}^4$$

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

kde:  $b_l = 150 \text{ mm}$       šířka profilu IPE 300 [8]



**Moment setrvačnosti ekvivalentní tlačené pásnice k ose nejmenší tuhosti průřezu:**

$$I_{fy} = \frac{1}{3}I_{sy} + I_{py} \quad (\text{mm}^4) \quad (7.8)$$

$$I_{fy} = \frac{4,986}{3} + 300,9 = 302,6 \text{ cm}^4$$

$$I_{fy} = 302,6 \text{ cm}^4$$

**Ekvivalentní plocha tlačené pásnice:**

$$A_f = \frac{1}{3} \left( \frac{h_l}{2} - t_p \right) t_s + b_l t_p \quad (\text{mm}^2) \quad (7.9)$$

$$A_f = \frac{1}{3} \left( \frac{300}{2} - 10,7 \right) 7,1 + 150 \cdot 10,7 = 1\,934,7 \text{ mm}^2$$

$$A_f = 1\,9,35 \text{ cm}^2$$

**Poloměr setrvačnosti průřezu ekvivalentní tlačené pásnice:**

$$i_{fy} = \sqrt{\frac{I_{fy}}{A_f}} \quad (\text{mm}) \quad (7.10)$$

$$i_{fy} = \sqrt{\frac{302,6}{19,35}} = 3,96 \text{ cm}$$

$$i_{fy} = 39,6 \text{ mm}$$

### 7.3 HODNOTA ŠTÍHLosti PRO VÝPOČET POMĚRNÉ ŠTÍHLosti

$$\lambda_1 = 93,9\varepsilon \quad (-) \quad (7.11)$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot 0,81 = 76,059$$

$$\lambda_1 = 76,1$$

kde:  $\varepsilon = 0,81$  poměrné přetvoření

### 7.4 OPRAVNÝ SOUČINITEĽ PRO ROZDĚLENÍ MOMENTŮ

$$k_h = \frac{1}{1,33 - 0,33\Psi} \quad (-) \quad (7.12)$$

$$k_h = \frac{1}{1,33 - 0,33 \cdot 0,9} = 0,968$$

$$k_h = 0,97$$

kde:  $\Psi = 0,9$  poměr napětí [16]



## 7.5 NÁVRHOVÁ ÚNOSNOST V OHYBU

$$M_{c,Rd} = W_{xv} \frac{R_e}{\gamma_{M1}} \quad (\text{Nm}) \quad (7.13)$$

$$M_{c,Rd} = 557 \frac{355}{1,00} = 197\,735 \text{ Nm}$$

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

kde:  $R_e = 355 \text{ MPa}$       mez kluzu materiálu S355J0 (1.0553/11 523) [9]  
 $W_{xv} = 557 \text{ cm}^3$       modul průřezu v ohybu [8] pro profil IPE 300  
 $\gamma_{M1} = 1,00$       dílčí součinitel spolehlivosti materiálu

## 7.6 KONTROLA CITLIVOSTI NA KLOPENÍ

$$\frac{k_h l_0}{i_{fy} \lambda_1} \leq \bar{\lambda}_{C0} \frac{M_{c,Rd}}{M_{omax}} \quad (7.14)$$

$$\frac{k_c l_0}{i_{fy} \lambda_1} = \frac{0,97 \cdot 3,15 \cdot 10^3}{39,6 \cdot 76,1} = 1,014$$

$$\bar{\lambda}_{C0} \frac{M_{c,Rd}}{M_{omax}} = 0,5 \frac{197\,735}{42\,879} = 2,306$$

