



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILOVÉHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

SLOUPOVÝ JEŘÁB PRO MANIPULACI S LODĚMI

MAST CRANE FOR SHIPS HANDLING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JAROSLAV JANDÁČEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PŘEMYSL POKORNÝ, Ph.D.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Jaroslav Jandáček

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:

Sloupový jeřáb pro manipulaci s loděmi

v anglickém jazyce:

Mast crane for ships handling

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Navrhněte otočný sloupový jeřáb pro manipulaci s loděmi. Jeřáb bude umístěn na betonovém molu. Základní technické parametry:

nosnost 1000 kg

zdvih z hladiny 6 m

Cíle bakalářské práce:

Technická zpráva obsahující:

- kritická rešerše existujících řešení,
- koncepce navrženého řešení,
- funkční výpočet zařízení, návrh jednotlivých komponent,
- výpočet nosné konstrukce jeřábu,
- pevnostní výpočet a další výpočty dle vedoucího BP

Výkresová dokumentace obsahující:

- celková sestava zařízení,
- podsestavy a výrobní výkresy dle pokynů vedoucího BP

Seznam odborné literatury:

1. BIGOŠ, P., KULKA, J., KOPAS, M., MANTIČ, M.: Teória a stavba zdvíhacích a dopravných zariadení. TU v Košiciach, Strojnícká Fakulta 2012, 356 s., ISBN 978-80-553-1187-6
2. GAJDŮŠEK, J.; ŠKOPÁN, M.: Teorie dopravních a manipulačních zařízení, skripta VUT Brno, 1988
3. REMTA, F., KUPKA, L., DRAŽAN, F.: Jeřáby, 2., přeprac. a doplň. vyd., SNTL Praha, 1975
4. Související ČSN a firemní literatura

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

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

V Brně, dne 11.11.2013

L.S.

prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.
Ředitel ústavu

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



ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá konstrukčním návrhem sloupového jeřábu pro manipulaci s loděmi. Jeřáb s nosností 1 000 kg je umístěn na betonovém molu, disponuje kladkostrojem a otáčecím ústrojím, zdvih z hladiny je 6000mm. Jedná se o návrhový výpočet jednotlivých částí jeřábu a kontrolní pevnostní výpočty. Cílem tohoto projektu je koncepce navrženého řešení a funkční výpočet celého zařízení. Nedílnou součástí práce je výkresová dokumentace.

KLÍČOVÁ SLOVA

Sloupový jeřáb, sloup, výložník, zdvihací ústrojí, otočné ústrojí, pevnostní výpočet, manipulace s loděmi.

ABSTRACT

This bachelor's thesis is aimed on construction design of jib crane for ships handling. Crane with capacity of load 1 000 kg is placed on concrete pier in shipyard, it has electrical hoist and swivel mechanism, lift height from water level is 6 000 mm. This is a design calculation of each part of the crane and control strength calculations. The aim of this project is the concept designed solutions and functional calculation of the whole device. An integral part of the thesis is drawing documentation.

KEYWORDS

Jib crane, collum, boom, hoist, swivel boom, strength calculation, ships handling.



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

JANDÁČEK, J. *Sloupový jeřáb pro manipulaci s loděmi*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 63 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. Přemysl Pokorný, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 30. května 2014

.....

Jaroslav Jandáček



PODĚKOVÁNÍ

Rád bych zde poděkoval svému vedoucímu panu Ing. Přemyslu Pokornému Ph.D. za jeho ochotu, trpělivost, čas a věcné rady, při zpracovávání dané problematiky.



OBSAH

Úvod	10
1 Vymezení cílů zadání	11
2 Rešerše existujících řešení	12
2.1 Základní rozdělení	12
2.2 Jeřáby s otočným sloupem	12
2.3 Jeřáby s neotočným sloupem	13
2.4 Zhodnocení a výběr vhodného řešení	15
3 Rozbor jednotlivých částí jeřábu	16
3.1 Sloup	16
3.2 Výložník	17
3.3 Podpěra	17
3.4 Kladkostroj	17
3.5 Pojezdové ústrojí	17
3.6 Otočné ústrojí	18
3.7 Ukotvení	18
3.8 Nezbytné příslušenství	18
3.9 Ovládání	19
3.10 Doporučené příslušenství	19
4 Výpočet zařízení	20
4.1 Výběr parametrů klasifikace	20
4.2 Výběr zatížení a kombinací zatížení	21
4.2.1 Pravidelná zatížení	21
4.2.2 Občasná zatížení	21
4.2.3 Výjimečná zatížení	21
4.3 Určení dynamických součinitelů	21
4.4 Výpočet účinků zatížení	23
4.4.1 Hmotnosti jeřábu	23
4.4.2 Hmotnosti břemena zdvihu	23
4.4.3 Zatížení způsobená zrychlením pohonů	23
4.4.4 Zatížení větrem za provozu	24
4.4.5 Zdvihání volně ležícího břemena	24
4.4.6 Zatížení způsobená větrem mimo provoz jeřábu	24
4.4.7 Zatížení při zkouškách	25
4.4.8 Nárazové zatížení	25
4.4.9 Nouzové zastavení	25



4.5	Výpočet kombinací zatížení.....	25
4.5.1	Vyhodnocení kombinací zatížení	25
4.6	Výpočet stability tuhého tělesa	26
4.6.1	Vyhodnocení stability.....	26
5	Kontrola ocelové konstrukce	27
5.1	Navrhované profily konstrukce	27
5.2	Statický rozbor	29
5.3	Úplné uvolnění.....	30
5.4	Sestavení podmínek statické rovnováhy.....	30
5.5	Výsledné vnitřní účinky.....	31
5.6	Vyhodnocení VVÚ	35
5.7	Prokázání vzpěrné stability pružnosti	36
5.8	Přetvoření konstrukce	37
5.9	Kontrola normálové únavové pevnosti nosných prvků	39
5.10	Kontrola výložníku při vychýlení lana.....	39
6	Kontrola ostatních částí jeřábu	41
6.1	Kontrola svarů.....	41
6.2	Návrh a kontrola kotevních šroubů.....	43
6.3	Návrh a kontrola ložiska výložníku	44
6.4	Návrh a kontrola ložisek podpěry	45
6.5	Kontrola rozběhu otočného mechanismu.....	46
6.5.1	Dynamické účinky	46
6.5.2	Statické účinky	47
	Závěr.....	49
	Seznam použitých zkratk a symbolů	52
	Seznam obrázků.....	58
	Seznam tabulek.....	59
	Seznam příloh.....	60



ÚVOD

Přístavy jsou v dnešní době nejexponovanějšími místy na světě. Ty největší, mezi které se řadí např. Shanghai, Rotterdam ročně odbaví stovky milionů tun nákladu. Aby mohli takové kapacity dosáhnout, musí být vybaveny řadou manipulačních zařízení, kolejových tratí a perfektní logistikou. Doby, kdy dělníci nosili těžká břemena přes ohnutá záda a nakládali lodě někdy celé týdny, pominuly. V současnosti se veškerý spotřební materiál přepravuje tzv. kontejnerovou dopravou. Zavedení unifikace kontejnerů a začlenění do manipulačního procesu znamenali průlom v moderní době. Čas vykládání a zpětného naložení se značně snížil. Větší přístavy jsou rozděleny na doky dle materiálů, které jsou schopny odbavovat. Jako příklad je možné uvést přepravu ropy, dobytka, sypkých materiálů či volně ložený náklad. Podle tohoto členění se mění i charakter manipulačních strojů, které mají svou určenou posloupnost.

Jak už bylo zmíněno, tak zařízení je v tomto oboru velmi pestrá a různorodá škála a všechny tvoří důležité články v logistickém řetězci. Jedním takovým článkem jsou jeřáby, které představují jakousi spojku mezi hladinou a pevnou zemí. Mezi nejpoužívanější lze začlenit jeřáby portálové, mostové, mobilní a sloupové.

V této bakalářské práci se zabývám funkčním návrhem otočného sloupového jeřábu pro manipulaci s loděmi, který bude umístěn u říčního toku v menším přístavu.



1 VYMEZENÍ CÍLŮ ZADÁNÍ

Cílem této bakalářské práce je vytvořit koncept sloupového jeřábu pro manipulaci s loděmi. Obsahem tohoto konceptu je rešerše existujících možností v dané problematice s ohledem na název práce. Jeho výstupem je návrh vhodného řešení, které pokračuje funkčním výpočtem celého zařízení, výpočtem nosné konstrukce a návrhu jednotlivých komponent. Navržené zařízení musí vyhovovat normám k tomu náležícím. Další výpočty se řídí pokyny vedoucího práce. Nedílnou součástí je výkresová dokumentace, která je zpracována softwarem Inventor Professional 2013, dílčí grafické náhledy softwarem AutoCad 2013.

1. Kritická rešerše existujících řešení
2. Koncepce navrženého řešení
3. Návrh jednotlivých komponent
4. Pevnostní výpočet a funkční výpočet celého zařízení.
5. Výkresová dokumentace

Zhodnocení cílů je sepsáno v závěru této práce.



2 REŠERŠE EXISTUJÍCÍCH ŘEŠENÍ

Sloupové jeřáby se skládají ze dvou hlavních částí - sloupu a výložníku. Výložník se otáčí okolo svislé osy sloupu a často ho lze i sklápět, takže jeho vztyčováním a sklápěním při otáčení dosáhne úplné plochy kruhu. Poloměr tohoto rozsahu se pak rovná maximálnímu vyložení. Výložník je tedy buď stavitelný nebo nemění svůj sklon vzhledem k ose sloupu a je na něj ve většině případů kolmý. Při tomto uspořádání ho tvoří plnostěnný profil po kterém se pohybuje kočka pro změnu vyložení. Při šikmém výložníku má jeřáb neměnné vyložení.

2.1 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ

Jeřáby se dají řadit podle více parametrů, v katalogu je lze nejčastěji hledat podle nosnosti, zdvihu a délky vyložení. Při zaměření na sloupové jeřáby se tyto zařízení dají dělit na dvě hlavní podkategorie.

První lze kategorizovat dle možnosti přemístování:

- pojízdné
- stacionární

Druhou podkategorií dle konstrukčního provedení:

- s otočným sloupem
- s nehybným sloupem

Tato práce se zabývá pouze druhou skupinou, jelikož jeřáb bude stacionární.

2.2 JEŘÁBY S OTOČNÝM SLOUPEM

Otáčení je realizováno pohonem nebo ručně. Sloup je uložen pomocí dvou hlavních ložisek. Horní ložisko přenáší radiální síly a dolní i síly axiální. Do této kategorie se řadí derikové nebo nástěnné jeřáby. V případě nástěnných se využívá spíše plnostěnné konstrukce.

- **Jeřáby nástěnné**

Jsou konstrukčně nejjednoduššími manipulačními zařízeními. Horní ložisko je pevně připevněno ke stěně výrobní haly nebo její podpěrné konstrukce, dolní ložisko je umístěno v úrovni podlahy. Nosnost se pohybuje od 1 t do 3 t se zřetelem na únosnost stěny, na kterou je připojen. Výložník je možné otáčet v rozsahu 180°, při umístění na rozích až 270°.



Obr. 1 Nástěnný jeřáb [18]



- **Derikové jeřáby**

Mají horní část kotvenou vzpěrami či lany. V tomto konstrukčním uspořádání je výložník spojen pevně či kloubově k patě otočného sloupu. Nosnost deriků se pohybuje od 3 t do 25 t a jejich vyložení může dosáhnout až 30 m. Sloup a výložník bývá podle potřeb nahrazen příhradovou konstrukcí. Pata sloupu bývá uložena kulovým litinovým čepem a někdy v kombinaci s axiálním kuličkovým ložiskem. Využívají se jako překládací jeřáby v železniční i silniční dopravě nebo jako montážní zařízení.



