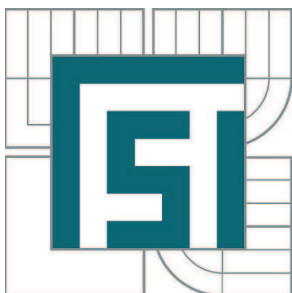


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

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

MARTIN VEŠKRNA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PŘEMYSL POKORNÝ, Ph.D.

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Martin Veškrna

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 3300mm

Výška zdvihu 4500mm

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. Gajdůšek, J., Škopán, M.: Teorie dopravních a manipulačních zařízení.
2. Remta, F., Kupka, L., Dražan, F.: Jeřáby.
3. Cvekl, Z., Dražan, F.: Teoretické základy transportních zařízení.
4. Jančík, L.: Části a mechanismy strojů, ČVUT Praha, 2004.
5. Klimeš P.: Části a mechanismy strojů I, II, VUT Brno 2003.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Přemysl Pokorný, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.

V Brně, dne 17.11.2011

L.S.

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá konstrukčním návrhem nástěnného jeřábu. Cílem je navržení hlavní nosné konstrukce a hlavních rozměrů. Jedná se o navržení konstrukce jeřábu včetně zpracování důležitých pevnostních výpočtů. Jeřáb umožňuje natáčení, vyložení břemene 3300 mm o maximální hmotnosti 800 kg. K návrhu patří také volba vhodného kladkostroje.

KLÍČOVÁ SLOVA

Nástěnný jeřáb, řetězový kladkostroj, výložník, pevnostní výpočet.

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with a construction proposal of wall crane. The aim is to suggest main load-bearing constructions and the key dimensions. It describes suggestion of crane including processing of important strength calculations. The crane enables rotation, unloading arm 3300 mm of maximum weight 800 kg. This suggestion also includes the choice of the proper hoist.

KEYWORDS

Wall crane, chain hoist, boom, strength calculation.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VEŠKRNA, M. *Jeřáb Nástěnný*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 50 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Přemysl Pokorný, Ph.D..

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 25. května 2012

.....

Martin Veškna

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji za odbornou pomoc vedoucímu bakalářské práce Ing. Přemyslu Pokornému, Ph.D. a všem profesorům, se kterými jsem se v průběhu tvorby díla a při samotném studiu na VUT FSI v Brně setkal. Dále bych rád poděkoval svému blízkému okolí za podporu při studiu na vysoké škole.

OBSAH

Úvod	11
1 Rozdělení nástěnných jeřábů	12
1.1 Nástěnný jeřáb LW	12
1.2 Nástěnný jeřáb LWX	12
1.3 Nástěnný otočný jeřáb VW	13
2 Popis nástěnného jeřábu	14
2.1 Volitelné vybavení jeřábů	14
3 Upevnění nástěnných otočných jeřábů	15
3.1 Na ocelových podpěrách pomocí nástěnných konzol/ložisek	15
3.2 Na železobetonových podpěrách pomocí upínacích konzol	15
3.3 Na železobetonových stěnách pomocí přivařovacích desek	16
3.4 Na ocelových podpěrách pomocí přivařovacích desek	16
3.5 Na železobetonových stěnách pomocí nástěnných konzol a průchozích kotev	16
4 Výběr kladkostroje	18
5 Výpočet jeřábu	19
5.1 Zatížení způsobené jmenovitým břemenem	19
5.2 Zatížení způsobené vlastní hmotností	19
5.3 Kinematický rozbor	20
5.3.1 Klasifikace vazeb	20
5.3.2 Určení pohyblivosti soustavy	20
5.3.3 Uvolnění soustavy	20
5.4 Statický rozbor	21
5.4.1 Počet neznámých parametrů	21
5.4.2 Počet neznámých nezávislých parametrů	21
5.4.3 Počet použitelných podmínek statické rovnováhy	21
5.4.4 Podmínka statické určitosti	21
5.5 Určení sil ve vazbách	21
5.6 Výsledné vnitřní účinky	22
5.6.1 Zobrazení jednotlivých řezů	22
5.6.2 Grafické znázornění VVÚ	23
5.7 Návrhový výpočet ramene	24
5.7.1 Výpočet návrhového průřezového modulu v ohybu	24
5.7.2 Skutečné ohybové napětí	25
5.7.3 Součinitel bezpečnosti vzhledem k MSP	25
5.8 Určení vnitřních sil v šikmém závěsu	25

5.8.1	Výpočet v nultém stavu	26
5.8.2	Výpočet v jednotkovém stavu	26
5.8.3	Stanovení vnitřních sil	27
5.9	Volba šikmého závěsu	27
5.9.1	Výpočet napětí v šikmém závěsu	27
5.10	Volba ložiska v místě A	28
5.10.1	Základní parametry	28
5.10.2	Výpočet ložiska	29
5.11	Volba ložiska v místě B	30
5.11.1	Základní parametry	30
5.11.2	Výpočet ložiska	30
5.12	Kontrola čepu	31
5.12.1	Kontrola čepu na střih v místě A	31
5.12.2	Kontrola čepu na otláčení v místě A	32
5.13	Kontrola dolní konzoly	33
5.13.1	Průřezové charakteristiky	33
5.13.2	Součinitel tvaru v tlaku	35
5.13.3	Součinitel vrubu v tlaku	35
5.13.4	Tlakové napětí na konzole	35
5.13.5	Součinitel tvaru v ohybu	36
5.13.6	Součinitel vrubu v ohybu	36
5.13.7	Ohybové napětí na konzole	36
5.13.8	Celkové napětí na konzole	36
5.14	Kontrola kotevních šroubů	37
5.14.1	Tlaková síla působící na jeden šroub	37
5.14.2	Tlakové napětí na jeden šroub	37
5.14.3	Smyková síla působící na jeden šroub	37
5.14.4	Smykové napětí na jeden šroub	37
5.15	Kontrola svarů	38
5.15.1	Kontrola svaru šikmého závěsu k ramenu	38
5.15.2	Kontrola svaru šikmého závěsu ke svislici	39
5.16	Kontrola ramene vůči únavovému porušení	39
5.16.1	Maximální a minimální ohybový moment	39
5.16.2	Výpočet napětí	40
5.16.3	Výpočet meze únavy reálné součásti	41
5.16.4	Posouzení bezpečnosti dle Goodmanova kritéria	42

Závěr.....	43
Seznam použitých zkratk a symbolů	45
Seznam obrázků.....	49
Seznam příloh.....	50

ÚVOD

V moderní době se s rozvojem průmyslu a činností člověka se začaly vyrábět rozměrné součásti či výrobky, se kterými už nemohlo být manipulováno z důvodu hmotnosti nebo rozměrnosti pouze člověkem. Za účelem usnadnění a zrychlení práce začal člověk používat zdvihací zařízení - jeřáby. Jeřáby jsou vyráběny v různých velikostech, tvarech a tyto jeřáby lze díky jejich velké flexibilitě přizpůsobit jakémukoliv pracovišti, při zachování prostorové úspornosti.

Jeřábová technika představuje efektivní faktor každodenního provozu. Kvalitní zpracování při zachování jednoduchosti a použití kvalitních materiálů je vzhledem k častému provozu důležité. Opotřebení způsobenému provozem nemůžeme zabránit, a proto je doporučována pravidelná odborná údržba.

V této bakalářské práci je právě vytvořen návrh konstrukce nástěnného jeřábu. Jeřáb se skládá s hlavního svařeného ramene a dalších menších komponent zajišťujících jeho správnou funkci. Pohyb břemene zajišťuje kladkostroj.

1 ROZDĚLENÍ NÁSTĚNNÝCH JEŘÁBŮ

Sloupové jeřáby jsou rozděleny dle firmy ITECO – ABUS. Efektivní rozsah otáčení závisí na montážní poloze. Může činit více nebo méně než 180° [7].

1.1 NÁSTĚNNÝ JEŘÁB LW

Typ jeřábu s nosností do 1t a délkou vyložení do 7m. Rozsah otáčení je do 180°. Profilový výložník je z robustních dutých ocelových profilů. Má standardní nástěnnou konzolu. Pojezd kočky s lehce pohyblivými plastovými kolečky [7].



Obr. 1.1 Nástěnný otočný jeřáb LW [7]

1.2 NÁSTĚNNÝ JEŘÁB LWX

Typ jeřábu s nosností do 0.5t a délkou vyložení do 7m. Rozsah otáčení je do 180°. Robustní, nízko upevněný plnostěnný výložník pro vysokou užitnou výšku háku. Má standardní nástěnnou konzolu. Je zde snadná montáž pojezdového ústrojí díky odšroubovatelné desce výložníku a posuvným nárazníkům kočky [7].



Obr. 1.2 Nástěnný otočný jeřáb LWX [7]

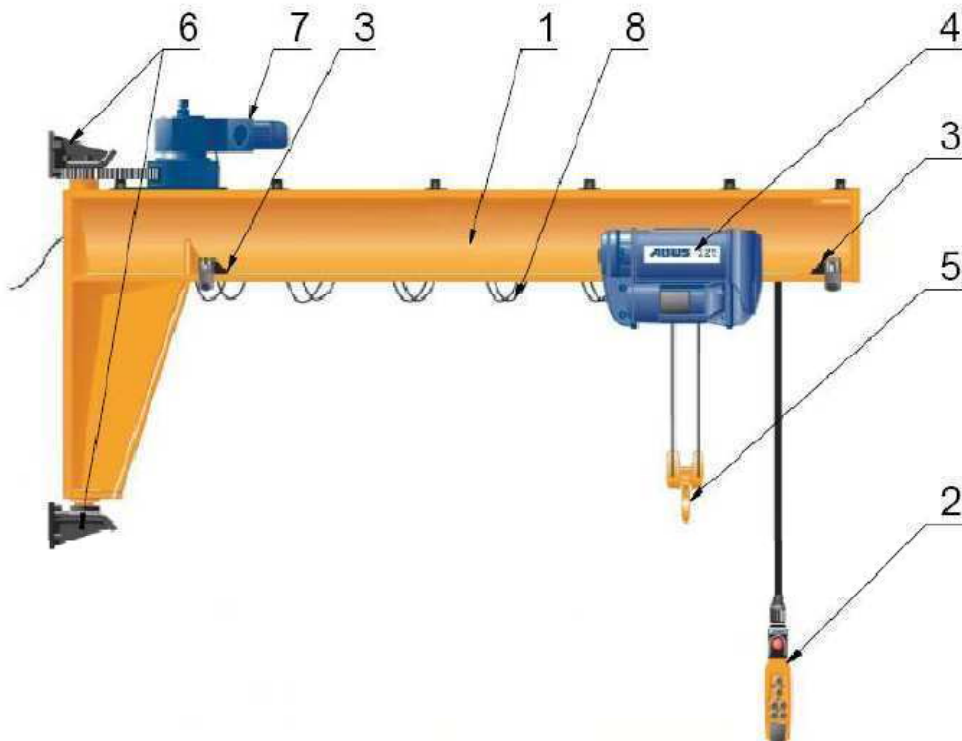
1.3 NÁSTĚNNÝ OTOČNÝ JEŘÁB VW

Typ jeřábu s nosností do 4t a délkou vyložení do 10m. Rozsah otáčení je do 180°. Robustní, nízko upevněný plnostěnný výložník pro vysokou užitnou výšku háku. Má standardní nástěnnou konzolu. Je zde snadná montáž pojezdového ústrojí díky odšroubovatelné desce výložníku a posuvným nárazníkům kočky [7].