$1,014 \leq 2,306 \Rightarrow$  výložník není citlivý na klopení

kde:  $k_h = 0,97$       opravný součinitel pro rozdělení momentů  
 $l_0 = 3,15 \text{ m}$       délka vyložení ramene  
 $i_{fy} = 39,6 \text{ mm}$       poloměr setrvačnosti průřezu ekvivalentní tlačené pásnice  
 $\lambda_1 = 76,1$       hodnota štíhlosti pro výpočet poměrné štíhlosti  
 $\bar{\lambda}_{C0} = 0,5$       největší štíhlost ekvivalentní tlačené pásnice [16]  
 $M_{omax} = 42\,879 \text{ Nm}$       maximální ohybový moment  
 $M_{c,Rd} = 197\,735 \text{ Nm}$       návrhová únosnost v ohybu



## ZÁVĚR

Dle požadavků zadaných parametrů jsem navrhl konstrukci nástěnného jeřábu a provedl rozbor výběru vhodného kladkostroje. Byly provedeny pevnostní výpočty, při kterých jsem uvažoval kombinaci zatížení od vlastní hmotnosti, od jmenovitého břemene a od kladkostroje podle normy ČSN 27 0103. Výložník byl navržen z výpočtu pro ohyb a zkontrolován na únavu podle Goodmanova kritéria porušení a dále zkontrolován na klopení podle ČSN EN 1993-1-1. Krakorec byl vypočítán pro kombinaci namáhání ohybem a tlakem, při kterém bylo zjištěno, že tlak způsobuje zanedbatelné napětí na rozdíl od ohybu. Výložník byl navržen z profilu IPE a krakorec byl navržen jako svarek z plochých ocelových tyčí. Dále byly kontrolovány ložiska na statickou bezpečnost.



## POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] ABUS. *Katalog Otočné jeřáby* [online]. [cit. 2013-02-26] Dostupné z: <http://www.iteco.cz/files/ckeditor/Soubory/jeraby-otocne.pdf>
- [2] ABUS. *Katalog Elektrické řetězové kladkostroje* [online]. [cit. 2013-02-26] Dostupné z: <http://www.iteco.cz/files/ckeditor/Soubory/kladkostroje-retezove.pdf>
- [3] GIGA. *Katalog Elektrické řetězové kladkostroje GIGA* [online]. [cit. 2013-02-26] 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)
- [4] KITO. *Kladkostroje | KITO | ER2 přehled standardních modelů* [online]. [cit. 2013-02-26] Dostupné z: <http://www.kladkostrojekito.cz/ER2-lineup.htm>
- [5] LIFTKET. *Katalog Elektrické řetězové kladkostroje* [online]. [cit. 2013-02-26] Dostupné z: [http://www.kladkostroje.cz/file/Katalog\\_LIFTKET\\_2011.pdf](http://www.kladkostroje.cz/file/Katalog_LIFTKET_2011.pdf)
- [6] ALTO SYSTEM. *Elektrický kladkostroj - Yale CPV - do 2.000 kg* [online]. [cit. 2013-02-26] Dostupné z: [http://www.altosystems.cz/116-elektricky\\_kladkostroj\\_cpv\\_-\\_do\\_2.000\\_kg](http://www.altosystems.cz/116-elektricky_kladkostroj_cpv_-_do_2.000_kg)
- [7] ČSN 27 0103. *Navrhování ocelových konstrukcí jeřábů: Výpočet podle mezních stavů*. Praha: Český normalizační institut, 1990.
- [8] FERONA. *Tyč průřezu IPE válcovaná za tepla* [online]. [cit. 2013-03-01]. Dostupné z: <http://www.ferona.cz/cze/katalog/detail.php?id=25508>
- [9] 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.
- [10] SKF. *Volba ložiska* [online]. [cit. 2013-03-05]. Dostupné z: <http://www.skf.com/files/515038.pdf>
- [11] SKF. *Určení velikosti ložiska* [online]. [cit. 2013-03-05]. Dostupné z: <http://www.skf.com/files/515039.pdf>
- [12] SKF. *Válečková ložiska* [online]. [cit. 2013-03-05]. Dostupné z: <http://www.skf.com/files/515071.pdf>
- [13] SKF. *Soudečková ložiska* [online]. [cit. 2013-03-05]. Dostupné z: <http://www.skf.com/files/515077.pdf>
- [14] 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.
- [15] MELCHER, Jindřich a Miroslav BAJER. *Prvky kovových konstrukcí: Pruty namáhané smykem a ohybem*. [online]. [cit. 2013-04-15]. Dostupné z: [http://pockmat.hopto.org/file/VUT%20FAST/2.rocnik%20VUT%20FAST/Kovové%20ke\\_e\\_vč.DU-BO02/M04-Pruty%20namáhané%20smykem%20a%20ohybem.pdf](http://pockmat.hopto.org/file/VUT%20FAST/2.rocnik%20VUT%20FAST/Kovové%20ke_e_vč.DU-BO02/M04-Pruty%20namáhané%20smykem%20a%20ohybem.pdf)