Obr. 2 Derikový jeřáb [17]

2.3 JEŘÁBY S NEOTOČNÝM SLOUPEM

U těchto jeřábů je sloup pevně spojen se zemí a to kotevními šrouby do betonového základu. Otočnou část je možné vidět ve dvou provedeních - výložníkem šikmým (sklápěcím) a vodorovným.

- **Jeřáb se sklápěcím výložníkem**

Existují rozpory v zařazení tohoto jeřábu, neboť horní část sloupu je otočná. U tohoto typu je výložník otočně uložen k plnostěnnému profilu sloupu, ovšem není to zcela pravidlem. V jednodušších aplikacích, kde jeřáb je využíván jako překládací manipulační prostředek může být výložník spojen pevně s otočnou částí sloupu.



Obr. 3 Jeřáb se sklápěcím výložníkem [20]



- **Sloupový jeřáb s vodorovným výložníkem**

Výložník v tomto případě je spojen s hlavou sloupu pomocí čepu v ložisku, okolo kterého se otáčí. Pro optimálnější přenos napětí, způsobeného zatížením od břemene je k výložníku přivařena podpěra. Sloup je vybaven opěrným kroužkem, po kterém se pohybuje spodní část podpěry opatřená ložisky. Tyto ložiska se tedy po nákrůžku odvalují.



Obr. 4 Sloupový jeřáb s vodorovným výložníkem [19]

- **Sloupový jeřáb se šikmým výložníkem**

Sloup se vyrábí z dutého nebo plného profilu, který je kotven k základové desce. Příčnick je uložen ložisky v horní části (radiální, axiální). Ve spodní části je možné použít valivého či kluzného ložiska. U jeřábů s vyšší nosností se využívá protizávaží. Vyložení tohoto zařízení je neměnné.



Obr. 5 Sloupový jeřáb se šikmým výložníkem [20]



2.4 ZHODNOCENÍ A VÝBĚR VHODNÉHO ŘEŠENÍ

Při výběru vhodného zařízení vycházím ze zadaných podmínek pro tuto práci. Jeřáb bude pracovat v přístavním prostředí nebo u říčního toku a bude umístěn na betonové molo. S přihlédnutím na nosnost 1000 kg a zdvih 6 m od hladiny vycházím z předpokladu, že jeřáb bude manipulovat s loděmi v případě přípravy na zimu či opravy částí pod čarou ponoru. Z toho nepřímo plyne požadavek na prostor kolem otočného jeřábu pro umístění lodě na stojan či dopravní zařízení na převoz.

Jako nevhodné řešení vidím ve volbě derikového jeřábu. Kotevní potřeby by přeürčily výhody této možnosti volby. Podobný případ platí i pro nástěnný jeřáb.

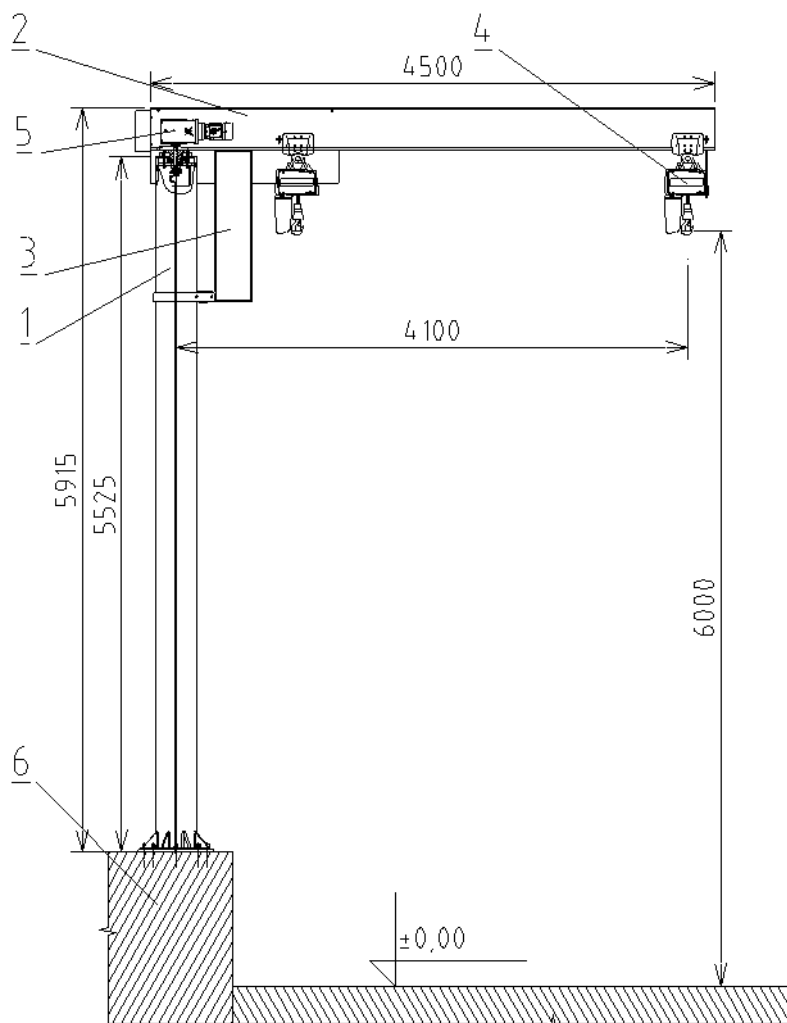
Pro výběr je tedy nutné použít jeden z jeřábů s neotočným sloupem. Všechny vyhovují potřebným předpokladům. Jeřábu se sklápěcím příčnickem je v přístavech využíváno při větších hmotnostech břemen, protože naklopením výložníku může přenést podstatnou část zatížení do stojné části. Jsou také využívány na obchodních lodích typu bulk carrier¹, kdy sklopením do vodorovné polohy příčníků umožní vzájemné provázání jeřábů mezi sebou, pro zajištění bezpečnosti na volném moři. Jako konstrukčně nejjednodušší se projevuje jeřáb s vodorovným výložníkem (Obr. 4) a šikmým výložníkem (Obr. 5). Jako vhodnější se jeví jeřáb se schopností měnit své vyložení, ať už pohybem kočky či sklápěním pro potřeby lepší manipulace s břemenem. Proto byl vybrán sloupový jeřáb s vodorovným výložníkem, se kterým bude dále uvažováno.

¹ obchodní loď převážející volně ložený náklad



3 ROZBOR JEDNOTLIVÝCH ČÁSTÍ JEŘÁBU

Jeřáb se bude nacházet ve volném prostoru, neuvažují tedy žádné překážky při otáčení. Pro dosažení maximálního manipulačního rozsahu jsem zvolil propřístavní prostředí rozsah otáčení 360°. Pohyb ramene zprostředkovává otočné ústrojí (motor se šnekovou převodovkou) namontované na krajní části výložníku u osy rotace. El. energie pro otočné ústrojí a kladkostroj je přiváděna pomocí kroužkového sběrače.



Obr. 6 Rozbor konstrukce jeřábu

Maximální zdvih hladiny způsobený například regulací vodního toku je roven minimálnímu zdvihu jeřábu.

3.1 SLOUP

Sloup (Obr. 6, poz. 1) je vyroben z hladké bezešvé trubky. V patní části je přivařena ocelová patka z plechu opatřená žebrováním. Přibližně ve $\frac{3}{4}$ sloupu je umístěn opěrný kroužek. V horní části sloupu je přivařen plech pro přišroubování ozubeného věnce sloužící k přenosu točivého momentu z otáčecího ústrojí. Tento ocelový plech slouží i jako ložiskové pouzdro. Tyto části byly vybrány z katalogu firmy Feron a.s.

3.2 VÝLOŽNÍK

Výložník (Obr. 6, poz. 2) je vyroben z IPE profilu, slouží zároveň jako pojezdová dráha pro zdvihací zařízení. K profilu je přivařen čep určený pro rotaci ramene a podpěra svařená ze soustavy plechů. Na rameni u osy rotace je přišroubováno otáčecí ústrojí (motor se šnekovou převodovkou). Profil byl vybrán z katalogu Feron a.s.

3.3 PODPĚRA

Podpěra (Obr. 6, poz. 3) je svařenec soustavy plechů (skříňový nosník).

3.4 KLDKOSTROJ

Ze zadaných hodnot a z nutných předpokladů byl vybrán elektrický řetězový kladkostroj (Obr. 6, poz. 4) s elektrickým pojezdem značky ABUS z katalogu firmy ITECO s.r.o. nesoucí označení ABUCompact GM4 1000.5-2/EF14. Tento kladkostroj má dvourychlostní zdvih a nosnost 1000 kg. Dráha háku bude navýšena za příplatek od výrobce na 8000 mm.



Obr. 7 Kladkostroj ABUS [12]

Vysvětlivky k typovému označení zdvihového mechanismu dle [12]:

- GM..... konstrukční řada
- 4..... velikost modelu
- 1000... nosnost kg
- 5..... rychlost hlavního zdvihu
- 2..... zátěžové prameny

3.5 POJEZDOVÉ ÚSTROJÍ

Součástí kladkostroje je pojezdové ústrojí. Pojezdové ústrojí je dvourychlostní s elektromechanickou kotoučovou brzdou. Pojezdové ústrojí má nastavitelnou část valivých elementů pro potřebnou šířku příruby IPE profilu. Společně s kladkostrojem tvoří sestavu s třídou krytí IP 55.



Vysvětlivky k typovému označení pojezdu dle [12]:

EF.....druh konstrukce (elektrický pojezd)

14.....konstrukční velikost



Obr. 8 Pojezdové ústrojí [12]

3.6 OTOČNÉ ÚSTROJÍ

Při volbě otočného ústrojí (Obr. 6, poz. 5) je nutné brát v úvahu normu [5, str. 27]. Norma rozlišuje tlak větru, při kterém jeřáb ještě může pracovat. Dále tlak větru, při kterém jeřáb nepracuje a je nutné ho zajistit proti samovolnému pohybu. Z těchto důvodů volím šnekovou převodovku s čelní předstupněm firmy NORD s označením SK33100-71L/4. Výstupní hřídel pohonu je osazen pastorkem, který spoluzabírá s ozubeným věncem umístěným na sloupu. Má dynamickou účinnost 47%, takže zároveň slouží i jako zajištění výložníku proti samovolnému otočení.



Obr. 9 Pohon otočného ústrojí [11]

3.7 UKOTVENÍ

Podkladní plocha odpovídá betonovému molu (Obr. 6, poz. 6) v přístavu. V některých případech betonový základ není nutný při použití ocelové roznášecí desky přivařené k patě sloupu, kotvená k betonové podlaze. Tato metoda je praktická díky rychlé montáži, nevýhodou je omezení operátora jeřábu při práci v kotevním prostoru. Jeřáb v této práci bude ukotven na patce s dírami, která bude přivařena ke sloupu. Zároveň bude spodní část opatřena žebrováním.

3.8 NEZBYTNÉ PŘÍSLUŠENSTVÍ

Kroužkový sběrač, gumové koncové dorazy, shrnovací kabelové vedení, křížový spínač, svorková skříň a další elektrické příslušenství.