Obr. 1.3 Nástěnný otočný jeřáb VW [7]

2 POPIS NÁSTĚNNÉHO JEŘÁBU



Obr. 2.1 Schéma nástěnného jeřábu [7]

1-rameno jeřábu	5- hák
2-ovladač s přípojovacím kabelem	6- upevňovací konzola , nástěnná ložiska
3-doraz	7- elektrické otáčení
4 – kladkostroj	8- elektor. zařízení (kabel, kabelový vozík,nosné prvky)

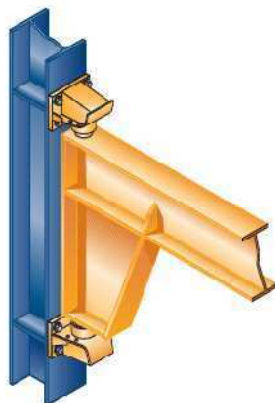
2.1 VOLITELNÉ VYBAVENÍ JEŘÁBŮ

- Omezení pohybu – dorazy vymežující úhel otočení
- Vybavení pro venkovní použití
- Kladkostroj – řetězový, lanový s elektrickým nebo ručním pojezdem
- Aretace výložníku
- Obsluha – pojízdné ovládání podél výložníku, na nosném háku, dálkové ovládání
- Regulace odporu otáčení
- Mezní spínače otáčení, pojezdu kočky
- Počítadlo provozních hodin

3 UPEVNĚNÍ NÁSTĚNNÝCH OTOČNÝCH JEŘÁBŮ

3.1 NA OCELOVÝCH PODPĚRÁCH POMOCÍ NÁSTĚNNÝCH KONZOL/LOŽISEK

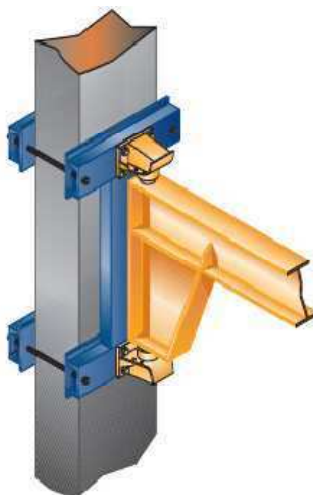
Nejjednodušším způsobem upevnění nástěnných otočných jeřábů je přišroubování k ocelovým podpěrám. Podpěry musí být staticky dostatečně dimenzovány, případně je nutné provést zesílení nosné konstrukce. Tyto konstrukce musí mít dostatečně širokou připojovací plochu. Všechny nástěnné otočné jeřáby sériově vyráběné nabízejí tuto možnost upevnění [7].



Obr. 3.1 Upevnění pomocí nástěnných konzol [7]

3.2 NA ŽELEZOBETONOVÝCH PODPĚRÁCH POMOCÍ UPÍNACÍCH KONZOL

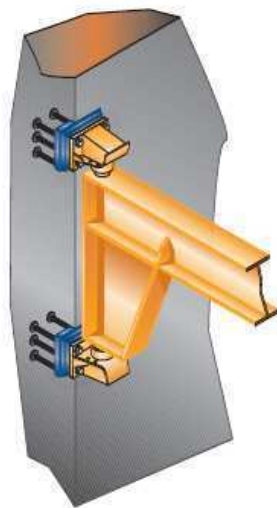
Na staticky vhodných, čtvercových nebo obdélníkových železobetonových podpěrách, které je možné ze všech stran obepnout, lze nástěnné otočné jeřáby připevnit pomocí upínacích konzol. Prostřednictvím závitových tyčí se dosahuje potřebné upínací síly, aby bylo možné jeřáb držet na podpěře v požadované výšce. Proto musí podpěra být dostatečně široká [7].



Obr. 3.2 Upevnění na železobetonových podpěrách [7]

3.3 NA ŽELEZOBETONOVÝCH STĚNÁCH POMOCÍ PŘIVAŘOVACÍCH DESEK

Betonové stěny nebo podpěry lze zalitím vhodných montážních desek se zpětným kotvením připravit jako spodní konstrukci pro upevnění nástěnných otočných jeřábů pomocí přivařovacích desek. Při přípravě stavby je nutné dbát na to, aby montážní desky ležely přesně ve stejné úrovni a měly kolmé připojovací plochy. Přivařovací desky se svaří se spodní konstrukcí. Nástěnná konzola nebo nástěnné ložisko jeřábu se na přivařovací desku našroubují [7].



Obr. 3.3 Upevnění pomocí přivařovacích desek [7]

3.4 NA OCELOVÝCH PODPĚRÁCH POMOCÍ PŘIVAŘOVACÍCH DESEK

Přivařovací desky lze také přímo přivařit k ocelovým podpěrám nebo k nosným ocelovým konstrukcím, jestliže se tyto nemají nebo nemohou provrtat [7].

3.5 NA ŽELEZOBETONOVÝCH STĚNÁCH POMOCÍ NÁSTĚNNÝCH KONZOL A PRŮCHOZÍCH KOTEV

Upevnění na dostatečně zatížitelných železobetonových stěnách se provádí pomocí nástěnných konzol. Nástěnné konzoly se na stěnu připevňují za použití kotevních šroubů a protidesek. Součástí dodávky bývají i kotevní svorníky přizpůsobené tloušťce stěny, protidesky a potřebný připevňovací materiál [7].



Obr. 3.5 Upevnění pomocí nástěnných konzol a průchozích kotev [7]

4 VÝBĚR KLADKOSTROJE

Výrobce			ABUS	ABUS	LIFTKET	STAHL	Agrifair
Typ			GM 4 800.4-2	GM 4 800.5-2	STAR 070/54	ST 800 SG1	EKZ PCH 500
Nosnost	kg		800	800	800	800	1000
Výška zdvihu	mm		4500	4500	4500	4500	4500
Nosné průřezy			2	2	2	2	2
Rychlost zdvihu	a	m/min	1	1,3	1,25	1	4
	b	m/min	4	5	5	4	
Rychlost pojezdu	c	m/min	5	5	5	5	12
	d	m/min	20	20	20	20	
FEM/ISO			3m/M6	3m/M6	2m	2m	1Bm
Provozní napětí			400V/50Hz	400V/50Hz	400V/50Hz	400V/50Hz	400V/50Hz
Motor	kW		0.22/0.9	0.22/0.9	1,1	1,25	0,72
Cena s el. pojezdem	Kč		48250	50757	51020	54300	52800

Všichni výrobci (mimo Agrifair) nabízí téměř shodné technické provedení kladkostrojů. Ve volbě byla rozhodujícím faktorem cena a kvalitativní dostupnost náhradních dílů a servisu.

Na základě vyhodnocení cenových nabídek, porovnání technických parametrů a dostupnosti servisu s dodávkami náhradních dílů byl zvolen LIFTKET STAR 070/54.



Obr. 4 Kladkostroj LIFTKET STAR [10]

5 VÝPOČET JEŘÁBU

Do výpočtu bude zahrnuta hmotnost břemene, vlastní hmotnost jeřábu, pojezdového ústrojí a kladkostroje. Hmotnost břemene bude uvažována při výpočtu 800 kg, která vyplývá ze zadání.

Skutečné zatížení je počítáno dle ČSN 27 0103 [5]. Kombinace zatížení – základní.

SPECIFIKACE JEŘÁBU

Zdvihová třída H3

Druh provozu D2

Spektrum napětí S1

Provozní skupina J3

5.1 ZATÍŽENÍ ZPŮSOBENÉ JMENOVITÝM BŘEMENEM

Toto zatížení bude působit na jeřáb při maximálním zatížení.

$$\begin{aligned} F_b &= (m+m_k) \cdot \delta_h \cdot \gamma_{lo} \cdot g & [5] & & (5.1) \\ F_b &= (800+56) \cdot 1,19 \cdot 1,3 \cdot 9,81 \\ F_b &= 12990,7 \text{ N} \end{aligned}$$

kde:

γ_{lo} ... součinitel zatížení od jmenovitého břemena [5]

δ_h ... dynamický součinitel zdvihový [5]

5.2 ZATÍŽENÍ ZPŮSOBENÉ VLASTNÍ HMOTNOSTÍ

Toto zatížení je způsobené pouze vlastní hmotností výložníku.

$$\begin{aligned} F_g &= m_g \cdot \delta_t \cdot \gamma_g \cdot g & [5] & & (5.2) \\ F_g &= 109,5 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 9,81 \\ F_g &= 1300 \text{ N} \end{aligned}$$

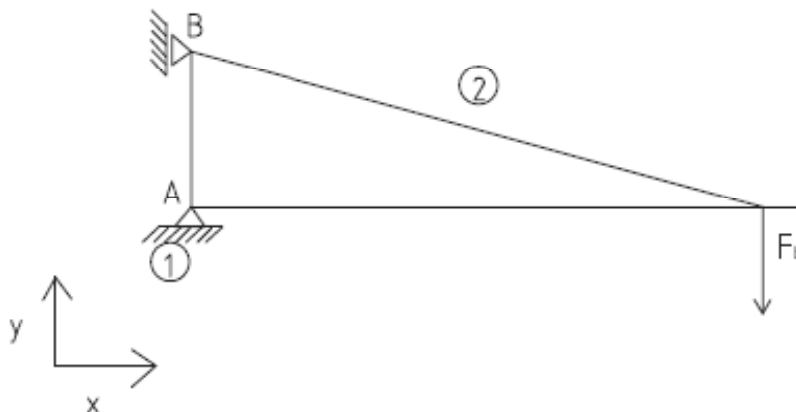
kde:

γ_g ... součinitel zatížení [5]

δ_t ... dynamický součinitel pojezdový [5]

5.3 KINEMATICKÝ ROZBOR

V rozboru se označí jednotlivá tělesa a vazby a určí se druh vazeb.