- [16] 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.
- [17] Řetězové a lanové kladkostroje. [online]. [cit. 2013-04-15]. Dostupné z: <http://kladkostroj.webnode.cz/retezove-a-lanove-kladkostroje/>
- [18] MYNÁŘ, Břetislav. *Dopravní a manipulační zařízení: pro posluchače bakalářského studia FSI VUT v Brně*. Brno, 2002.



## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

$a$	[-]	parametr pro válcovaný povrch za tepla
$A_f$	[mm <sup>2</sup> ]	ekvivalentní plocha tlačené pásnice
$b$	[-]	exponent pro válcovaný povrch za tepla
$b_1$	[mm]	šířka průřezu $S_1$
$b_2$	[mm]	šířka průřezu $S_2$
$b_I$	[mm]	šířka profilu IPE
$b_v$	[mm]	šířka profilu IPE
$C_{0A}$	[N]	základní statická únosnost válečkového ložiska
$C_{0B}$	[N]	základní statická únosnost soudečkového ložiska
$C_p$	[mm]	délka přečnivající pásnice
$C_s$	[mm]	výška stojiny
$d_e$	[mm]	efektivní rozměr
$F_A$	[N]	vazbová síla v bodě A
$F_b$	[N]	zatížení od jmenovitého břemene
$F_{bu}$	[N]	zatížení způsobené od stálého břemene uvažovaného při únavě
$F_{Bx}$	[N]	vazbová síla v ose x v bodě B
$F_{By}$	[N]	vazbová síla v ose y v bodě B
$F_k$	[N]	zatížení od vlastní hmotnosti krakorce
$F_m$	[N]	zatížení od vlastní hmotnosti výložníku
$F_{mu}$	[N]	zatížení způsobené od vlastní hmotnosti uvažovaného při únavě
$F_s$	[N]	zatížení od stálého břemene
$F_{su}$	[N]	zatížení způsobené od jm. břemene uvažovaného při únavě
$h_1$	[mm]	výška průřezu $S_1$
$h_2$	[mm]	výška průřezu $S_2$
$h_I$	[mm]	výška profilu IPE
$h_v$	[mm]	výška profilu IPE
$I_{fy}$	[mm <sup>4</sup> ]	moment setrvačnosti ekvivalentní tlačené pásnice
$i_{fy}$	[mm]	poloměr setrvačnosti průřezu ekvivalentní tlačené pásnice
$I_{py}$	[mm <sup>4</sup> ]	moment setrvačnosti tlačené pásnice k ose nejmenší tuhosti průřezu
$I_{sy}$	[mm <sup>4</sup> ]	moment setrvačnosti tlačené stojiny k ose nejmenší tuhosti průřezu
$I_{yT}$	[mm <sup>4</sup> ]	moment setrvačnosti největšího průřezu krakorce
$I_{yT1}$	[mm <sup>4</sup> ]	moment setrvačnosti plochy $S_1$ k neutrální ose