3.9 OVLÁDÁNÍ

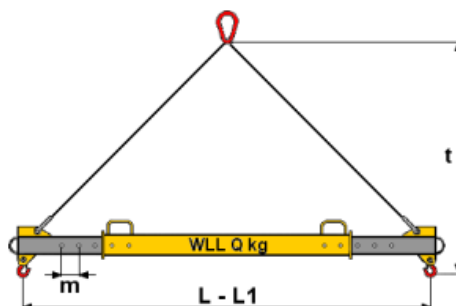
Rádiové ovládání Mini-RC firmy ABUS umožňuje dvoustupňové ovládání zdvihu. Celé zařízení se skládá z lehkého ručního vysílače s bateriemi. V rozšířené funkci je ovladač schopný ovládat elektrický pojezd kočky. [12]



Obr. 10 Mini-RC ovládání [12]

3.10 DOPORUČENÉ PŘÍSLUŠENSTVÍ

Pro manipulaci s loděmi, tedy s břemenem, jehož poměr délky a šířky je znatelný je doporučeno jako doplňkové vybavení jeřábová traverza. Traverza umožní snadnější a bezpečnější manipulaci. Tato traverza umožňuje stavitelnost břemena.



Obr. 11 Stavitelná jeřábová traverza [21]

Pro potřeby operátora jsou dalšími prvky vybavení třmeny jeřábové popruhy a hák, který bývá součástí kladkostroje.



4 VÝPOČET ZAŘÍZENÍ

Výpočet je řízen dle příslušných platných norem, kde je stanoven výběr parametrů klasifikace a následně výběr kombinací zatížení. Na základě těchto vstupních informací se dospěje k maximálním hodnotám silových účinků zvolené kombinace zatížení, podle kterých bude výpočet pokračovat kontrolou zvolených konstrukčních prvků. Dále bude prokázána stabilita tuhého tělesa.

4.1 VÝBĚR PARAMETRŮ KLASIFIKACE

Provozní parametry jsou vybrány podle [7] a použity jako základ návrhu [1].

Pro jeřáb sloupový s otočným výložníkem.

- **Celkový počet pracovních cyklů**

Počet pracovních cyklů je součet pracovních cyklů všech různých pracovních úloh, které jeřáb vykonává během celé návrhové životnosti. [5, str. 39]

Přístavní jeřáby - třída U_5 [5, tab. A.2]

$$C = 5 \cdot 10^5$$

- **Součinitel spektra zatížení**

Součinitel spektra zatížení je parametr pro určení různých užitečných břemen, se kterými se manipuluje během pracovních cyklů. [5, str. 40]

Přístavní jeřáby - třída Q_2 [5, tab. A.4]

$$kQ = 0,125$$

- **Klasifikace mechanismu zdvihu**

Vyjadřuje rozsah, ve kterém se provádí průměrný pohyb mechanismu zdvihu v pracovním cyklu. [5, str. 41]

Třída zdvihání D_{lin5} [5, tab. A.5]

$$X_{lin} = 20m$$

- **Klasifikace mechanismu otáčení**

Vyjadřuje rozsah, ve kterém se mechanismus otáčení průměrně pohybuje v pracovním cyklu a je vyjádřen průměrným úhlovým přemístěním. [5, str. 43]

Třída otáčení D_{ang4} [5, tab. A.8]

$$X_{ang} = 180^\circ$$



4.2 VÝBĚR ZATÍŽENÍ A KOMBINACÍ ZATÍŽENÍ

Základní kombinace zatížení, která jsou rozdělena do kategorií na pravidelná, občasná a výjimečná se pro výpočet se vybírají dle [7].

4.2.1 PRAVIDELNÁ ZATÍŽENÍ

- Účinky při zdvihání a gravitační účinky působící na hmotnost jeřábu
- Setrvačné a gravitační účinky působící svisle na břemeno zdvihu
- Zatížení způsobená zrychlením všech pohonů jeřábu

4.2.2 OBČASNÁ ZATÍŽENÍ

- Zatížení způsobená větrem za provozu

Ostatní zatížení způsobená např. námrazou, sněhem nebo změnami teploty jsou zanedbatelné a není nutné je brát v úvahu.

4.2.3 VÝJIMEČNÁ ZATÍŽENÍ

- Zatížení způsobená zdvihem ležícího břemena při použití maximální rychlosti zdvihu
- Zatížení způsobená větrem mimo provoz
- Zatížení při zkouškách
- Zatížení způsobená silami na nárazníky
- Zatížení způsobená nouzovým zastavením

4.3 URČENÍ DYNAMICKÝCH SOUČINITELŮ

Pro stanovení hodnoty účinku zatížení (viz. kap. 4.2) je nutné stanovit dílčí dynamické součinitele.

- **Dynamický souč. zdvihání a pro účinky tíhy, které působí na hmotnost jeřábu**

Při zdvihání břemena ze země nebo při uvolnění břemena se musí zohlednit účinky vybuzení kmitání konstrukce jeřábu. Hmotnosti jeřábu nebo jeho části třídy MDC1² se vynásobí součinitelem ϕ_1 . [7, str. 13]

$$\phi_1 = 1 + \delta = 1 + 0,05 = 1,05 \quad (4.1)$$

kde:

δ [-] hodnota $0 \leq \delta \leq 1$ závisí na konstrukci jeřábu a je určena

Třída MDC1

Jeřáby nebo části jeřábů, u kterých zatížení způsobená gravitačním účinkem na hmotnosti různých částí jeřábu nepříznivě zvyšují výsledné účinky zatížení. [7, str. 28]

² Anglicky Mass Distribution Class



- **Dynamický souč. pro účinky setrvačnosti a tíhy při zdvihání ležícího břemena**

Při zdvihání volně ležícího břemena se musí zohlednit účinky kmitání, které se při tom vyvolají. Vynásobením gravitačních sil, působících na hmotnost břemena zdvihu, součinitelem ϕ_2 . [7, str. 13]

$$\phi_2 = \phi_{2min} + \beta_2 \cdot v_h = 1,1 + 0,34 \cdot 0,083 \quad (4.2)$$

$$\phi_2 = 1,13$$

kde:

β_2 [-] výraz používaný pro výpočet ϕ_2 pro příslušnou zdvihovou třídu HC2 [7, str. 14]

ϕ_{2min} [-] výraz používaný pro výpočet ϕ_2 pro příslušnou zdvihovou třídu HC2 [7, str. 14]

v_h [ms^{-1}] rychlost zdvihu pro příslušnou třídu typu pohonu HD1

Zdvihová třída HC2

Určena dle doporučené kategorie zatížení - vykládací jeřáby, otočné se změnou vyložení s vodorovným pohybem břemene, při provozu s hákem [9, str. 41].

Třída typu pohonu HD1

Mikrozdvih není k dispozici nebo je možné zahájit pohon zdvihu bez jeho použití. [7, str. 14]

- **Dynamický souč. pro zatížení způsobená akcelerací pohonu jeřábu**

Zatížení způsobená na jeřábu působením hnacích sil při zrychlení nebo brzdění. [7, str. 18]

$$\phi_5 = 1,3$$

kde:

ϕ_5 [-] hodnota $1 \leq \phi_5 \leq 1,5$ pro pohony bez rázů při zpětném chodu nebo tam, kde zpětné rázy nevyvolávají dyn. síly a kde jsou pozvolné změny sil [7, str. 18]

- **Dynamický souč. zkušební břemena**

Zatížení při zkouškách se použijí pro jeřáb v jeho provozním nezměněném provozním uspořádání. Zkušební zatížení se vynásobí součinitelem ϕ_6 . [7, str. 26]

a) dynamické zkušební zatížení

$$\phi_{6D} = 1,025$$

b) statické zkušební zatížení

$$\phi_{6S} = 1$$

Pro výpočet účinku se použije hodnota statického zkušební zatížení.



- **Dynamický souč. pro zatížení při nárazu na nárazníky**

Pokud jsou používány nárazníky, pak se pro posouzení pružných účinků vynásobí síly, vznikající při kolizi (nárazu), počítané při analýze tuhého tělesa, součinitelem ϕ_7 . [7, str. 26]

$$\phi_7 = 1,6$$

kde:

ϕ_7 [-] hodnota odpovídá použití nárazníků s obdélníkovým průřezem [7, str. 26]

4.4 VÝPOČET ÚČINKŮ ZATÍŽENÍ

Tyto výpočty se uspořádají do skupin zatížení, ze kterých bude vybrána kombinace s největším zátěžovým účinkem. Podle této skupiny se provede také pevnostní kontrola ocelové konstrukce.

4.4.1 HMOTNOSTI JEŘÁBU

Zatížení způsobená buzením částí jeřábu při zdvihání: [7, str. 13]

$$K_1 = (m_p + m_K + m_{IPE}) \cdot g = (74 + 70 + 220) \cdot 9,81 = 3575 \text{ N} \quad (4.3)$$

$$K_1 = 3575 \text{ N}$$

kde:

m_p [kg] hmotnost podpěry
 m_K [kg] hmotnost kladkostroje s pojezdem
 m_{IPE} [kg] hmotnost výložníku

4.4.2 HMOTNOSTI BŘEMENA ZDVIHU

Uvažuje se břemeno zdvihu, hmotnost prostředků pro uchopení jsou zanedbatelné: [7, str. 13]

$$K_2 = m \cdot g = 1000 \cdot 9,81 \quad (4.4)$$

$$K_2 = 9810 \text{ N}$$

4.4.3 ZATÍŽENÍ ZPŮSOBENÁ ZRYCHLENÍM POHONŮ

Od zrychlení pohybu pojezdu kladkostroje se zavěšeným břemenem: [7, str. 17]

$$K_3 = (m + m_K) \cdot a_p = (1000 + 70) \cdot 0,33 = 357 \text{ N} \quad (4.5)$$

$$K_3 = 357 \text{ N}$$

kde:

a_p [ms^{-2}] maximální zrychlení pohonu pojezdu

$$a_p = \frac{v_{pmax}}{1} = \frac{0,33}{1} = 0,33 \text{ ms}^{-1} \quad (4.6)$$

Zrychlení pojezdu na maximální rychlost za 1 vteřinu.

kde:



v_{Pmax} [ms^{-1}] maximální rychlost pojezdu

4.4.4 ZATÍŽENÍ VĚTREM ZA PROVOZU

Předpokládá se, že působí kolmo k podélné ose jeřábu:[7, str. 18]

$$K_4 = q(3) \cdot c \cdot A = (q(3) \cdot c_{SL} \cdot A_{SL}) + (q(3) \cdot c_{IPE} \cdot A_{IPE}) + (q(3) \cdot c_P \cdot A_P) \quad (4.7)$$

$$K_4 = (250 \cdot 0,82 \cdot 1,782) + (250 \cdot 2 \cdot 1,485) + (250 \cdot 2 \cdot 0,36) = 1287 N$$

$$K_4 = 1287 N$$

Prvek	c [-]	A [m^2]
Sloup	0,82	1,782
Výložník	2	1,485
Podpěra	2	0,36

kde:

$q(3)$ [Nm^{-2}] tlak větru pro obvyklý stupeň větru[7, str. 19]

c [-] aerodynamický součinitel pro celkové břemeno ve směru rychlosti větru[7, příl. A]