Obr. 5.3 Kinematické schéma jeřábu

5.3.1 KLASIFIKACE VAZEB

A – rotační vazba $\zeta_A = 2$

B – obecná vazba $\zeta_B = 1$

5.3.2 URČENÍ POHYBLIVOSTI SOUSTAVY

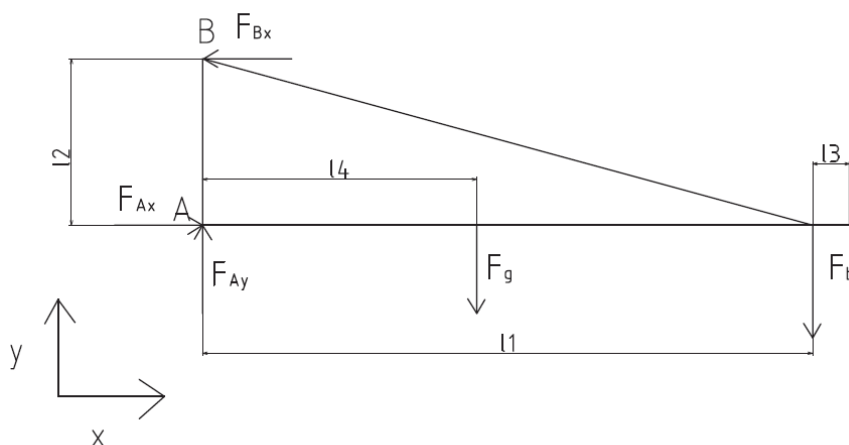
$$i = (n - 1) \cdot i_v - (\zeta_A + \zeta_B - \eta) \quad (5.3)$$

$$i = (2 - 1) \cdot 3 - (2 + 1 - 0)$$

$$i = 3 - 3 = 0$$

Soustava je uložena nepohyblivě. Rameno se může otáčet kolem osy y.

5.3.3 UVOLNĚNÍ SOUSTAVY



Obr. 5.3.3 Uvolnění jeřábu

Uvolnění těles je odstranění vazeb a nahrazení vazeb silovým působením, tak aby byla zachována funkce tělesa.

$$\begin{aligned}l_1 &= 3300 \text{ mm} \\l_2 &= 900 \text{ mm} \\l_3 &= 200 \text{ mm} \\l_4 &= 1483,2 \text{ mm}\end{aligned}$$

5.4 STATICKÝ ROZBOR

Statický rozbor se skládá z volby souřadného systému, určení množiny neznámých parametrů a nutné podmínky statické určitosti.

5.4.1 POČET NEZNÁMÝCH PARAMETRŮ

$$NP = \{F_{Bx}, F_{Ax}, F_{Ay}\}$$

$$\begin{aligned}\mu_F &= 3 \\ \mu_M &= 0 \\ \mu_r &= 0\end{aligned}$$

5.4.2 POČET NEZNÁMÝCH NEZÁVISLÝCH PARAMETRŮ

$$\begin{aligned}\mu &= \mu_F + \mu_M + \mu_r \\ \mu &= 3 + 0 + 0 \\ \mu &= 3\end{aligned}\tag{5.4}$$

5.4.3 POČET POUŽITELNÝCH PODMÍNEK STATICKE ROVNOVÁHY

$$\begin{aligned}v &= (n - 1) \cdot (v_F + v_M) \\ v &= (2 - 1) \cdot (2 + 1) \\ v &= 3\end{aligned}\tag{5.5}$$

5.4.4 PODMÍNKA STATICKE URČITOSTI

$$\begin{aligned}v &= \mu \\ 3 &= 3\end{aligned}\tag{5.6}$$

$$\begin{aligned}\mu_M + \mu_r &\leq v_M \\ 0 + 0 &\leq 1\end{aligned}\tag{5.7}$$

Úloha je staticky určitá.

5.5 URČENÍ SIL VE VAZBÁCH

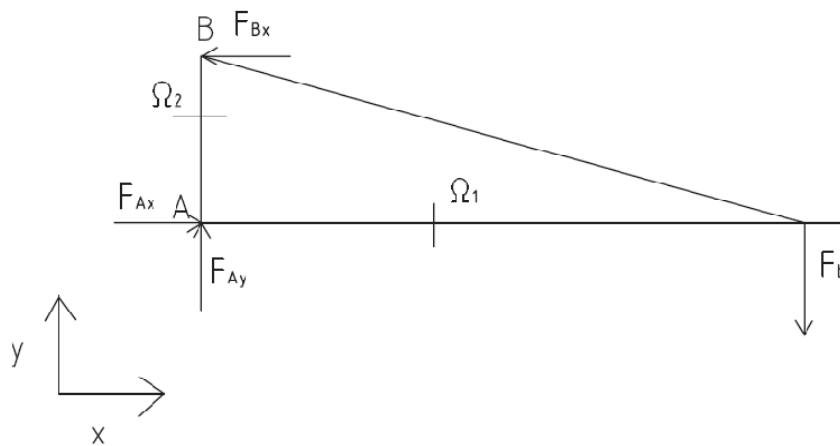
$$\begin{aligned}\Sigma F_y &= 0 \\ F_{Ay} - F_g + F_b &= 0 \\ F_{Ay} &= F_g + F_b \\ F_{Ay} &= 1300 + 12990,7 \\ F_{Ay} &= 14290,7 \text{ N}\end{aligned}\tag{5.8}$$

$$\begin{aligned} \Sigma M_{oA} &= 0 \\ - F_{Bx} \cdot l_2 + F_g \cdot l_4 + F_b \cdot l_1 &= 0 \\ F_{Bx} &= (F_g \cdot l_4 + F_b \cdot l_1) / l_2 \\ F_{Bx} &= (1300 \cdot 0,9 + 12990,7 \cdot 3,3) / 900 = 0 \\ F_{Bx} &= 48932,6 \text{ N} \end{aligned} \tag{5.9}$$

$$\begin{aligned} \Sigma F_x &= 0 \\ F_{Ax} - F_{Bx} &= 0 \\ F_{Ax} &= F_{Bx} = 48932,6 \text{ N} \end{aligned} \tag{5.10}$$

5.6 VÝSLEDNÉ VNITŘNÍ ÚČINKY

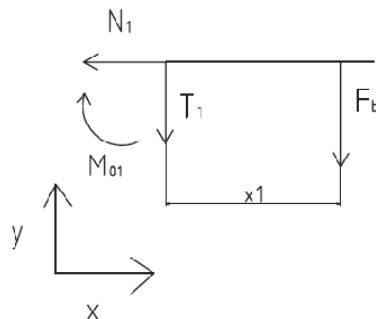
Velmi důležité je určení výsledných vnitřních účinků. Pomocí řezů se zjistí působení napětí v jednotlivých řezech a místa s největšími napětími budou zkontrolovány.



Obr. 5.6 Schéma rozdělení na intervaly

5.6.1 ZOBRAZENÍ JEDNOTLIVÝCH ŘEZŮ

Řez Ω_1 : $x_1 = (0; l_1)$

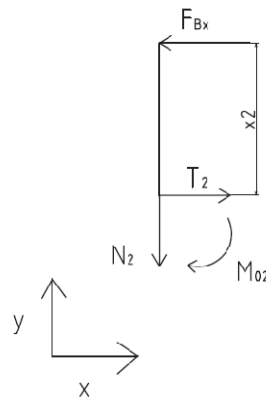


Obr. 5.6.1 Schéma řezu Ω_1

$$\begin{aligned} F_x: & N_1 = 0 \\ F_y: & T_1 = -F_b \end{aligned} \quad (5.11)$$

$$\begin{aligned} T_1 &= -12990,7 \text{ N} \\ M_o: & M_{01} = -F_b \cdot x_1 \\ & M_{01} = (0; -42869,3) \text{ Nm} \end{aligned} \quad (5.12)$$

Řez Ω_2 : $x_2 = (0; l_2)$

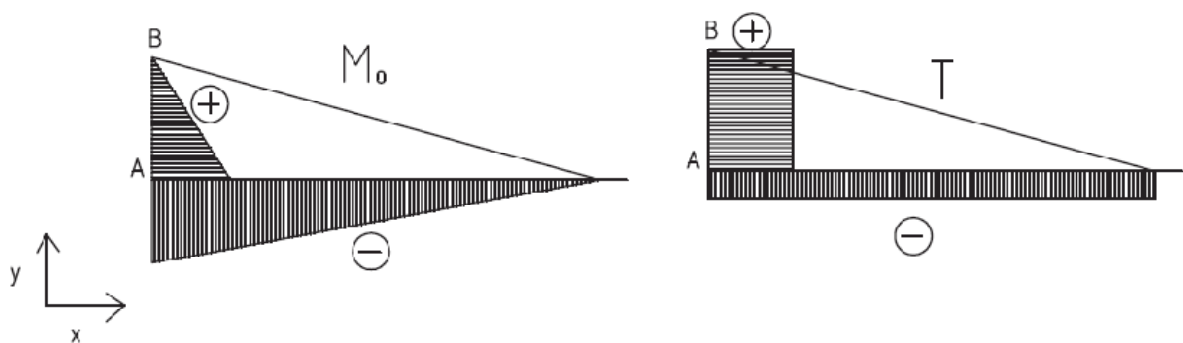


Obr. 5.6.1.1 Schéma řezu Ω_2

$$\begin{aligned} F_y: & N_2 = 0 \\ F_x: & T_2 = F_{Bx} \end{aligned} \quad (5.13)$$

$$\begin{aligned} T_2 &= 48932,6 \text{ N} \\ M_o: & M_{02} = F_{Bx} \cdot x_2 \\ & M_{02} = (0; 44039,3) \text{ Nm} \end{aligned} \quad (5.14)$$

5.6.2 GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VVÚ



Obr. 5.6.2 Grafické znázornění VVÚ

5.7 NÁVRHOVÝ VÝPOČET RAMENE

Z výsledných vnitřních účinků jasně vyplývá, že nejnebezpečnější oblast se nachází v místě A, které následně zkontroluji na mezní stav pružnosti.

Volím materiál ramene 11523.0 dle ČSN 42 0002, 1.0570 dle ČSN EN 10 027-2 [1].