$I_{yT2}$	[mm <sup>4</sup> ]	moment setrvačnosti plochy $S_2$ k neutrální ose
$k_a$	[-]	součinitel vlivu jakosti povrchu
$k_b$	[-]	součinitel vlivu tělesa
$k_c$	[-]	součinitel vlivu způsobu zatěžování
$k_d$	[-]	součinitel vlivu teploty
$k_e$	[-]	součinitel spolehlivosti
$k_f$	[-]	součinitel dalších vlivů
$k_h$	[-]	opravný součinitel pro rozdělení momentů
$k_n$	[-]	návrhový součinitel
$k_u$	[-]	bezpečnost k meznímu stavu únavy
$l_0$	[mm]	délka vyložení
$l_1$	[mm]	vzdálenost působišť vazbových sil
$l_2$	[mm]	přechýlující část výložníku
$l_3$	[mm]	délka pojezdu vztažená na osu háku
$m$	[kg]	jmenovitá nosnost nástěnného jeřábu
$M_{c,Rd}$	[Nm]	návrhová únosnost v ohybu
$m_k$	[kg]	hmotnost krakorce
$M_{omax}$	[Nm]	maximální ohybový moment
$m_s$	[kg]	hmotnost kladkostroje
$M_{umax}$	[Nm]	maximální ohybový moment při únavě
$M_{umin}$	[Nm]	minimální ohybový moment při únavě
$P_{0A}$	[N]	ekvivalentní statické zatížení válečkového ložiska
$P_{0B}$	[N]	ekvivalentní statické zatížení soudečkového ložiska
$R_e$	[MPa]	mez kluzu
$R_m$	[MPa]	mez pevnosti
$s_0$	[-]	doporučuje minimální hodnotu statické bezpečnosti
$s_{0A}$	[-]	statická bezpečnost válečkového ložiska
$s_{0B}$	[-]	statická bezpečnost soudečkového ložiska
$t_p$	[mm]	tloušťka pásnice
$t_s$	[mm]	tloušťka stojiny
$v_h$	[ms <sup>-1</sup> ]	rychlost zdvihu kladkostroje
$v_t$	[ms <sup>-1</sup> ]	rychlost pojezdu kladkostroje
$W_{xv}$	[mm <sup>3</sup> ]	modul průřezu v ohybu



$W_{xvmin}$	[mm <sup>3</sup> ]	minimální modul průřezu v ohybu
$W_y$	[mm <sup>3</sup> ]	modul průřezu v ohybu
$Y_0$	[-]	součinitel axiálního zatížení ložiska
$\gamma_g$	[-]	součinitel zatížení od vlastní hmotnosti
$\gamma_{l0}$	[-]	součinitel zatížení od jmenovitého břemene
$\gamma_{M1}$	[-]	dílčí součinitel spolehlivosti materiálu
$\delta_h$	[-]	dynamický zdvihový součinitel
$\delta_t$	[-]	dynamický pojezdový součinitel
$\varepsilon$	[-]	poměrné přetvoření
$\lambda_1$	[-]	hodnota štíhlosti pro výpočet poměrné štíhlosti
$\sigma'_{co}$	[MPa]	mez únavy reálné součásti
$\sigma_c$	[MPa]	celkové napětí
$\sigma_{co}$	[MPa]	mez únavy zkušební tyče v ohybu za rotace
$\sigma_d$	[MPa]	napětí v tlaku
$\sigma_{od}$	[MPa]	dovolené napětí
$\sigma_{omax}$	[MPa]	maximální napětí v ohybu
$\sigma_{ua}$	[MPa]	amplituda napětí
$\sigma_{um}$	[MPa]	střední napětí
$\sigma_{umax}$	[MPa]	maximální napětí při únavě
$\sigma_{umin}$	[MPa]	minimální napětí při únavě
$\psi$	[-]	poměr napětí



## SEZNAM PŘÍLOH

Výkresová dokumentace:

Nástěnný jeřáb	2-043-13/000
Kusovník	2-043-13/000 – K
Nosná konstrukce	2-043-13/100