A [m^2] charakteristická plocha uvažovaného prvku

4.4.5 ZDVIHÁNÍ VOLNĚ LEŽÍCÍHO BŘEMENA

Dynamické účinky, vznikající při přenášení volně položeného břemena:[7, str. 23]

$$K_5 = m \cdot g = 1000 \cdot 9,81 \quad (4.8)$$

$$K_5 = 9810 N$$

4.4.6 ZATÍŽENÍ ZPŮSOBENÁ VĚTREM MIMO PROVOZ JEŘÁBU

$$K_6 = q(z) \cdot c \cdot A = (q(z) \cdot c_{SL} \cdot A_{SL}) + (q(z) \cdot c_{IPE} \cdot A_{IPE}) + (q(z) \cdot c_P \cdot A_P) \quad (4.9)$$

$$K_6 = (590 \cdot 0,82 \cdot 1,782) + (590 \cdot 2 \cdot 1,485) + (590 \cdot 2 \cdot 0,36)$$

$$K_6 = 3040 N$$

kde:

$q(z)$ [Nm^{-2}] tlak větru mimo provoz jeřábu[7, str. 24]

$$q(z) = 0,5 \cdot \rho_V \cdot v(z)^2 = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 30,7^2 = 590 Nm^{-2} \quad (4.10)$$

kde:

$v(z)$ [Nm^{-2}] ekvivalentní statická rychlost větru mimo provoz[7, str. 24]

$$v(z) = f_{rec} \cdot \left[\left(\frac{z}{10} \right)^{0,14} + 0,4 \right] \cdot v_{ref} = 0,9463 \cdot \left[\left(\frac{7}{10} \right)^{0,14} + 0,4 \right] \cdot 24 = 30,7 ms^{-1} \quad (4.11)$$

kde:

f_{rec} [-] součinitel závislý na době návratu[7, str. 24]

z [-] výška nad úroveň terénu [7, str. 24]

v_{ref} [-] referenční rychlost bouřlivého větru[7, str. 24]



4.4.7 ZATÍŽENÍ PŘI ZKOUŠKÁCH

Hmotnost zkušebního břemena je stanoveno normou: [7, str. 26]

a) dynamické zkušební zatížení

$$F_{dyn} = m_{dyn} \cdot g = 1100 \cdot 9,81 = 10791 \text{ N} \quad (4.12)$$

b) statické zkušební zatížení

$$F_{stat} = m_{stat} \cdot g = 1250 \cdot 9,81 \quad (4.13)$$

$$K_7 = F_{stat} = 12262 \text{ N}$$

Pro posouzení kombinace bude zvoleno statické zatížení.

4.4.8 NÁRAZOVÉ ZATÍŽENÍ

Způsobené nárazem pojezdu kladkostroje na koncové dorazy.

$$E_k = 0,5 \cdot (m + m_k) \cdot v_{pmin}^2 = 0,5 \cdot (1000 + 70) \cdot 0,083^2 = 3,7 \text{ J} \quad (4.14)$$

$$v_{pmin} = 0,083 \text{ ms}^{-1}$$

kde:

v_{pmin} [ms^{-1}] minimální rychlost pojezdu

Jelikož pojezd bude opatřen křížovým spínačem, který umožní zpomalení kočky před nárazem na koncový doraz, vychází se z nižší sekundární rychlosti.

Z katalogu firmy [10] jsou zvoleny nárazníky, které pohltnou tuto energii. Pro tuto energii a nárazník je odpovídající nárazová síla rovna:

$$K_8 = 1400 \text{ N}$$

4.4.9 NOUZOVÉ ZASTAVENÍ

Při nouzovém zastavení jsou největší účinky vyvolány náhlým zastavením pojezdu:

$$K_9 = (m + m_k) \cdot a_p = (1000 + 70) \cdot 0,33 = 357 \text{ N} \quad (4.15)$$

$$K_9 = 357 \text{ N}$$

4.5 VÝPOČET KOMBINACÍ ZATÍŽENÍ

Tabulka kombinací zatížení je zobrazena v příloze této práce.

4.5.1 VYHODNOCENÍ KOMBINACÍ ZATÍŽENÍ

Z výstupních hodnot těchto skupin lze říci, že nejnepříhodnějšího zátěžového účinku se dosáhne při kombinaci **A1**.

V následující kapitole se hodnoty kombinace A1 dosadí do matematických vztahů pro kontrolu ocelové konstrukce. Tedy skutečné silové účinky se vynásobí příslušnými koeficienty ϕ_1 , ϕ_2 a dílčím součinitelem bezpečnosti γ_p .



- **Vynechané kombinace zatížení**

A2 - nezahrnut součinitel ϕ_3 , neuvažuje se uvolnění části břemena jako obvyklá prac. činnost

A4 - zanedbatelná kombinace

B2 - nezahrnut součinitel ϕ_3 , neuvažuje se uvolnění části břemena jako obvyklá prac. činnost

B4 - zanedbatelná kombinace

B5 - zanedbatelná kombinace

C2 - nezahrnut součinitel η_w , neuvažuje se zavěšené břemeno v době mimo provoz jeřábu

C5 - neuvažuje se sklápění jeřábu

C7 - při selhání mechanismů nedojde k zásadním vlivům na ocelovou konstrukci

C8 - neuvažují se účinky vyvolané seizmickým buzením

C9 - zanedbatelný účinek

Další nezahrnuté

U pravidelných zatížení od účinků zrychlujících pohonů (mimo zdvihu) se neuvažuje ϕ_5 , protože zde není další pohon, který by zásadně ovlivnil kombinaci zatížení.

4.6 VÝPOČET STABILITY TUHÉHO TĚLESA

Tabulka kombinací pro prokázání stability tuhého tělesa je zobrazena v příloze této práce.

4.6.1 VYHODNOCENÍ STABILITY

Z výstupních hodnot těchto skupin lze říci, že nejnepríhodnějšího zátěžového účinku se dosáhne při kombinaci C3.

Jelikož je součet svislých sil menší než součet svislých sil kombinace zatížení A1, podle které byla provedena kontrola ocelové konstrukce, můžeme říci, že je prokázána stabilita tuhého tělesa.



5 KONTROLA OCELOVÉ KONSTRUKCE

Předběžným výpočtem byly stanoveny tyto průřezy jednotlivých profilů.

5.1 NAVRHOVANÉ PROFILY KONSTRUKCE

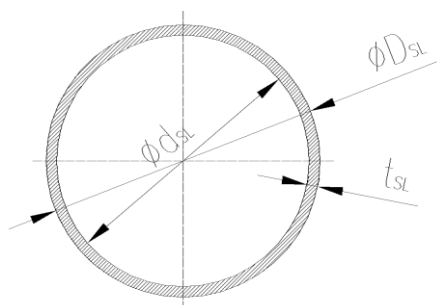
- Sloup

Trubka bezešvá hladká kruhová, EN 10220, rozměr 323,9x20

Materiál: S355J2H; obdoba 11503

Tab. 1 Parametry sloupu [13]

Vnější průměr	D_{SL}	323,9	mm
Vnitřní průměr	d_{SL}	283,9	mm
Tloušťka stěny	t_{SL}	20	mm
Průřezový modul k libovolné ose ohybu	W_{OSL}	1367029	mm ³
Mez kluzu	Re_{SL}	355	MPa
Hmotnost	m_{SL}	150	kg.m ⁻¹
Moment setrvačnosti sloupu	J_{SL}	221.10 ⁶	mm ⁴
Plocha průřezu	S_{SL}	19100	mm ²



Obr. 12 Profil sloupu

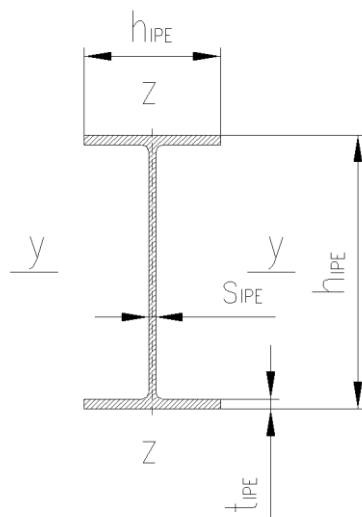
- Výložník

Tyč průřezu IPE válcovaná za tepla, DIN 1025-5, IPE 330

Materiál: S355J2, obdoba 11 503

Tab. 2 Parametry výložníku [14]

Šířka příruby	b_{IPE}	160	mm
Výška profilu	h_{IPE}	330	mm
Tloušťka stojny	s_{IPE}	7,5	mm
Tloušťka příruby	t_{IPE}	11,5	mm
Průřezový modul k ose ohybu y	W_{OYIPE}	713000	mm ³
Průřezový modul k ose ohybu z	W_{OZIPE}	98300	mm ³
Mez kluzu	Re_{IPE}	355	MPa
Hmotnost	m_{IPE}	49	kg.m ⁻¹
Moment setrvačnosti výložníku k ose ohybu x	J_{IPE}	118.10 ⁶	mm ⁴



Obr. 13 Profil výložníku

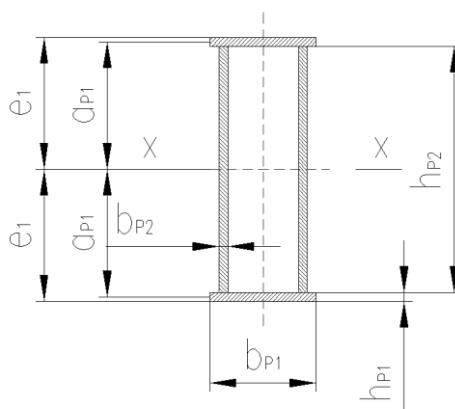
- **Podpora**

Skříňový nosník svařený ze soustavy plechů

Plech válcovaný za tepla, EN 10029-A-N, Materiál: S355J2+N, obdobná 11 503

Tab. 3 Profil podpory

Šířka plechu	b_{P1}	120	mm
Výška plechu	h_{P1}	10	mm
Šířka plechu	b_{P2}	280	mm
Výška plechu	h_{P2}	10	mm
Průřezový modul k ose ohybu x	W_{OP}	580444	mm^3
Mez kluzu	R_{eP}	355	MPa
Hmotnost	m_P	61,6	kg.m^{-1}



Obr. 14 Podpora výložníku



5.2 STATICKÝ ROZBOR

Určení soustavy úplně zadaných a neúplně určených silových prvků a množiny neznámých nezávislých parametrů. [2, str. 134]

- **Klasifikace vazeb**

A – vetknutí $\xi_A = 3$

B – podpora $\xi_B = 1$

C – rotační vazba $\xi_C = 2$

- **Určení pohyblivosti soustavy**[2, str. 134]

$$i = (n - 1)i_v - (\sum \xi_i - \eta) \quad (5.1)$$

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

$$i = 0$$

Těleso je uloženo nepohyblivě bez omezení deformačních parametrů.

- **Určení množiny neznámých parametrů**[2, str. 134]

$$NP = \{F_{AX}; F_{AY}; M_A; F_{BX}; F_{CX}; F_{CY}\} \quad (5.2)$$

$$\mu_F = 5; \mu_M = 1$$

$$\sum \mu_i = \mu = 6$$

- **Určení počtu použitelných podmínek**

-obecné rovinné soustavy

$$\vartheta_F = 4; \vartheta_M = 2 \quad (5.3)$$

$$\sum \vartheta_i = \vartheta = 6$$

- **Ověření nutné podmínky statické určitosti** [2, str. 135]

$$\mu = \vartheta \quad (5.4)$$

$$6 = 6$$

$$\mu_M + \mu_r \leq \vartheta_M \quad (5.5)$$

$$1 + 0 \leq 2$$

Podmínka statické určitosti je splněna.