Mez kluzu: $R_e=355$ MPa

Mez pevnosti: $R_m=490$ MPa

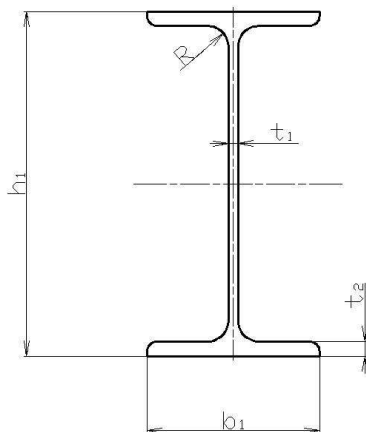
5.7.1 VÝPOČET NÁVRHOVÉHO PRŮŘEZOVÉHO MODULU V OHYBU

$$R_e = \frac{M_o}{W_o} = \frac{F_b \cdot l_1 + F_G \cdot l_4}{W_o}$$
$$W_o = \frac{F_b \cdot l_1 + F_G \cdot l_4}{R_e} \quad (5.14)$$

$$W_o = \frac{12990,7 \cdot 3,3 + 1300 \cdot 1,4832}{355}$$

$$W_o = 126,2 \text{ cm}^3$$

Volím profil: I 220 ČSN 42 5550 – 11 523.0 – ČSN 42 0135.00



Obr. 5.7.1 Profil I 220 [3]

$$h_1 = 220 \text{ mm}$$

$$b_1 = 98 \text{ mm}$$

$$R = 8,1 \text{ mm}$$

$$t_1 = 8,1 \text{ mm}$$

$$t_2 = 12,2 \text{ mm}$$

$$m_{gv1} = 26,2 \text{ kg}$$

$$W_{01} = 278 \text{ cm}^3$$

5.7.2 SKUTEČNÉ OHYBOVÉ NAPĚTÍ

$$\sigma_0 = \frac{M_o}{W_{o1}} = \frac{F_b \cdot l_1 + F_G \cdot l_4}{W_{o1}}$$

$$\sigma_0 = \frac{12990,7 \cdot 3,3 + 1300 \cdot 1,4832}{278} \quad (5.15)$$

$$\sigma_0 = 161,1 \text{ MPa}$$

5.7.3 SOUČINITEL BEZPEČNOSTI VZHLEDEM K MSP

$$k_k = \frac{R_e}{\sigma_0} \quad (5.16)$$

$$k_k = \frac{355}{161,1}$$

$$k_k = 2,2$$

Zvolený profil vyhovuje.

5.8 URČENÍ VNITŘNÍCH SIL V ŠIKMÉM ZÁVĚSU

Pro výpočet vnitřních sil v šikmém závěsu je použita silová metoda. Za neznámou složku je zvolena osová síla v šikmém závěsu.

Pro řešenou soustavu musí být splněna základní deformační podmínka:

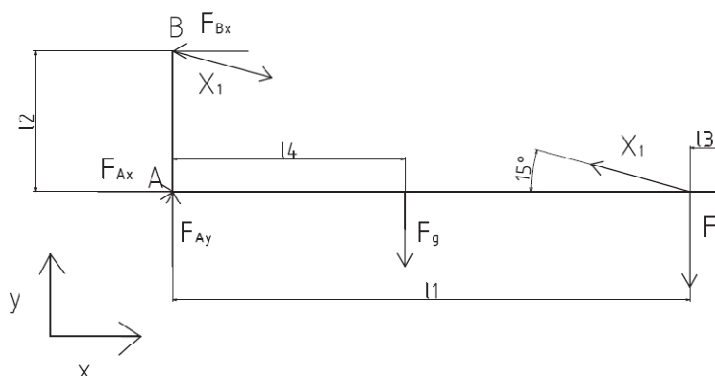
$$\delta_{1,0} + \delta_{1,1} \cdot X_1 = 0 \quad (5.17)$$

kde:

$\delta_{1,0}$... deformační součinitel stanovený výpočtem z nultého stavu

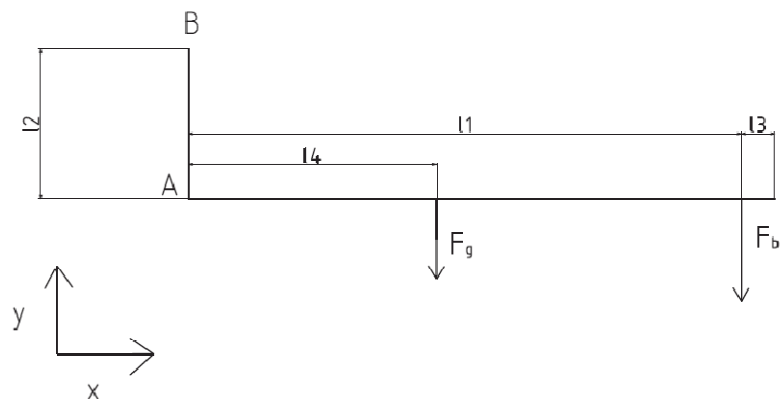
$\delta_{1,1}$... deformační součinitel stanovený výpočtem z jednotkového stavu

X_1 ... hledaná veličina (v našem případě osová síla v šikmém závěsu)



Obr. 5.8 Základní schéma pro výpočet silovou metodou

5.8.1 VÝPOČET V NULTÉM STAVU



Obr. 5.8.1 Základní schéma nultého stavu

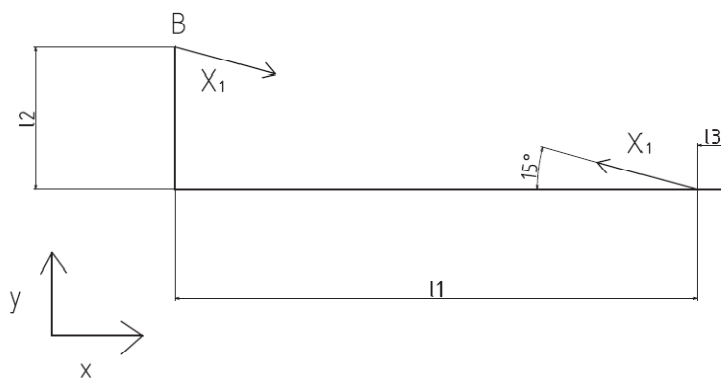
Na takto upravené konstrukci vypočteme ohybový moment

$$M_{A0} = -F_b \cdot l_1 - F_g \cdot l_2 \quad (5.18)$$

$$M_{A0} = -12990,7 \cdot 3,3 - 1300 \cdot 1,4832$$

$$M_{A0} = -44797,47 Nm$$

5.8.2 VÝPOČET V JEDNOTKOVÉM STAVU



Obr. 5.8.2 Základní schéma jednotkového stavu

Na takto upravené konstrukci vypočteme ohybový moment

$$M_{A1} = X_1 \cdot \sin 15^\circ \cdot l_1 \quad (5.19)$$

$$M_{A1} = 1000 \cdot \sin 15^\circ \cdot 3,3$$

$$M_{A1} = 868,3 Nm$$

5.8.3 STANOVENÍ VNITŘNÍCH SIL

$$\delta_{1,0} = \frac{1}{3} \cdot M_{A0} \cdot M_{A1} \cdot l_1 + \frac{1}{3} \cdot M_{A0} \cdot M_{A1} \cdot l_2 \quad (5.20)$$

$$\delta_{1,0} = \frac{1}{3} \cdot (-44797,47) \cdot 868,3 \cdot 3,3 + \frac{1}{3} \cdot (-44797,47) \cdot 868,3 \cdot 0,9$$

$$\delta_{1,0} = -54456700,5$$

$$\delta_{1,1} = \frac{1}{3} \cdot M_{A1} \cdot M_{A1} \cdot l_1 + \frac{1}{3} \cdot M_{A1} \cdot M_{A1} \cdot l_2 \quad (5.21)$$

$$\delta_{1,1} = \frac{1}{3} \cdot 868,3 \cdot 868,3 \cdot 3,3 + \frac{1}{3} \cdot 868,3 \cdot 868,3 \cdot 0,9$$

$$\delta_{1,1} = 1055522,8$$

Po dosazení do základní deformační podmínky:

$$\delta_{1,0} + \delta_{1,1} \cdot X_1 = 0$$

$$X_1 = 51592,2 \text{ N}$$

5.9 VOLBA ŠIKMÉHO ZÁVĚSU

Volím materiál šikmého závěsu 11523.0 dle ČSN 42 0002, 1.0570 dle ČSN EN 10 027-2 [1].

Mez kluzu: $R_{e2} = 355 \text{ MPa}$

Mez pevnosti: $R_{m2} = 490 \text{ MPa}$

Volím profil šikmého závěsu TR 4HR 80x60x5 dle ČSN 42 5720 [1]. Vlastní tíha tohoto profilu je v dalších výpočtech zanedbána.

Důležitý parametr u tohoto profilu je průřezová plocha $S_{pz} = 888 \text{ mm}^2$

Šikmý závěs je namáhán na tah.

5.9.1 VÝPOČET NAPĚTÍ V ŠIKMÉM ZÁVĚSU

$$\sigma_1 = \frac{X_1}{S_{pz}}$$

$$\sigma_1 = \frac{51592,2}{888} \quad (5.22)$$

$$\sigma_1 = 58,1 \text{ MPa}$$

Napětí v tahu σ_1 je několikrát menší než mez kluzu materiálu. Zvolený profil vyhovuje.

5.10 VOLBA LOŽISKA V MÍSTĚ A



Obr. 5.10 Zobrazení a umístění ložiska v bodě A

Maximální radiální zatížení ložiska

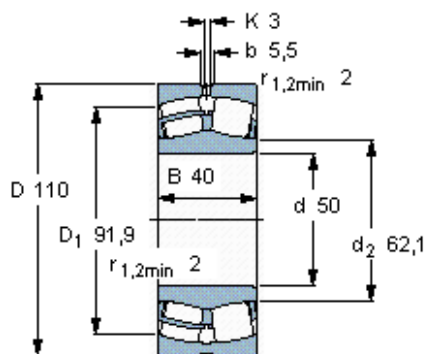
$$F_{Ax} = 48932,6 \text{ N}$$

Maximální axiální zatížení ložiska

$$F_{Ay} = 14290,7 \text{ N}$$

V místě A se vyskytuje kombinované axiální i radiální zatížení, kde axiální složka je výrazně menší než radiální složka.

Volím soudečkové ložisko od firmy SKF 22310E



Obr. 5.10.1 Soudečkové ložisko SKF 22310E [11]

5.10.1 ZÁKLADNÍ PARAMETRY

$$C = 220000 \text{ N}$$

$$C_o = 224000 \text{ N}$$

$$e = 0,37$$

$$Y_1 = 1,8$$

$$Y_2 = 2,7$$

$$Y_o = 1,8$$

kde:

C ... dynamická únosnost

C₀ ... statická únosnost

e ... výpočtový součinitel ložiska

Y₁ ... výpočtový součinitel ložiska

Y₂ ... výpočtový součinitel ložiska

Y₀ ... výpočtový součinitel ložiska

5.10.2 VÝPOČET LOŽISKA

Výpočet ložiska je proveden dle online katalogu firmy SKF [12].

Ekvivalentní dynamické zatížení:

$$P_r = F_{Ax} + Y_1 \cdot F_{Ay} \quad (5.23)$$

$$P_r = 48932,6\text{N} + 1,8 \cdot 14290,7\text{N}$$

$$P_r = 74,7\text{kN}$$

Základní trvanlivost ložiska

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P_r}\right)^p$$

$$L_{10} = \left(\frac{220000}{74700}\right)^{3,33} \quad (5.24)$$

$$L_{10} = 37 \cdot 10^6 \text{ ot}$$

Ekvivalentní statické zatížení ložiska

$$P_o = F_{Ax} + Y_o \cdot F_{Ay} \quad (5.25)$$

$$P_o = 48932,6\text{N} + 1,8 \cdot 14290,7\text{N}$$

$$P_o = 74,7\text{kN}$$

Statická bezpečnost ložiska

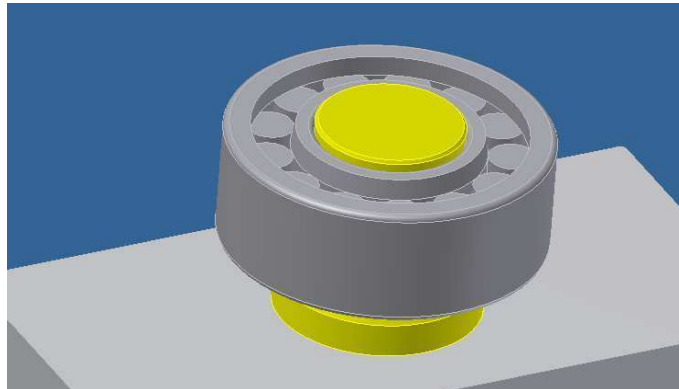
$$S_o = \frac{C_o}{P_o}$$

$$S_o = \frac{224000}{74700} \quad (5.26)$$

$$S_o = 3$$

Zvolené ložisko vyhovuje.

5.11 VOLBA LOŽISKA V MÍSTĚ B



Obr. 5.11 Zobrazení a umístění ložiska v bodě B

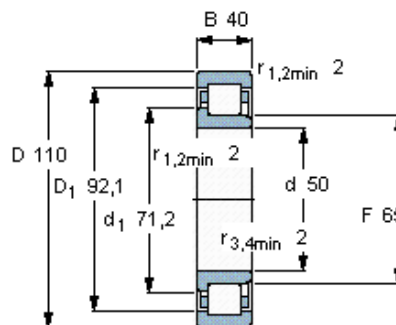
Maximální radiální zatížení ložiska

$$F_{Bx} = 48932,6 \text{ N}$$

Maximální axiální zatížení ložiska

$$F_{By} = 0 \text{ N}$$

V místě B se vyskytuje pouze radiální zatížení, proto volím válečkové ložisko od firmy SKF NJ 2310 ECP.



Obr. 5.11.1 Válečkové ložisko SKF NJ 2310 ECP [13]

5.11.1 ZÁKLADNÍ PARAMETRY

$$C = 186000 \text{ N}$$

$$C_o = 186000 \text{ N}$$

$$e = 0,3$$

5.11.2 VÝPOČET LOŽISKA

Výpočet ložiska je proveden dle online katalogu firmy SKF [11].

Ekvivalentní dynamické zatížení:

$$P_r = 48,9 \text{ kN}$$

Základní trvanlivost ložiska

$$L_{10} = 86 \cdot 10^6 \text{ ot}$$

Ekvivalentní statické zatížení ložiska

$$P_o = F_{Bx} + Y_o \cdot F_{By}$$

$$P_o = 48932,6 \text{ N} + 0 \cdot 0 \text{ N}$$

$$P_o = 48,9 \text{ kN}$$

Statická bezpečnost ložiska

$$S_o = \frac{C_o}{P_o}$$

$$S_o = \frac{186000}{48932,6}$$

$$S_o = 3,8$$

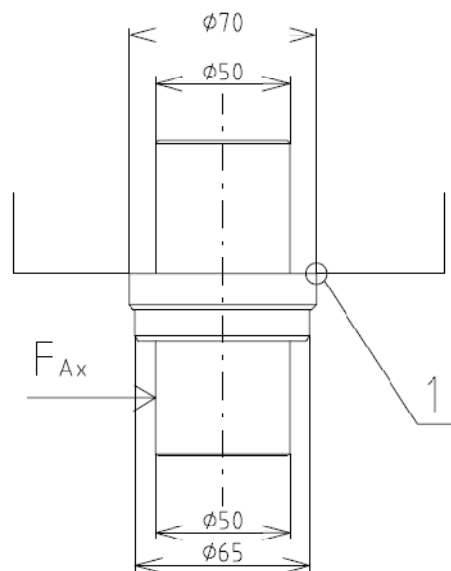
Zvolené ložisko vyhovuje.

5.12 KONTROLA ČEPU

Volím materiál čepu 11523.0 dle ČSN 42 0002, 1.0570 dle ČSN EN 10 027-2 [1].

Mez kluzu: $R_{ec} = 355 \text{ MPa}$

Mez pevnosti: $R_{mč} = 490 \text{ MPa}$



Obr. 5.12 Schéma čepu

5.12.1 KONTROLA ČEPU NA STŘIH V MÍSTĚ A

Kontrola je provedena v místě 1 dle obr. 5.12, protože je zde vrub v podobě osazení čepu.

SOUČINITEL TVARU

$$r/d = 2/50$$

$$r/d = 0,04$$

$$D/d = 75/50$$

$$D/d = 1,5$$

Dle [1], str. 1115 součinitel tvaru $\alpha = 2$

kde:

r... zaoblení mezi osazeními

D... větší průměr čepu

d... menší průměr čepu

SOUČINITEL VRUBU

Součinitel vrubu je vypočítán dle [1], str. 354

$$\beta = \frac{\alpha}{1 + \frac{2 \cdot (\alpha - 1) \cdot \sqrt{a}}{\alpha \cdot \sqrt{r}}}$$
$$\beta = \frac{2}{1 + \frac{2 \cdot (2 - 1) \cdot \sqrt{\frac{139}{490}}}{2 \cdot \sqrt{2}}} \quad (5.27)$$

$$\beta = 1,46$$

kde:

a... Heywoodův parametr

VÝPOČET NAPĚTÍ VE STŘIHU

$$\sigma_s = \frac{F_{Ax}}{S_\xi} \cdot \beta \quad (5.28)$$

$$\sigma_s = \frac{48932,6}{1963} \cdot 1,46$$

$$\sigma_s = 36,4 \text{ MPa}$$

kde:

S_ξ ... průřez čepu

Napětí ve střihu σ_s je mnohonásobně menší než mez kluzu. Čep vyhovuje.

5.12.2 KONTROLA ČEPU NA OTLAČENÍ V MÍSTĚ A

Průřez v místě otláčení je větší než v místě kontroly na střih, tudíž čep i kontrole na otláčení.

5.13 KONTROLA DOLNÍ KONZOLY

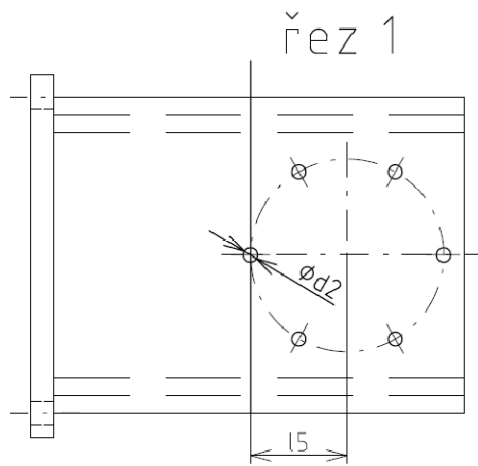
Jelikož horní konzola je namáhána pouze na tah, budu kontrolovat jen dolní konzolu, která je namáhána kombinací ohybového a tlakového napětí.

Volím materiál čepu 11523.0 dle ČSN 42 0002, 1.0570 dle ČSN EN 10 027-2 [1].

Mez kluzu: $R_e=355$ MPa

Mez pevnosti: $R_m=490$ MPa

Konzolu budu kontrolovat v místě šroubového spoje, kde se objevují 2 otvory pro šrouby a jsou zde jako koncentrátoři napětí.

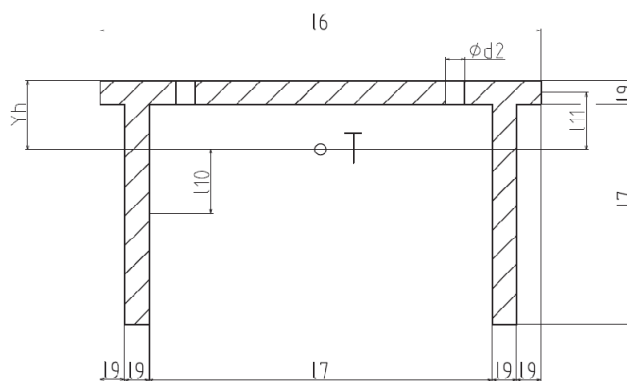


Obr. 5.13 Místo kontroly na konzole

$$l_5 = 82,5 \text{ mm}$$

$$d_2 = 12 \text{ mm}$$

5.13.1 PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY



Obr. 5.13.1 Schéma konzoly v nebezpečném místě

$$l_6 = 270 \text{ mm}$$

$$l_7 = 134 \text{ mm}$$

$$l_9 = 15 \text{ mm}$$

$$l_{10} = 39,6 \text{ mm}$$

$$l_{11} = 34,9 \text{ mm}$$

PRŮŘEZ KONZOLY V MÍSTĚ ŘEZU

$$S_k = l_9 \cdot l_7 \cdot 2 + l_9 \cdot l_6 - 2 \cdot d_2 \cdot l_9 \quad (5.29)$$

$$S_k = 15 \cdot 134 \cdot 2 + 15 \cdot 270 - 2 \cdot 12 \cdot 15$$

$$S_k = 7710 \text{ mm}^2$$

POLOHA TĚŽIŠTĚ

Poloha těžiště je stanovena z podmínky rovnosti statických momentů plochy.

$$y_h = \frac{l_9 \cdot l_6 \cdot \frac{l_9}{2} + l_9 \cdot l_7 \cdot 2 \cdot \frac{l_7 + l_9}{2} - 2 \cdot d_2 \cdot l_9 \cdot \frac{l_9}{2}}{l_9 \cdot l_7 \cdot 2 + l_9 \cdot l_6 - 2 \cdot d_2 \cdot l_9}$$

$$y_h = \frac{270 \cdot 15 \cdot \frac{15}{2} + 2 \cdot 15 \cdot 134 \cdot \frac{134 + 15}{2} - 2 \cdot 12 \cdot 15 \cdot \frac{15}{2}}{15 \cdot 134 \cdot 2 + 15 \cdot 270 - 2 \cdot 12 \cdot 15} \quad (5.30)$$

$$y_h = 42,4 \text{ mm}$$

KVADRATICKÝ MOMENT

$$\text{Kvadratický moment je vypočten pomocí Steinerovy věty } I_y = I_i + x_i^2 \cdot S_i \quad (5.31)$$

kde:

I_i ... moment setrvačnosti dílčí části

S_i ... plocha dílčí části

x_i ... vzdálenost těžiště dílčí části od těžiště celého průřezu

$$I_y = 2 \cdot \left(\frac{1}{12} l_9^3 \cdot l_7 + l_9 \cdot l_7 \cdot l_{10}^2 \right) + \frac{1}{12} l_9 \cdot l_6^3 + l_9 \cdot l_6 \cdot l_{11}^2 - 2 \cdot \left(\frac{1}{12} d_2^3 \cdot l_9 + d_2 \cdot l_9 \cdot l_{11}^2 \right)$$

$$I_y = 2 \cdot \left(\frac{1}{12} 15^3 \cdot 134 + 15 \cdot 134 \cdot 39,6^2 \right) + \frac{1}{12} 15 \cdot 270^3 + 15 \cdot 270 \cdot 34,9^2 - 2 \cdot \left(\frac{1}{12} 12^3 \cdot 15 + 12 \cdot 15 \cdot 34,9^2 \right)$$

$$I_y = 36302390,1 \text{ mm}^4$$

MODUL PRŮŘEZU PRO HORNÍ VLÁKNO

$$W_{yh} = \frac{I_y}{y_h}$$

$$W_{yh} = \frac{36302390,1}{42,4} \quad (5.32)$$

$$W_{yh} = 856188,4 \text{ mm}^3$$

MODUL PRŮŘEZU PRO DOLNÍ VLÁKNO

$$W_{yd} = \frac{I_y}{l_7 + l_9 - y_h}$$
$$W_{yd} = \frac{36302390,1}{134 + 15 - 42,4} \quad (5.33)$$
$$W_{yd} = 340547,7 \text{ mm}^3$$

Pro kontrolu vybírám menší modul W_{yd} .

5.13.2 SOUČINITEL TVARU V TLAKU

$$\frac{d}{w} = \frac{2 \cdot d_2}{l_6}$$
$$\frac{d}{w} = \frac{2 \cdot 12}{270} \quad (5.34)$$
$$\frac{d}{w} = 0,09$$

Dle [1], str. 1113, obr. A- 15-1 součinitel tvaru v tlaku $\alpha_1 = 2,7$.

5.13.3 SOUČINITEL VRUBU V TLAKU

Součinitel vrubu je vypočítán dle [1], str. 354

$$\beta_1 = \frac{\alpha_1}{1 + \frac{2 \cdot (\alpha_1 - 1) \cdot \sqrt{a}}{\alpha_1 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot d_2}{2}}}}$$
$$\beta_1 = \frac{2,7}{1 + \frac{2 \cdot (2,7 - 1) \cdot \sqrt{\frac{174}{490}}}{2,7 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 12}{2}}}} \quad (5.35)$$
$$\beta_1 = 2,22$$

5.13.4 TLAKOVÉ NAPĚTÍ NA KONZOLE

$$\sigma_{tk} = \frac{F_{Ax}}{S_k} \cdot \beta_1$$
$$\sigma_{tk} = \frac{48932,6}{7710} \cdot 2,22 \quad (5.36)$$
$$\sigma_{tk} = 14,1 \text{ MPa}$$

5.13.5 SOUČINITEL TVARU V OHYBU

$$\begin{aligned}\frac{d}{w} &= 0,09 \\ \frac{d}{h} &= \frac{d_2}{l_9} \\ \frac{d}{h} &= \frac{12}{15} \\ \frac{d}{h} &= 0,8\end{aligned}\tag{5.37}$$

Dle [1], str. 1113, obr. A- 15-2 součinitel tvaru v ohybu $\alpha_2 = 2,15$.

5.13.6 SOUČINITEL VRUBU V OHYBU

Součinitel vrubu je vypočítán dle [1], str. 354

$$\begin{aligned}\beta_2 &= \frac{\alpha_2}{1 + \frac{2 \cdot (\alpha_2 - 1) \cdot \sqrt{a}}{\alpha_2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot d_2}{2}}}} \\ \beta_2 &= \frac{2,15}{1 + \frac{2 \cdot (2,15 - 1) \cdot \sqrt{\frac{174}{490}}}{2,15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 12}{2}}}} \\ \beta_2 &= 1,82\end{aligned}\tag{5.38}$$

5.13.7 OHYBOVÉ NAPĚTÍ NA KONZOLE

$$\begin{aligned}\sigma_{ok} &= \frac{M_{ok}}{W_{yd}} \cdot \beta_2 = \frac{F_{Ay} \cdot l_5}{W_{yd}} \cdot \beta_2 \\ \sigma_{ok} &= \frac{14290,7 \cdot 82,5}{340547,7} \cdot 1,82 \\ \sigma_{ok} &= 6,3MPa\end{aligned}\tag{5.39}$$

5.13.8 CELKOVÉ NAPĚTÍ NA KONZOLE

$$\begin{aligned}\sigma_{ck} &= \sigma_{ok} + \sigma_{tk} \\ \sigma_{ck} &= 6,3 + 14,1 \\ \sigma_{ck} &= 20,4MPa\end{aligned}\tag{5.40}$$

Celkové napětí na konzole σ_{ck} je mnohonásobně menší než mez kluzu. Konzola tedy vyhovuje.

5.14 KONTROLA KOTEVNÍCH ŠROUBŮ

Kotevní šrouby na dolní konzole jsou namáhány tlakem a ohybem od radiální a axiální síly v místě A.

Ukotvení je provedeno 4 šrouby M20 pevnostní třídy 8.8. Dle [1]

Mez kluzu šroubu: $R_{eL} = 640 \text{ MPa}$

Dle [1], str.442, Tab. 8-8

Výpočtový průřez šroubu: $A_S = 245 \text{ mm}^2$

Dle [1], str.420, Tab. 8-1

5.14.1 TLAKOVÁ SÍLA PŮSOBÍCÍ NA JEDEN ŠROUB

$$F_{\dot{s}t} = \frac{F_{Ax}}{4}$$
$$F_{\dot{s}t} = \frac{48932,6}{4} \quad (5.41)$$
$$F_{\dot{s}t} = 12233,15 \text{ N}$$

5.14.2 TLAKOVÉ NAPĚTÍ NA JEDEN ŠROUB

$$\sigma_{\dot{s}t} = \frac{F_{\dot{s}t}}{A_s}$$
$$\sigma_{\dot{s}t} = \frac{12233,15}{245} \quad (5.42)$$
$$\sigma_{\dot{s}t} = 50 \text{ MPa}$$

5.14.3 SMYKOVÁ SÍLA PŮSOBÍCÍ NA JEDEN ŠROUB

$$F_{\dot{s}s} = \frac{F_{Ay}}{4}$$
$$F_{\dot{s}s} = \frac{14290,7}{4} \quad (5.43)$$
$$F_{\dot{s}s} = 3572,7 \text{ N}$$

5.14.4 SMYKOVÉ NAPĚTÍ NA JEDEN ŠROUB

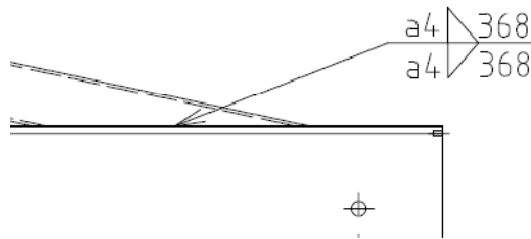
$$\sigma_{\dot{s}s} = \frac{F_{\dot{s}s}}{A_s}$$
$$\sigma_{\dot{s}s} = \frac{3572,7}{245} \quad (5.44)$$
$$\sigma_{\dot{s}s} = 14,6 \text{ MPa}$$

Obě napětí jsou výrazně nižší než mez kluzu šroubu. Navržené kotevní šrouby vyhovují

5.15 KONTROLA SVARŮ

5.15.1 KONTROLA SVARU ŠIKMÉHO ZÁVĚSU K RAMENU

Svar v tomto místě je namáhán na smyk. Jako zatěžující síla je zde osová síla v šikmém závěsu bez redukce úhlem.



Obr. 5.15.1 Svar šikmého závěsu k ramenu

$$a_{w1} = 4 \text{ mm}$$
$$L_{w1} = 368,25$$

kde:

a_{w1} ... účinná výška svaru
 L_{w1} ... délka svaru

ZATÍŽENÍ SVARU SMYKEM

$$\tau_{01} = \frac{X_1}{\cos 45^\circ \cdot a_{w1} \cdot 2 \cdot L_{w1}}$$

$$\tau_{01} = \frac{51592,2}{0,707 \cdot 4 \cdot 2 \cdot 368,25} \quad (5.45)$$

$$\tau_{01} = 24,8 \text{ MPa}$$

MEZ KLUZU VE SMYKU

Dle [6], kap. 4.5.3

$$R_{se} = 0,577 \cdot R_e \quad (5.46)$$

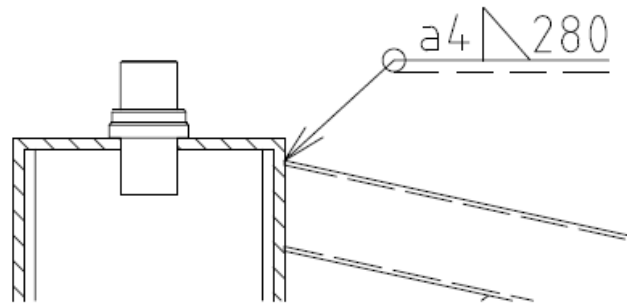
$$R_{se} = 0,577 \cdot 355$$

$$R_{se} = 204,8 \text{ MPa}$$

Smykové zatížení τ_{01} je značně menší než mez kluzu ve smyku. Svar vyhovuje.

5.15.2 KONTROLA SVARU ŠIKMÉHO ZÁVĚSU KE SVISLICI

Svar v tomto místě je namáhán na tah. Jako zatěžující síla je zde osová síla v šikmém závěsu bez redukce úhlem.



Obr. 5.15.2 Svar šikmého závěsu ke svislici

$$a_{w2} = 4 \text{ mm}$$

$$L_{w2} = 80+80+60+60 = 280$$

Kontrola dle [8], kap. 4.5.3

ZATÍŽENÍ SVARU TAHEM

$$\sigma_{01} = \frac{X_1}{\cos 45^\circ \cdot a_{w2} \cdot L_{w2}}$$

$$\sigma_{01} = \frac{51592,2}{0,707 \cdot 4 \cdot 280} \quad (5.47)$$

$$\sigma_{01} = 65,2 \text{ MPa}$$

Zatížení tahem σ_{01} je značně menší než mez kluzu ve smyku. Svar vyhovuje.