- **Úprava silových účinků dle kombinace A1**

$$F' = F \cdot \gamma_p \cdot \phi_2 = 9810 \cdot 1,34 \cdot 1,13 = 14854 \text{ N} \quad (5.6)$$

$$F_{IPE}' = F_{IPE} \cdot \gamma_p \cdot \phi_1 = 2165 \cdot 1,22 \cdot 1,05 = 2773 \text{ N} \quad (5.7)$$

$$F_P' = F_P \cdot \gamma_p \cdot \phi_1 = 726 \cdot 1,22 \cdot 1,05 = 930 \text{ N} \quad (5.8)$$

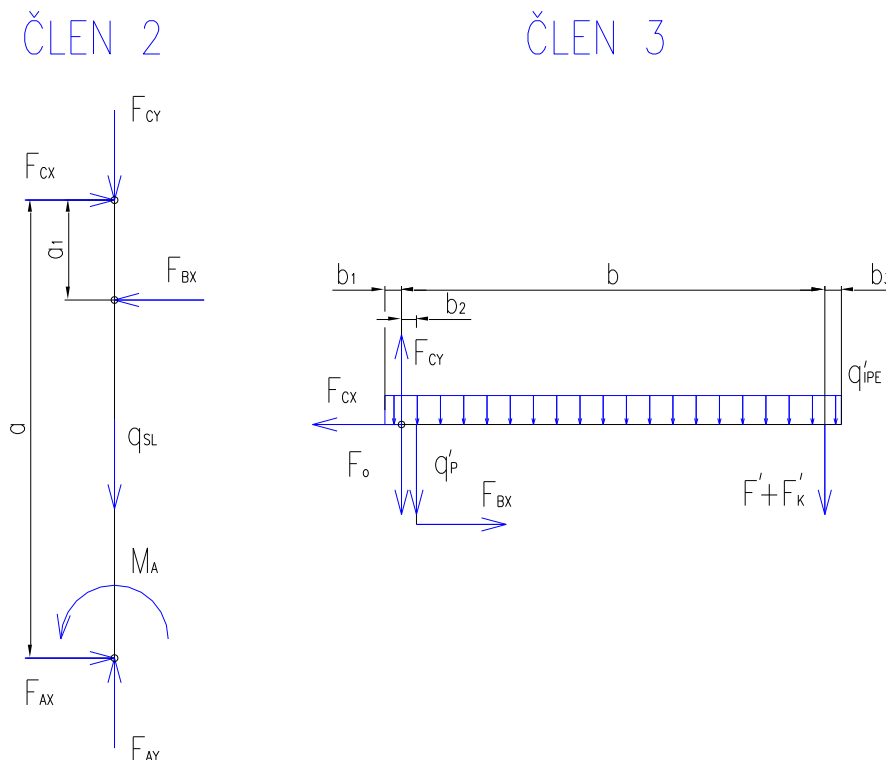
$$F_K' = F_K \cdot \gamma_p \cdot \phi_1 = 687 \cdot 1,22 \cdot 1,05 = 880 \text{ N} \quad (5.9)$$

kde:



γ_P [-] dílčí součinitel bezpečnosti

5.3 ÚPLNÉ UVOLNĚNÍ



Obr. 15 Uvolnění členu 2 a 3

5.4 SESTAVENÍ PODMÍNEK STATICKÉ ROVNOVÁHY

- Člen 2 - Sloup

$$\sum F_X = 0 \quad (5.10)$$

$$-F_{BX} + F_{AX} + F_{CX} = 0$$

$$F_{AX} = -F_{CX} + F_{BX} = -58635 + 58635 = 0 \text{ N}$$

$$\sum F_Y = 0 \quad (5.11)$$

$$-F_{CY} + F_{AY} - F_S = 0$$

$$F_{AY} = F_{CY} + F_S = 20497 + 8093 = 28590 \text{ N}$$

$$\sum M_A = 0 \quad (5.12)$$

$$M_A + F_{BX} \cdot (a - a_1) - F_{CX} \cdot a = 0$$

$$M_A = -F_{BX} \cdot (a - a_1) + F_{CX} \cdot a = -58635 \cdot (4500 - 1200) + 58635 \cdot 4500$$

$$M_A = 70362000 \text{ Nmm}$$



- Člen 3 - Výložník s podporou

$$\Sigma F_X = 0 \quad (5.13)$$

$$-F_{CX} + F_{BX} = 0$$

$$F_{CX} = F_{BX} = 58635 \text{ N}$$

$$\Sigma F_Y = 0 \quad (5.14)$$

$$F_{CY} - F_o - F_p' - F_{IPE}' - F_{K'} - F' = 0$$

$$F_{CY} = F_o + F_p' + F_{IPE}' + F_{K'} + F' = 1060 + 930 + 2773 + 880 + 14854 = 20497 \text{ N}$$

$$\Sigma M_C = 0 \quad (5.15)$$

$$-F_p' \cdot b_1 + F_{BX} \cdot a_1 - F_{IPE}' \cdot (b_T - b_1) - F' \cdot b - F_{K'} \cdot b = 0$$

$$F_{BX} = \frac{F_p' \cdot b_1 + F_{IPE}' \cdot (b_T - b_1) + F' \cdot b + F_{K'} \cdot b}{a_1}$$

$$F_{BX} = \frac{930 \cdot 180 + 2773 \cdot (2250 - 200) + 14854 \cdot 4100 + 880 \cdot 4100}{1200} = \frac{70361450}{1200}$$

$$F_{BX} = 58635 \text{ N}$$

5.5 VÝSLEDNÉ VNITŘNÍ ÚČINKY

- Člen 2 - Sloup

Interval I₂

$$x_{I2} \in \langle 0; a_1 \rangle = \langle 0; 1200 \rangle$$

$$F_X: \quad (5.16)$$

$$F_{CX} + T_{I2} = 0$$

$$T_{I2} = -F_{CX} = -58635 \text{ N}$$

$$F_Y: \quad (5.17)$$

$$-F_{CY} - N_{I2} - q_{SL} \cdot x_{I2} = 0$$

$$N_{I2} = -F_{CY} - q_{SL} \cdot x_{I2} = -20497 - 1,472 \cdot 1200 = -22264 \text{ N}$$

$$M_{OI2}: \quad (5.18)$$

$$-M_{OI2} + F_{CX} \cdot x_{I2} = 0$$

$$M_{OI2} = 58635 \cdot \langle 0; 1200 \rangle$$

$$M_{OI2} = \langle 0; 70362000 \rangle \text{ Nmm}$$

**Intervalu II₂**

$$x_{II2} \in \langle a_1; a \rangle = \langle 1200; 5500 \rangle$$

$$F_X: \quad (5.19)$$

$$F_{CX} + T_{II2} - F_{BX} = 0$$

$$T_{II2} = -F_{CX} + F_{BX} = -58635 + 58635 = 0 \text{ N}$$

$$F_Y: \quad (5.20)$$

$$-F_{CY} - N_{II2} - q_{SL} \cdot x_{II2} = 0$$

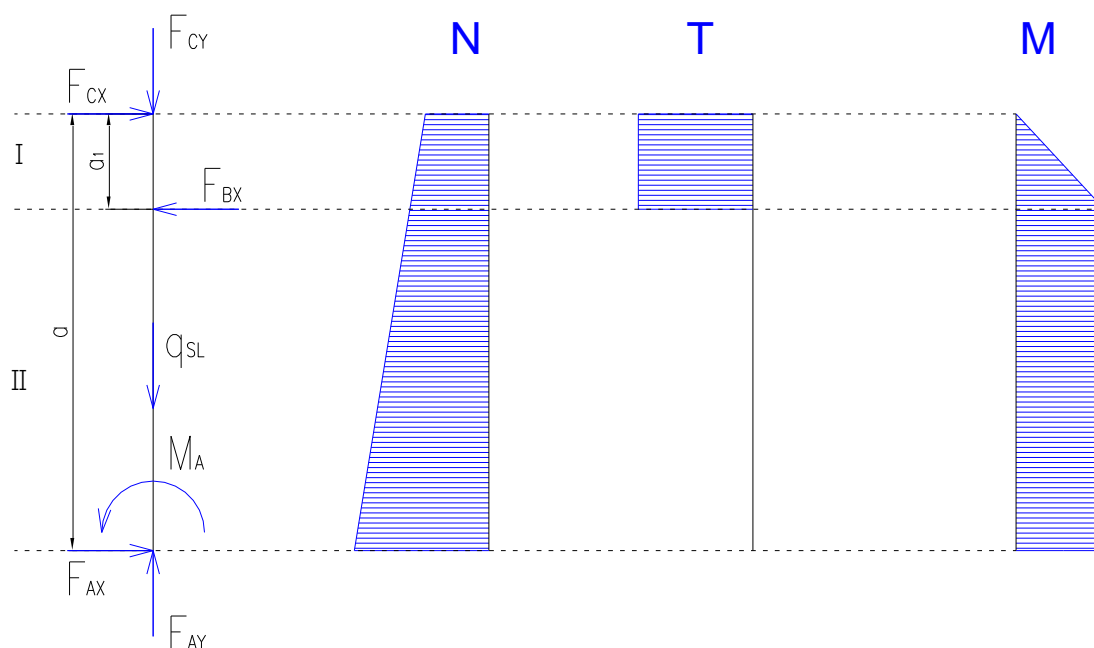
$$N_{II2} = -F_{CY} - q_{SL} \cdot x_{II2} = -20497 - 1,472 \cdot 5500 = -28593 \text{ N}$$

$$M_{OII2}: \quad (5.21)$$

$$-M_{OII2} - F_{BX} \cdot (x_{II2} - a_1) + F_{CX} \cdot x_{II2} = 0$$

$$M_{OII2} = -58635 \cdot \langle 0; 4300 \rangle + 58635 \cdot \langle 1200; 5500 \rangle$$

$$M_{OII2} = \langle 70362000; 70362000 \rangle \text{ Nmm}$$



Obr. 16 Výsledné vnitřní účinky členu 2

- **Člen 3 - Výložník**

Intervalu I₃

$$x_{I3} \in \langle 0; b_3 \rangle = \langle 0; 200 \rangle$$

$$F_X: \quad (5.22)$$

$$N_{I3} = 0 \text{ N}$$



$$F_Y: \quad (5.23)$$

$$T_{I3} - q_{IPE}' \cdot x_{I3} = 0$$

$$T_{I3} = q_{IPE}' \cdot x_{I3} = 0,615 \cdot 200 = 123 \text{ N}$$

$$M_{OI3}: \quad (5.24)$$

$$M_{OI3} + \frac{q_{IPE}' \cdot x_{I3}^2}{2} = 0$$

$$M_{OI3} = -\frac{q_{IPE}' \cdot x_{I3}^2}{2} = \frac{0,615 \cdot (0; 200)^2}{2}$$

$$M_{OI3} = \langle 0; -12300 \rangle \text{ Nmm}$$

Intervalu II₃

$$x_{II3} \in \langle b_3; b + b_3 - b_2 \rangle = \langle 200; 4120 \rangle$$

$$F_X: \quad (5.25)$$

$$N_{II3} = 0 \text{ N}$$

$$F_Y: \quad (5.26)$$

$$T_{II3} - F' - F_K' - q_{IPE}' \cdot x_{II3} = 0$$

$$T_{II3} = F' + F_K' + q_{IPE}' \cdot x_{II3} = 14854 + 880 + 0,615 \cdot 4120 = 18268 \text{ N}$$

$$M_{OII3}: \quad (5.27)$$

$$M_{OII3} + F' \cdot (x_{II3} - b_3) + F_K' \cdot (x_{II3} - b_3) + \frac{q_{IPE}' \cdot x_{II3}^2}{2} = 0$$

$$M_{OII3} = -F' \cdot (x_{II3} - b_3) - F_K' \cdot (x_{II3} - b_3) - \frac{q_{IPE}' \cdot x_{II3}^2}{2}$$

$$M_{OII3} = -14854 \cdot \langle 0; 3920 \rangle - 880 \cdot \langle 0; 3920 \rangle - \frac{0,615 \cdot \langle 200; 4120 \rangle^2}{2}$$

$$M_{OII3} = -\langle 12300; 66896908 \rangle \text{ Nmm}$$

Intervalu III₃

$$x_{III3} \in \langle 0; b_1 \rangle = \langle 0; 200 \rangle$$

$$F_X: \quad (5.28)$$

$$N_{III3} = 0 \text{ N}$$

$$F_Y: \quad (5.29)$$

$$-T_{III3} - q_{IPE}' \cdot x_{III3} = 0$$

$$T_{III3} = -q_{IPE}' \cdot x_{III3} = -0,615 \cdot 200 = -123 \text{ N}$$

$$M_{OIII3}: \quad (5.30)$$

$$-M_{OIII3} - \frac{q_{IPE}' \cdot x_{I3}^2}{2} = 0$$



$$M_{OIII3} = -\frac{q_{IPE}' \cdot x_{III3}^2}{2} = -\frac{0,615 \cdot \langle 0; 200 \rangle^2}{2}$$

$$M_{OIII3} = \langle 0; -12300 \rangle Nmm$$

Intervalu IV₃

$$x_{IV3} \in \langle b_1; b_2 + b_1 \rangle = \langle 200; 380 \rangle$$

$$F_X: \quad (5.31)$$

$$N_{IV3} - F_{CX} = 0 \text{ N}$$

$$N_{IV3} = F_{CX} = 58635 \text{ N}$$

$$F_Y: \quad (5.32)$$

$$-T_{IV3} + F_{CY} - F_O - q_{IPE}' \cdot x_{IV3} = 0$$

$$T_{IV3} = F_{CY} - F_O - q_{IPE}' \cdot x_{IV3} = 20497 - 1060 - 0,615 \cdot 380 = 19203 \text{ N}$$

$$M_{OIV3}: \quad (5.33)$$

$$-M_{OIV3} + F_{CY} \cdot (x_{IV3} - b_1) - F_O \cdot (x_{IV3} - b_1) - \frac{q_{IPE}' \cdot x_{IV3}^2}{2}$$

$$M_{OIV3} = F_{CY} \cdot (x_{IV3} - b_1) - F_O \cdot (x_{IV3} - b_1) - \frac{q_{IPE}' \cdot x_{IV3}^2}{2}$$

$$M_{OIV3} = 20497 \cdot \langle 0; 180 \rangle - 1060 \cdot \langle 0; 180 \rangle - \frac{0,615 \cdot \langle 200; 380 \rangle^2}{2}$$

$$M_{OIV3} = \langle -12300; 3454257 \rangle Nmm$$

Intervalu V₃

$$x_{V3} \in \langle 0; a_1 \rangle = \langle 0; 1200 \rangle$$

$$F_X: \quad (5.34)$$

$$N_{V3} - q_P' \cdot x_{V3} = 0$$

$$N_{V3} = q_P' \cdot x_{V3} = 0,775 \cdot 1200 = 930 \text{ N}$$

$$F_Y: \quad (5.35)$$

$$T_{V3} + F_{BX} = 0$$

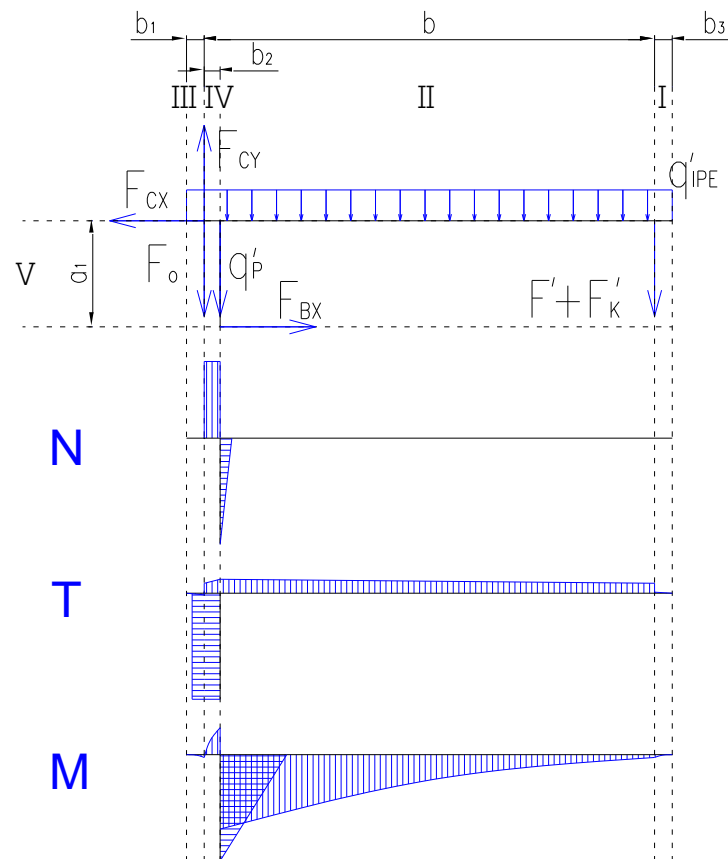
$$T_{V3} = -F_{BX} = -58635 \text{ N}$$

$$M_{OIII3}: \quad (5.36)$$

$$M_{OV3} - F_{BX} \cdot x_{V3} = 0$$

$$M_{OV3} = F_{BX} \cdot x_{V3} = 58635 \cdot \langle 0; 1200 \rangle$$

$$M_{OV3} = \langle 0; 70362000 \rangle Nmm$$



Obr. 17 Výsledné vnitřní účinky členu 3

5.6 VYHODNOCENÍ VVÚ

Z maximálních hodnot ohybových momentů daného intervalu se zjistí minimální hodnoty průřezů jednotlivých částí ocelové konstrukce. Jelikož parametry profilů již byly navrženy, provede se pouze jejich kontrola.

Pro výpočet dovoleného napětí platí obecný vztah:

$$\sigma_{OD} = \frac{R_e}{k}; k = 2,5 \quad (5.37)$$

kde:

R_e [MPa] je mez kluzu a závisí na materiálu prvku

k [-] koeficient bezpečnosti a je volen pro celou ocelovou konstrukci

Pro výpočet minimálního modulu průřezu v ohybu platí:



$$W_{Omin} = \frac{M_O}{\sigma_{OD}} \quad (5.38)$$

Tab. 4 Kontrola navržených profilů

Navrhovaný profil	Max. ohybové momenty [Nmm]		Dovolené ohybové napětí [MPa]	Min. modul průřezu v ohybu [mm ³]	Modul průřezu v ohybu navrženého profilu [mm ³]		Závěr
	M _{oII2}	M _{oII3}			≤		
Sloup	M _{oII2}	70362000	142	495507	≤	1367029	Vyhovuje
Výložník	M _{oII3}	66896908	142	471104	≤	713000	Vyhovuje
Podpora	M _{oV3}	70362000	142	495507	≤	580444	Vyhovuje

5.7 PROKÁZÁNÍ VZPĚRNÉ STABILITY PRUŽNOSTI

Výpočet dle [4].

- Poloměr setrvačnosti průřezu

$$i_S = \sqrt{\frac{J_{SL}}{S_{SL}}} = \sqrt{\frac{221 \cdot 10^6}{19,1 \cdot 10^3}}$$

$$i_S = 107,6 \text{ mm} \quad (5.39)$$

kde:

J_{SL} [mm⁴] moment setrvačnosti namáhaného průřezu
S_{SL} [mm²] plocha namáhaného průřezu

- Štíhlost prutu

$$\lambda = \frac{l_{red}}{i_S} = \frac{11000}{107,6}$$

$$\lambda = 102,3 \quad (5.40)$$

kde:

l_{red} [mm] redukovaná délka prutu

$$l_{red} = a \cdot \mu_s = 5500 \cdot 2 \quad (5.41)$$

$$l_{red} = 11000 \text{ mm}$$

kde:

μ_s [-] hodnota zatěžovacího stavu

Štíhlost $\lambda > 100$, výpočet bude dále probíhat v oblasti vzpěru dle Eulera.



- **Kritické napětí dle Eulera**

$$\sigma_{KR} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5}{102,3^2}$$

$$\sigma_{KR} = 198 \text{ MPa} \quad (5.42)$$

- **Maximální tlakové napětí ve sloupu**

$$\sigma_{DSL} = \frac{N_{II2}}{S_{SL}} = \frac{28593}{19,1 \cdot 10^3}$$

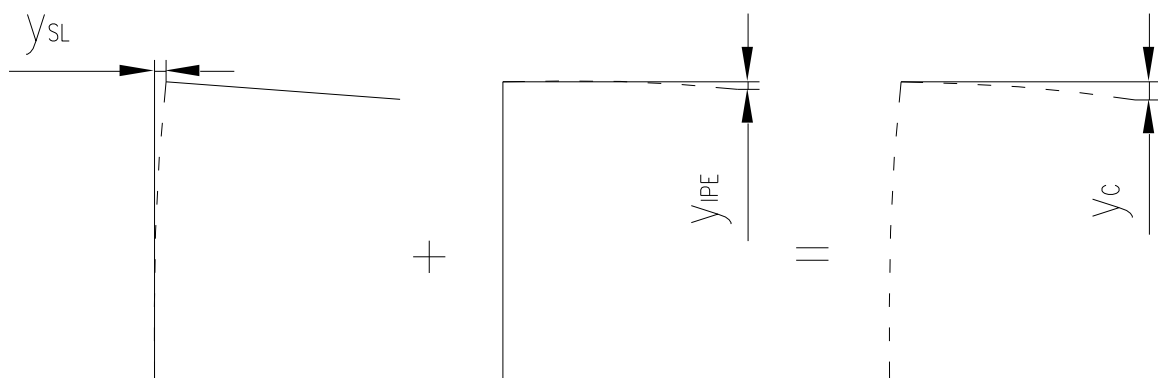
$$\sigma_{DSL} = 1,49 \text{ MPa} \quad (5.43)$$

Podmínka vyhovuje $\sigma_{KR} \gg \sigma_{DSL}$.

5.8 PŘETVOŘENÍ KONSTRUKCE

Pro přetvoření se uvažuje zatěžovací stav bez kombinací zatížení a bez navyšujících koeficientů. Pro zjednodušení výpočtu se vychází z vetknuté soustavy sloupu a výložníku.