5.16 KONTROLA RAMENE VŮČI ÚNAVOVÉMU PORUŠENÍ

5.16.1 MAXIMÁLNÍ A MINIMÁLNÍ OHYBOVÝ MOMENT

Maximální:

$$M_{0\max} = 42869,3 \text{ Nm}$$

Minimální:

$$M_{0\min} = F_g \cdot l_4 + (m_k \cdot \delta_h \cdot \gamma_{10} \cdot g) \cdot l_1 \quad (5.48)$$

$$M_{0\min} = 1300 \cdot 1,483 + (56 \cdot 1,19 \cdot 1,3 \cdot 9,81) \cdot 3,3$$

$$M_{0\min} = 4732,4 \text{ Nm}$$

5.16.2 VÝPOČET NAPĚTÍ

Maximální:

$$\begin{aligned}\sigma_{\max} &= \frac{M_{o\max}}{W_{01}} \\ \sigma_{\max} &= \frac{42869,3}{278} \\ \sigma_{\max} &= 150,2\text{MPa}\end{aligned}\tag{5.49}$$

Minimální:

$$\begin{aligned}\sigma_{\min} &= \frac{M_{o\min}}{W_{01}} \\ \sigma_{\min} &= \frac{4732,4}{278} \\ \sigma_{\min} &= 17\text{MPa}\end{aligned}\tag{5.50}$$

STŘEDNÍ HODNOTA NAPĚTÍ

$$\begin{aligned}\sigma_m &= \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} \\ \sigma_m &= \frac{150,2 + 17}{2} \\ \sigma_m &= 83,6\text{MPa}\end{aligned}\tag{5.51}$$

AMLITUDA NAPĚTÍ

$$\begin{aligned}\sigma_a &= \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} \\ \sigma_a &= \frac{150,2 - 17}{2} \\ \sigma_a &= 66,6\text{MPa}\end{aligned}\tag{5.52}$$

VÝPOČET MEZE ÚNAVY VZORKU

Dle [1], str. 340

$$\begin{aligned}\sigma_{co} &= 0,504 \cdot R_m \\ \sigma_{co} &= 0,504 \cdot 490 \\ \sigma_{co} &= 246,96\text{MPa}\end{aligned}\tag{5.53}$$

Rameno je namáháno míjivým zatížením.

5.16.3 VÝPOČET MEZE ÚNAVY REÁLNÉ SOUČÁSTI

Vypočítanou mez únavy vzorku je ještě třeba korigovat korekčními součiniteli.

SOUČINITEL VLIVU JAKOSTI POVRCHU

Profil je válcován za tepla

Dle [1], str. 346, Tab. 7-4

$$a = 57,7$$

$$b = -0,718$$

$$k_a = a \cdot R_m^b$$

$$k_a = 57,7 \cdot R_m^{-0,718} \quad (5.54)$$

$$k_a = 0,675$$

SOUČINITEL VLIVU VELIKOSTI TĚLESA

Dle [1], str. 346

$$h_1 = 220 \text{ mm}$$

$$k_b = 1,51 \cdot h_1^{-0,157}$$

$$k_b = 0,647 \quad (5.55)$$

SOUČINITEL VLIVU ZPŮSOBU ZATĚŽOVÁNÍ

Rameno je namáháno na ohyb

Dle [1], str. 348

$$k_c = 1$$

SOUČINITEL VLIVU TEPLoty

Dle [1], str. 348, Tab. 7-6

$$k_d = 1$$

SOUČINITEL SPOLEHLIVOSTI

Dle [3], str. 351, Tab. 7-7 pro spolehlivosti 90%

$$k_e = 0,897$$

SOUČINITEL Zahrnující další vlivy

Nejsou zde žádné další vlivy.

$$k_f = 1$$

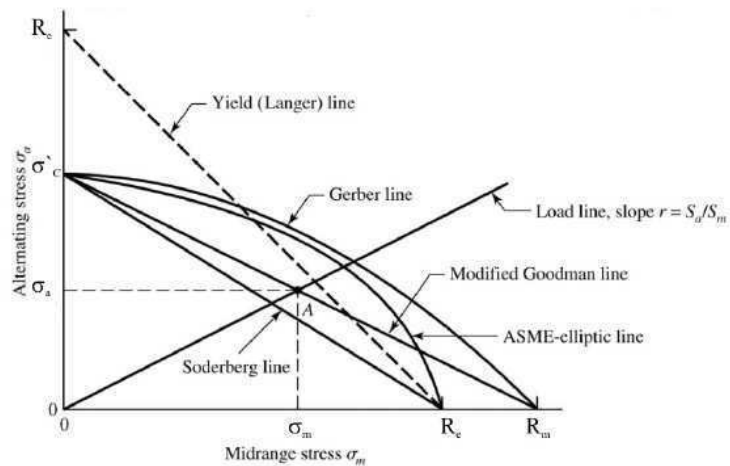
MEZ ÚNAVY REÁLNÉ SOUČÁSTI

Dle [1], str. 345

$$\begin{aligned}\sigma_{co} &= k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_f \cdot \sigma_{co} \\ \sigma_{co} &= 0,675 \cdot 0,647 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,897 \cdot 1 \cdot 246,96 \\ \sigma_{co} &= 96,75 \text{ MPa}\end{aligned}\tag{5.56}$$

5.16.4 POSOUZENÍ BEZPEČNOSTI DLE GOODMANOVA KRITÉRIA

Posouzení dle Goodmanova kritéria zajišťuje, že nedojde ke vzniku plastických deformací.



Obr. 5.16.4 Haighův diagram [14]

$$\begin{aligned}k_u &= \frac{1}{\frac{\sigma_a}{\sigma_{co}} + \frac{\sigma_m}{R_m}} \\ k_u &= \frac{1}{\frac{66,6}{96,75} + \frac{83,6}{490}} \\ k_u &= 1,2\end{aligned}\tag{5.57}$$

Bezpečnost proti vzniku plastických deformací.

ZÁVĚR

Cílem mé bakalářské práce bylo navrhnout a zkonstruovat nástěnný otočný jeřáb s vybráním vhodného kladkostroje dle zadaných parametrů a dále vypracovat výkresovou dokumentaci.

Práce obsahuje návrh konstrukce a volbu profilů jednotlivých částí jeřábu. Hlavní konstrukce ramene, která slouží i pro pojezd kladkostroje je navržena z profilu I 220 a materiálu 11523. Výpočet jeřábu je proveden dle ČSN 27 0103.

Ve výpočtu jsem dle výsledných vnitřních účinku určil nebezpečné místo, které bylo následně zkontrolováno na mezní stav pružnosti a únavy podle Goodmanova kritéria. Dále byla provedena kontrola vybraných svarů a také upínací konzoly. Do výpočtu je dále zahrnuta kontrola čepu na stěh a kontrola vybraných ložisek.

V příloze je vypracována výkresová dokumentace nástěnného jeřábu.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] SHINGLEY, J. E., MISCHKE, CH. R., BUDYNAS, R. G.: Konstruování strojních součástí. Brno. Nakladatelství VUTIUM, 2010. 1159 s. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [2] SVOBODA, P., BRANDEJS, J., DVOŘÁČEK, J., PROKEŠ, F.: Základy konstruování, Druhé vydání. Brno. Akademické nakladatelství CERM, 2008. 234 s. ISBN 978-80-7204-584-6.
- [3] LEINVEBER, J., VÁVRA, P.: Strojnické tabulky. 2. vyd. Úvaly, ALBRA, 2005. 907 s. ISBN 80-7361-011-6.
- [4] SVOBODA, P., BRANDEJS, J., PROKEŠ, F.: Výběr z norem pro konstrukční cvičení. Druhé vydání. Brno, Akademické nakladatelství CERM, 2007. 223 s. ISBN 978-80-7204-534-1
- [5] ČSN 27 0103. Navrhování ocelových konstrukcí jeřábů: výpočet podle mezních stavů, Praha. Vydavatelství norem, 1990. 68 s.
- [6] ČSN EN 1993-1-8 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí -Část 1-8: Navrhování styčníků:2006
- [7] Katalog ITECO: Otočné jeřáby [online], [25. 04. 2012], Dostupné z: <http://www.iteco.cz/files/ckeditor/Soubory/jeraby-otocne.pdf>
- [8] Katalog ITECO: Elektrické řetězové kladkostroje [online], [25. 04. 2012], Dostupné z: <http://www.iteco.cz/files/ckeditor/Soubory/kladkostroje-retezove.pdf>
- [9] Katalog KRANTECHNIK: Řetěz. kladkostroje STAHL ST - katalog [online], [25. 04. 2012], Dostupné z: http://www.krantechnik.cz/download.php?group=stranky3_soubory&id=83
- [10] Katalog LIFTKET: Elektrické řetězové kladkostroje [online], [25. 04. 2012], Dostupné z: <http://www.kladkostroje.cz/produkty/katalog/>
- [11] Katalog SKF: Soudečková ložiska [online], [01. 05. 2012], Dostupné z: <http://www.skf.com/skf/productcatalogue/Forwarder?action=PPP&lang=cs&imperial=false&windowName=null&perfid=155000&prodid=1550002310>
- [12] Katalog SKF: Ekvivalentní zatížení ložiska a základní trvanlivost [online], [01. 05. 2012], Dostupné z: <http://www.skf.com/skf/productcatalogue/calculationsFilter?lang=cs&newlink=&prodid=&action=Calc3>
- [13] Katalog SKF: Válečková ložiska [online], [01. 05. 2012], Dostupné z: <http://www.skf.com/skf/productcatalogue/Forwarder?action=PPP&lang=cs&imperial=false&windowName=null&perfid=140041&prodid=1400412310>
- [14] Ústav konstruování. Konstruování strojů a strojních součástí: Přednáška 3 [online], [01. 05. 2012], Dostupné z: <http://old.uk.fme.vutbr.cz/kestazeni/5CK/prednasky/prednaska3.pdf>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