- **Ekvivalence přetvoření**



Obr. 18 Ekvivalence přetvoření

- **Zatěžující síla pro výpočet zakřivení výložníku**

$$F_V = F + F_K = (m + m_K) \cdot g = (1000 + 70) \cdot 9,81 \quad (5.44)$$

$$F_V = 10497 \text{ N}$$

- **Zatěžující moment pro výpočet zakřivení sloupu**

$$M_V = F_V \cdot b = 10497 \cdot 4100 \quad (5.45)$$

$$M_V = 43037700 \text{ Nmm}$$



- **Průhyb výložníku**

$$y_{IPE} = \frac{F_V \cdot b^3}{3 \cdot E \cdot J_{IPE}} = \frac{10497 \cdot 4100^3}{3 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 118 \cdot 10^6}$$

$$y_{IPE} = 9,73 \text{ mm} \quad (5.46)$$

- **Úhel natočení výložníku**

$$\alpha_{IPE} = \frac{F_V \cdot b^2}{2 \cdot E \cdot J_{IPE}} = \frac{10497 \cdot 4100^2}{2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 118 \cdot 10^6}$$

$$\alpha_{IPE} = 0,0035^\circ \quad (5.47)$$

- **Průhyb sloupu**

$$y_{SL} = \frac{M_V \cdot a^2}{2 \cdot E \cdot J_{SL}} = \frac{43037700 \cdot 5500^2}{2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 221 \cdot 10^6}$$

$$y_{SL} = 14 \text{ mm} \quad (5.48)$$

- **Úhel natočení sloupu**

$$\alpha_{SL} = \frac{M_V \cdot a}{E \cdot J_{SL}} = \frac{43037700 \cdot 5500}{2,1 \cdot 10^5 \cdot 221 \cdot 10^6}$$

$$\alpha_{SL} = 0,005^\circ \quad (5.49)$$

- **Celkový průhyb**

$$y_C = y_{IPE} + y_{SL} = 9,73 + 14 \quad (5.50)$$

$$y_C = 23,73 \text{ mm}$$

- **Přijatelné imperfekce a natočení dle [8, tab. 13]**

Výložník

$$y_{IPEd} = \frac{b}{300} = \frac{4100}{300}$$

$$y_{IPEd} = 13,66 \text{ mm}$$

$$y_{IPEd} \geq y_{IPE} \quad (5.51)$$

$$13,66 \geq 9,73$$

$$\alpha_{IPEd} \geq \alpha_{IPE} \quad (5.52)$$

$$0,21 \geq 0,0035$$



Sloup

$$y_{SLD} \geq y_{SL} \quad (5.53)$$

$$y_{SLD} = \frac{a}{300} = \frac{5500}{300}$$

$$y_{SLD} = 18,33 \text{ mm}$$

$$18,33 \geq 14$$

$$\alpha_{SLD} \geq \alpha_{SL} \quad (5.54)$$

$$0,21 \geq 0,005$$

Vyhovuje, přetvoření je v mezích příslušné normy.

5.9 KONTROLA NORMÁLOVÉ ÚNAVOVÉ PEVNOSTI NOSNÝCH PRVKŮ

Pro výpočet porovnání skutečného a dovoleného napětí platí:

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} \leq \sigma_{oc} \quad (5.55)$$

Kontrolovaný profil	Max. ohybové momenty [Nmm]		Modul průřezu v ohybu navrženého profilu W_o [mm ³]	Hodnota napětí [MPa]	Hodnota únavové normálové pevnosti [MPa]		Závěr
	M_{oII2}	M_{oII3}			\leq	\leq	
Sloup	M_{oII2}	70362000	1367029	51	\leq	180	Vyhovuje
Výložník	M_{oII3}	66896908	713000	93	\leq	180	Vyhovuje
Podpora	M_{oV3}	70362000	580444	121	\leq	180	Vyhovuje

Hodnota únavové pevnosti [8, str. 60]

5.10 KONTROLA VÝLOŽNÍKU PŘI VYCHÝLENÍ LANA

- Síla vyvolaná vychýlením lana o 10°

$$F_Z = (F' + F_K') \cdot \tan 10 = (14854 + 880) \cdot \tan 10 \quad (5.56)$$

$$F_Z = 2774 \text{ N}$$

- Napětí v ohybu osy z:

$$\sigma_{Z-Z} = \frac{M_Z}{W_{OZIPE}} = \frac{F_Z \cdot b}{W_{OZIPE}} = \frac{11373400}{98300}$$

$$\sigma_{Z-Z} = 115 \text{ MPa} \quad (5.57)$$



- **Napětí v ohybu osy y:**

$$\sigma_{Y-Y} = \frac{M_{OII3}}{W_{OYIPE}} = \frac{66896908}{713000}$$
$$\sigma_{Y-Y} = 94 \text{ MPa} \quad (5.58)$$

- **Celkové napětí**

$$\sigma_V = \sigma_{Z-Z} + \sigma_{Y-Y} = 115 + 94 \quad (5.59)$$
$$\sigma_V = 209 \text{ MPa}$$

- **Podmínka únosnosti profilu**

$$\sigma_V \leq R_{eIPE} \quad (5.60)$$
$$209 \text{ MPa} \leq 355 \text{ MPa}$$

Jelikož se za posouvající síly dosazovaly hodnoty navýšené o součinitele ϕ_1 a ϕ_2 , společně s dílčím součinitelem bezpečnosti pro kombinaci namáhání A1, tak se podmínka únosnosti zobrazuje velmi dobře.



6 KONTROLA OSTATNÍCH ČÁSTÍ JEŘÁBU

6.1 KONTROLA SVARŮ

Kontrola svarů v nejdůležitějších místech ovlivňujících funkčnost jeřábu.

Svar spojující podpěru a výložník

- **Plocha účinného průřezu svaru [3, str. 516]**

$$S_{SVP} = 1,414 \cdot z_p \cdot (b_{p1} + h_{p2}) = 1,414 \cdot 10 \cdot (120 + 280) \quad (6.1)$$

$$S_{SVP} = 5656 \text{ mm}^2$$

kde:

z_p [mm] tloušťka svaru

- **Smykové napětí působící na svar od posouvajících sil**

$$\tau_p' = \frac{F_{CX}}{S_{SVP}} = \frac{58635}{5656}$$

$$\tau_p' = 10,4 \text{ MPa} \quad (6.2)$$

- **Smykové napětí působící na svar od momentů**

$$\tau_p'' = \frac{M_{ov5} \cdot e_1}{J_{SVP}} = \frac{70362000 \cdot 150}{64044772}$$

$$\tau_p'' = 164,7 \text{ MPa} \quad (6.3)$$

kde:

e_1 [mm] Vzdálenost těžiště svaru od nejvzdálenější hrany

$$e_1 = \frac{2 \cdot h_{p1} + h_{p2}}{2} = \frac{2 \cdot 10 + 280}{2}$$

$$e_1 = 150 \text{ mm} \quad (6.4)$$

J_{SVP} [mm⁴] Celkový osový kvadratický moment účinného průřezu svaru [3, str. 514]

$$J_{SVP} = 0,707 \cdot z_p \cdot J_{SVP}' = 0,707 \cdot 10 \cdot 9058666,7 \quad (6.5)$$

$$J_{SVP} = 64044772 \text{ mm}^4$$

J_{SVP}' [mm³] Jednotkový kvadratický moment účinného průřezu svaru [3, str. 514]

$$J_{SVP}' = \frac{b_{p1} \cdot (2 \cdot h_{p1} + h_{p2})^2}{2} + \frac{h_{p2}^3}{6} = \frac{120 \cdot (2 \cdot 10 + 280)^2}{2} + \frac{280^3}{6}$$

$$J_{SVP}' = 9058666,7 \text{ mm}^3 \quad (6.6)$$



- **Celkové smykové napětí působící na svar**

$$\tau_P = \sqrt{\tau_P'^2 + \tau_P''^2} = \sqrt{10,4^2 + 164,7^2} \quad (6.7)$$

$$\tau_P = 165 \text{ MPa}$$

Svar spojující čep a výložník

- **Plocha účinného průřezu svaru**

$$S_{SV\check{c}} = 1,414 \cdot z_{\check{c}} \cdot \pi \cdot d_{\check{c}} = 1,414 \cdot 8 \cdot \pi \cdot 120 \quad (6.8)$$

$$S_{SV\check{c}} = 4270 \text{ mm}^2$$

- **Smykové napětí působící na svár od posouvajících sil**

$$\tau_{\check{c}} = \frac{F_{CX}}{S_{SV\check{c}}} = \frac{58635}{4270} \quad (6.9)$$

$$\tau_{\check{c}} = 13,7 \text{ MPa}$$

- **Výpočet dovolených napětí na svarový spoj**

Únosnost svaru [8, str. 31]

$$f_{w,Rd} = \frac{\alpha_w \cdot f_y}{\gamma_m} = \frac{0,6 \cdot 355}{1,1} \quad (6.10)$$

$$f_{w,Rd} = 193,6 \text{ MPa}$$

kde:

f_y [MPa] nejmenší hodnota meze kluzu spojovaných prvků

α_w [-] součinitel uvedený v [8, tab. 8]

γ_m [-] obecný součinitel spolehlivosti [8, str. 21]

Kontrola únosnosti svarových spojů

- **Výložník a podpěra**

$$f_{w,Rd} \geq \tau_P \quad (6.11)$$

$$193,6 \geq 165$$

Podmínka vyhovuje.

- **Výložník a čep**

$$f_{w,Rd} \geq \tau_{\check{c}} \quad (6.12)$$

$$193,6 \geq 13,7$$

Podmínka vyhovuje.

6.2 NÁVRH A KONTROLA KOTEVNÍCH ŠROUBŮ

Jeřáb bude kotven závitovými tyče, které budou současně tvořit kotevní koš, který bude součástí stavby.

V závislosti k vzdálenosti bodu klopení na (Obr. 19) vyznačen červenou barvou, jsou vyrovnávací síly proměnlivé, jejich velikost se liší. Průměr šroubu bude dimenzován tak, aby jeden šroub unesl celou soustavu.

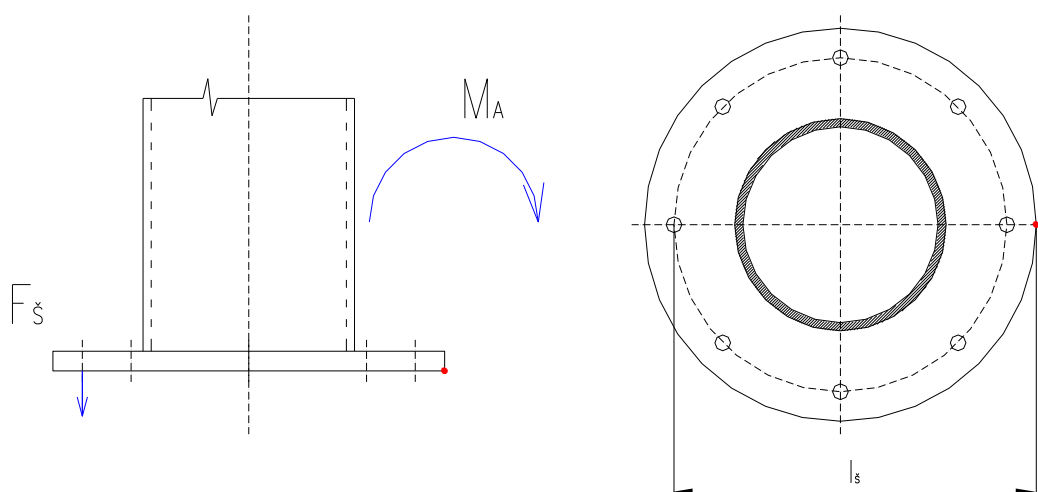
- **Předběžně zvolené kotvení**

Závitová tyč 8.8 M22

Parametry:

Průměr jádra tyče $A_{\xi} = 340 \text{ mm}^2$

Smluvní mez kluzu $R_{e\xi} = 520 \text{ MPa}$



Obr. 19 Návrh kotvení

- **Podmínka kotvení**

$$M_A \leq M_{STAB} \quad (6.13)$$

$$70362000 \leq M_{STAB}$$

$$M_{STAB} = F_{\xi} \cdot l_{\xi} \quad (6.14)$$

$$F_{\xi} = \frac{M_{STAB}}{l_{\xi}} = \frac{70362000}{555}$$

$$F_{\xi} = 126778 \text{ N}$$



- **Kontrola pevnosti závitové tyče**

$$\sigma_t = \frac{F_{\xi}}{A_{\xi}} \leq \sigma_{D\xi}$$

$$\sigma_t = \frac{126778}{304} \leq 520$$

$$\sigma_t = 417 \text{ MPa} \quad (6.15)$$

$$417 \text{ MPa} \leq 520 \text{ MPa}$$

Podmínka vyhovuje.