A_s	[mm ²]	výpočtový průřez šroubu
a_{w1}	[mm]	účinná výška svaru 1
a_{w2}	[mm]	účinná výška svaru 2
b_1	[mm]	šířka profilu výložníku
C	[N]	dynamická únosnost ložiska
C_0	[N]	statická únosnost ložiska
d	[mm]	průměr čepu za osazením
D	[mm]	průměr osazení čepu
d_2	[mm]	průměr otvoru pro šroub na konzole
F_{Ax}	[N]	síla v bodě A působící v ose x
F_{Ay}	[N]	síla v bodě A působící v ose y
F_b	[N]	zatížení způsobené jmenovitým břemenem
F_{Bx}	[N]	síla v bodě B působící v ose x
F_g	[N]	zatížení způsobené vlastní hmotností
$F_{\dot{s}s}$	[N]	smyková síla působící na jeden šroub
F_{st}	[N]	tlaková síla působící na jeden šroub
g	[m/s ²]	tíhové zrychlení
h_1	[mm]	výška profilu výložníku
i	[-]	počet stupňů volnosti soustavy v rovině
I_i	[mm ⁴]	kvadratický moment setrvačnosti dílčí části
i_v	[-]	počet stupňů volnosti tělesa v rovině
I_y	[mm ⁴]	kvadratický moment setrvačnosti konzoly
k_a	[-]	součinitel vlivu jakosti povrchu
k_b	[-]	součinitel vlivu velikosti tělesa
k_c	[-]	součinitel vlivu způsobu zatěžování
k_d	[-]	součinitel vlivu teploty
k_e	[-]	součinitel spolehlivosti
k_f	[-]	součinitel zahrnující další vlivy
k_k	[-]	součinitel bezpečnosti vzhledem v MSP vyložníku
k_u	[-]	součinitel bezpečnosti dle Goodmanova kritéria
l_1	[mm]	délka vyložení jeřábu
L_{10}	[ot]	základní trvanlivost ložiska

l_{10}	[mm]	vzdálenost těžiště části konzoly od těžiště celé konzoly
l_{11}	[mm]	vzdálenost těžiště části konzoly od těžiště celé konzoly
l_2	[mm]	vzdálenost vazeb A a B
l_3	[mm]	přesazení výložníku
l_4	[mm]	vzdálenost působení síly F_g od osy otáčení výložníku
l_5	[mm]	vzdálenost kontrolovaného místa na konzole od osy otáčení
l_6	[mm]	šířka konzoly v místě řezu
l_7	[mm]	výška konzoly v místě řezu
l_9	[mm]	tloušťka konzoly v místě řezu
L_{W1}	[mm]	délka svaru 1
L_{W2}	[mm]	délka svaru 2
m	[kg]	nosnost jeřábu
M_{01}, M_{02}	[Nm]	ohybový moment působící v místě řezu
M_{0max}	[Nm]	maximální ohybový moment
M_{0min}	[Nm]	minimální ohybový moment
M_{A0}	[Nm]	ohybový moment v nultém stavu
M_{A1}	[Nm]	ohybový moment v jednotkovém stavu
m_g	[kg]	hmotnost výložníku
m_{gv1}	[kg]	hmotnost 1m výložníku
m_k	[kg]	hmotnost kladkostroje
M_o	[Nm]	ohybový moment na rameni
N_1, N_2	[N]	normálová síla působící v místě řezu
NP	[-]	počet neznámých parametrů
P_o	[N]	ekvivalentní statické zatížení ložiska
P_r	[N]	ekvivalentní dynamické zatížení ložiska
R	[mm]	poloměr zaoblení profilu I
r	[mm]	poloměr zaoblení u osazení čepu
R_e	[MPa]	mez kluzu výložníku
$R_{eč}$	[MPa]	mez kluzu čepu
R_{ek}	[MPa]	mez kluzu konzoly
R_{eL}	[MPa]	mez kluzu šroubu
R_{ez}	[MPa]	mez kluzu šikmého závěsu
R_m	[MPa]	mez pevnosti výložníku

$R_{m\check{c}}$	[MPa]	mez pevnosti čepu
R_{mk}	[MPa]	mez pevnosti konzoly
R_{mz}	[MPa]	mez pevnosti šikmého závěsu
R_{se}	[MPa]	mez kluzu ve smyku
$S_{\check{c}}$	[mm ²]	průřez čepu
S_i	[mm ²]	plocha dílčí části
S_k	[mm ²]	průřez konzoly v místě řezu
S_o	[-]	statická bezpečnost ložiska
S_{pz}	[mm ²]	průřezová plocha šikmého závěsu
t_1	[mm]	tloušťka těla profilu I
T_1, T_2	[N]	posouvající síla působící v místě řezu
t_2	[mm]	tloušťka základny profilu I
W_{01}	[cm ³]	průřezový modul v ohybu ramene
W_o	[cm ³]	návrhový průřezový modul v ohybu výložníku
W_{yd}	[mm ³]	modul průřezu pro dolní vlákno
W_{yh}	[mm ³]	modul průřezu pro horní vlákno
x_1	[mm]	vzdálenost řezu 1
X_1	[N]	osová síla v šikmém závěsu
x_2	[mm]	vzdálenost řezu 2
x_i	[mm]	vzdálenost těžiště dílčí části od těžiště celého průřezu
Y_0	[-]	výpočtový součinitel ložiska
Y_1	[-]	výpočtový součinitel ložiska
Y_2	[-]	výpočtový součinitel ložiska
y_h	[mm]	vzdálenost těžiště konzoly od horních vláken
α	[-]	součinitel tvaru čepu
α_1	[-]	součinitel tvaru v tlaku na konzole
α_2	[-]	součinitel tvaru v ohybu na konzole
β	[-]	součinitel vrubu čepu
β_1	[-]	součinitel vrubu v tlaku na konzole
β_2	[-]	součinitel vrubu v ohybu na konzole
γ_g	[-]	součinitel zatížení
γ_{lo}	[-]	součinitel zatížení od jmenovitého břemena
$\delta_{1,0}$	[-]	deformační součinitel stanovený výpočtem z nultého stavu

$\delta_{1,1}$	[-]	deformační součinitel stanovený výpočtem z jednotkového stavu
δ_h	[-]	dynamický součinitel zdvihový
δ_t	[-]	dynamický součinitel pojezdový
ζ_A	[-]	počet odebraných složek mechanického pohybu vazbou A
ζ_B	[-]	počet odebraných složek mechanického pohybu vazbou B
η	[-]	počet omezených deformačních parametrů
μ	[-]	počet neznámých nezávislých parametrů
μ_F	[-]	počet silových neznámých nezávislých parametrů
μ_M	[-]	počet momentových neznámých nezávislých parametrů
μ_r	[-]	počet polohových neznámých nezávislých parametrů
ν	[-]	počet použitelných podmínek statické rovnováhy
ν_F	[-]	počet silových podmínek statické rovnováhy
ν_M	[-]	počet momentových podmínek statické rovnováhy
σ'_{co}	[MPa]	mez únavy reálné součásti
σ_{01}	[MPa]	zatížení svaru tahem
σ_a	[MPa]	amplituda napětí
σ_{ck}	[MPa]	celkové napětí na konzole
σ_{co}	[MPa]	meze únavy vzorku
ΣF_x	[N]	součet sil působících v ose x
ΣF_y	[N]	součet sil působících v ose y
σ_m	[MPa]	střední hodnota napětí
σ_{max}	[MPa]	maximální napětí na rameni
σ_{min}	[MPa]	minimální napětí na rameni
ΣM_{oA}	[Nm]	součet momentů působících v bodě A
σ_o	[MPa]	skutečné napětí ve výložníku
σ_{ok}	[MPa]	ohybové napětí na konzole
σ_s	[MPa]	napětí ve střihu na čepu
$\sigma_{sš}$	[MPa]	smykové napětí na jeden šroub
σ_{tk}	[MPa]	tlakové napětí na konzole
$\sigma_{tš}$	[MPa]	tlakové napětí na jeden šroub
τ_{01}	[MPa]	zatížení svaru smykem
Ω_1	[-]	označení řezu 1
Ω_2	[-]	označení řezu 2

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1.1</i>	<i>Nástěnný otočný jeřáb LW</i>	12
<i>Obr. 1.2</i>	<i>Nástěnný otočný jeřáb LWX</i>	13
<i>Obr. 1.3</i>	<i>Nástěnný otočný jeřáb VW</i>	13
<i>Obr. 2.1</i>	<i>Schéma nástěnného jeřábu</i>	14
<i>Obr. 3.1</i>	<i>Upevnění pomocí nástěnných konzol</i>	15
<i>Obr. 3.2</i>	<i>Upevnění na železobetonových podpěrách</i>	15
<i>Obr. 3.3</i>	<i>Upevnění pomocí přivařovacích desek</i>	16
<i>Obr. 3.5</i>	<i>Upevnění pomocí nástěnných konzol a průchozích kotev</i>	17
<i>Obr. 4</i>	<i>Kladkostroj LIFTKET STAR</i>	17
<i>Obr. 5.3</i>	<i>Kinematické schéma jeřábu</i>	19
<i>Obr. 5.3.3</i>	<i>Uvolnění jeřábu</i>	19
<i>Obr. 5.6</i>	<i>Schéma rozdělení na intervaly</i>	21
<i>Obr. 5.6.1</i>	<i>Schéma řezu Ω_1</i>	21
<i>Obr. 5.6.1.1</i>	<i>Schéma řezu Ω_2</i>	22
<i>Obr. 5.6.2</i>	<i>Grafické znázornění VVÚ</i>	22
<i>Obr. 5.7.1</i>	<i>Profil I 220</i>	23
<i>Obr. 5.8</i>	<i>Základní schéma pro výpočet silovou metodou</i>	24
<i>Obr. 5.8.1</i>	<i>Základní schéma nultého stavu</i>	25
<i>Obr. 5.8.2</i>	<i>Základní schéma jednotkového stavu</i>	25
<i>Obr. 5.10</i>	<i>Zobrazení a umístění ložiska v bodě A</i>	27
<i>Obr. 5.10.1</i>	<i>Soudečkové ložisko SKF 22310E</i>	27
<i>Obr. 5.11</i>	<i>Zobrazení a umístění ložiska v bodě B</i>	29
<i>Obr. 5.11.1</i>	<i>Válečkové ložisko SKF NJ 2310 ECP</i>	29
<i>Obr. 5.12</i>	<i>Schéma čepu</i>	30
<i>Obr. 5.13</i>	<i>Místo kontroly na konzole</i>	32
<i>Obr. 5.13.1</i>	<i>Schéma konzoly v nebezpečném místě</i>	32
<i>Obr. 5.15.1</i>	<i>Svar šikmého závěsu k ramenu</i>	37
<i>Obr. 5.15.2</i>	<i>Svar šikmého závěsu ke svislici</i>	38
<i>Obr. 5.16.4</i>	<i>Haighův diagram</i>	41

SEZNAM PŘÍLOH

VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE

NÁSTĚNNÝ JEŘÁB	A1-3P/23-00
VÝLOŽNÍK	A1-3P/23-01
KRYT SVISLICE	A4-3P/23-02
VZPĚRA 1	A4-3P/23-03
VZPĚRA 2	A4-3P/23-04
KOTSTKA	A4-3P/23-05
ČEP	A4-3P/23-06
VZPĚRA 3	A4-3P/23-07
KONZOLA	A3-3P/23-08
LOŽISKOVÝ DOMEK	A4-3P/23-09
TĚSNÍCÍ VÍČKO	A4-3P/23-10
VÍČKO VÝLOŽNÍKU	A4-3P/23-11
PLECH 1	A4-3P/23-12
PLECH 2	A4-3P/23-13
PLECH 3	A4-3P/23-14
KUSOVNÍK	K-A4-3P/23-99
	K-A4-3P/23-98