6.3 NÁVRH A KONTROLA LOŽISKA VÝLOŽNÍKU

Pro návrh je zvoleno soudečkové ložisko firmy SKF. Tyto ložiska jsou schopná přenášet velká radiální a současně i axiální zatížení. Toto ložisko se nalézá v bodě C.

Frekvence otáčení je velmi nízká, návrh se bude řídit jen statickým výpočtem.

Předběžně zvolené ložisko:

Soudečkové ložisko 24015-2CS2/VT143 [15]

Parametry:

$$\text{Vnější průměr} \quad D_C = 115 \text{ mm}$$

$$\text{Vnitřní průměr} \quad d_C = 75 \text{ mm}$$

$$\text{Šířka ložiska} \quad B_C = 40 \text{ mm}$$

$$\text{Výpočtový součinitel} \quad Y_0 = 2,5$$

$$\text{Dovolená statická únosnost} \quad C_{0CD} = 232000 \text{ N}$$

- **Ekvivalentní statické zatížení**

$$P_{ORC} = F_{CY} + Y_0 \cdot F_{CX} = 20497 + 2,5 \cdot 58635 \quad (6.16)$$

$$P_{ORC} = 167084 \text{ N}$$

- **Základní statická únosnost**

$$C_{OC} = s_{0C} \cdot P_{ORC} = 1 \cdot 167084 \quad (6.17)$$

$$C_{OC} = 167084 \text{ N}$$

kde:

$$s_{0C} \quad [-] \quad \text{bezpečnost při statickém zatížení [1, str. 504]}$$

- **Kontrola únosnosti**

$$C_{0CD} > C_{OC} \quad (6.18)$$

$$232000 \text{ N} > 167084 \text{ N}$$

Navržené ložisko vyhovuje.



6.4 NÁVRH A KONTROLA LOŽISEK PODPĚRY

Ložiska se nacházejí v bodě B a přenášejí zatížení způsobená hmotností břemena, výložníku a dalších účinků.

Frekvence otáčení je velmi nízká, návrh se bude řídit jen statickým výpočtem.

Předběžně zvolená ložiska:

Kuličková ložiska 6014-2RS1 [16]

Parametry:

Vnější průměr $D_B = 110 \text{ mm}$

Vnitřní průměr $d_B = 70 \text{ mm}$

Šířka ložiska $B_B = 20 \text{ mm}$

Výpočtový součinitel $X_0 = 0,6$ [1, str. 504]

Dovolená statická únosnost $C_{0BD} = 31000 \text{ N}$

- **Ekvivalentní statické zatížení**

$$P_{ORB} = X_0 \cdot F_{BX1} = 0,6 \cdot 27370 \quad (6.19)$$

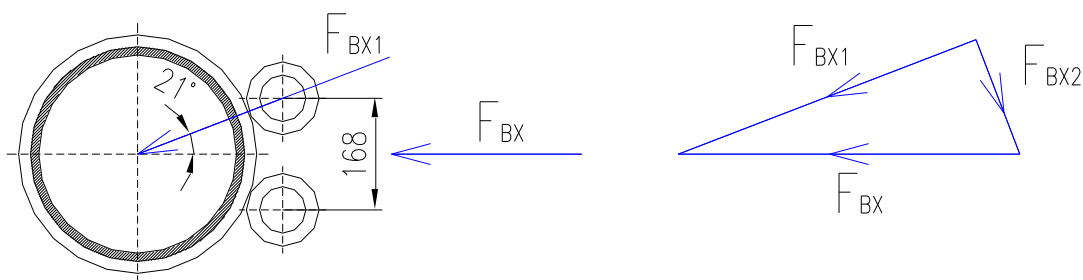
$$P_{ORB} = 16422 \text{ N}$$

kde:

F_{BX1} [N] radiální síla působící na jedno ložisko (Obr.20)

$$F_{BX1} = \frac{F_{BX} \cdot \cos 21^\circ}{2} = \frac{58635 \cdot \cos 21^\circ}{2}$$

$$F_{BX1} = 27370 \text{ N} \quad (6.20)$$



Obr. 20 Působení sil na opěrném kroužku



- **Základní statická únosnost**

$$C_{OB} = s_{0B} \cdot P_{ORB} = 1 \cdot 16422 \quad (6.21)$$

$$C_{OB} = 16422 \text{ N}$$

kde:

s_{0B} [-] bezpečnost při statickém zatížení [STT 504]

- **Kontrola únosnosti**

$$C_{0BD} > C_{OB}$$

$$31000 \text{ N} > 16422 \text{ N} \quad (6.22)$$

Navržená ložiska vyhovují.

6.5 KONTROLA ROZBĚHU OTOČNÉHO MECHANISMU

Pro rozběh mechanismu musí zařízení překonat statické a dynamické odpory proti pohybu.

6.5.1 DYNAMICKÉ ÚČINKY

- **Moment setrvačnosti výložníku**

$$I_{IPE} = \frac{1}{3} \cdot m_{IPE} \cdot (b + b_3)^2 = \frac{1}{3} \cdot 220 \cdot (4,1 + 0,2)^2$$

$$I_{IPE} = 1356 \text{ kgm}^2 \quad (6.23)$$

- **Moment setrvačnosti podpory**

$$I_P = m_P \cdot b_2^2 = 74 \cdot 0,18^2$$

$$I_P = 2,4 \text{ kgm}^2 \quad (6.24)$$

- **Moment setrvačnosti kladkostroje**

$$I_{mk} = m_K \cdot b^2 = 70 \cdot 4,1^2$$

$$I_{mk} = 1176 \text{ kgm}^2 \quad (6.25)$$

- **Moment setrvačnosti břemena**

$$I_m = m \cdot b^2 = 1000 \cdot 4,1^2$$

$$I_m = 16810 \text{ kgm}^2 \quad (6.26)$$

- **Redukovaný moment setrvačnosti**

$$\frac{1}{2} \cdot I_{RED} \cdot \omega^2 = \frac{1}{2} \cdot I_{IPE} \cdot \omega^2 + \frac{1}{2} \cdot I_P \cdot \omega^2 + \frac{1}{2} \cdot I_m \cdot \omega^2 + \frac{1}{2} \cdot I_{mk} \cdot \omega^2$$

$$I_{RED} = I_{IPE} + I_P + I_m + I_{mk} = 1356 + 2,4 + 16810 + 1176$$

$$I_{RED} = 19345 \text{ kgm}^2 \quad (6.27)$$



- **Dynamický moment k překonání dynamických odporů**

$$M_{KDYN1} = I_{RED} \cdot \alpha = 19345 \cdot 0,016$$

$$M_{KDYN1} = 309 \text{ Nm} \quad (6.28)$$

- **Moment vlivem větru za provozu**

Pro sílu vyvolanou vlivem větru na výložník platí: [6, str. 18]

$$M_{KDYN2} = K_{VO} \cdot (b_T - b_1) = 520 \cdot (2,25 - 0,2)$$

$$M_{KDYN2} = 1066 \text{ Nm} \quad (6.29)$$

kde:

K_{VO} [N] zatížení způsobené působením větru kolmo k podélné ose prvku

$$K_{VO} = \varepsilon_S \cdot q(3) \cdot c_{IPE} \cdot A_{IPE} = 0,7 \cdot 250 \cdot 2 \cdot 1,485$$

$$K_{VO} = 520 \text{ N} \quad (6.30)$$

- **Celkový dynamický moment**

$$M_{KDYN} = M_{KDYN1} + M_{KDYN2} = 309 + 1066$$

$$M_{KDYN} = 1375 \text{ Nm} \quad (6.31)$$

6.5.2 STATICKÉ ÚČINKY

Nejvýraznější účinek je v bodě B, kde se odvalují ložiska po kruhovém prstenci okolo sloupu. Ostatní účinky jsou zanedbatelné.

- **Valivý odpor**

$$M_{KSTAT} = 2 \cdot F_{BX1} \cdot e = 2 \cdot 27370 \cdot 0,0005$$

$$M_{KSTAT} = 27 \text{ Nm} \quad (6.32)$$

kde:

e [mm] součinitel valivého tření ocel - ocel

Hodnota 2 vyjadřuje počet stykových ploch (počet kol).

- **Moment potřebný k rozběhu otočného mechanismu**

$$M_{KC} = M_{KSTAT} + M_{KDYN} = 27 + 1375 \quad (6.33)$$

$$M_{KC} = 1412 \text{ Nm}$$



- **Otočný mechanismus**

Šneková převodovka s čelním předstupněm SK33100-71L/4 [11]

Parametry:

Výstupní otáčky $n_{výst} = 2,1 \text{ min}^{-1}$

Výstupní výkon $P_{výst} = 0,37 \text{ kW}$

Výstupní kroutící moment $M_{výst}' = 858 \text{ Nm}$

Výstupní kroutící moment pro pohon otočného mechanismu

$$M_{výst} = M_{výst}' \cdot i_m = 858 \cdot 2 \quad (6.34)$$

$$M_{výst} = 1716 \text{ Nm}$$

kde:

 i_m [-] převodový poměr mezi pastorkem a ozubeným věncem umístěným na sloupu

- **Podmínka rozběhu otočného mechanismu**

$$M_{výst} \geq M_{KC} \quad (6.35)$$

$$1716 \text{ Nm} \geq 1412 \text{ Nm}$$

Navržený pohon otočného mechanismu vyhovuje.



ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo vytvořit koncept sloupového jeřábu pro manipulaci s loděmi. Navržené zařízení vyhovuje platným normám, které nabyly účinnosti po zrušení normy pro navrhování ocelových konstrukcí jeřábů ČSN 27 0103:1990. Výstup aktuálních norem je podobný, nicméně jejich rozložením do více samostatných celků se orientace v nich značně znehlednila.

1. Kritická rešerše existujících řešení

V kapitole 2 této práce byly vyčteny různé druhy sloupových jeřábů, jejich možnosti či příklady použití. Ze zadání neplynuly žádné zásadní požadavky na výběr zvoleného řešení. S nosností 1000 kg a zdvihem 6000 mm od hladiny lze prakticky využít jakýkoliv ze znázorněných typů. Hlavním hlediskem výběru byla konstrukční jednoduchost a praktičnost použití pro zvolené umístění jeřábu. Bylo voleno mezi jeřábem s neotočným sloupem s šikmým nebo vodorovným výložníkem, kde se jako vhodnější varianta projevil jeřáb s vodorovným výložníkem.

2. Koncepce navrženého řešení

Jeřáb s neotočným sloupem kotvený na betonovém molu. Sloup je tvořen trubkovým profilem rozměru 323,9 mm x 20 mm, výložník s rozsahem 360° otáčení je vyroben z profilu IPE 330, podpora výložníku je skříňový nosník svařený ze soustavy plechů tl. 10 mm. Dodavatelem ocelových profilů je firma Feron a.s.

3. Návrh jednotlivých komponent

Všechny součásti umožňující pohyb jeřábu jsou poháněny elektrickou energií. Zdvih zajišťuje kladkostroj firmy ABUS s pojezdem, který se pohybuje po spodní přírubě IPE profilu. Tento pojezd je omezen koncovými dorazy. Otočný pohyb zajišťuje šneková převodovka s čelním předstupněm. Jak bylo zmíněno, jeřáb je schopen se otáčet o 360°, převod elektrické energie pro kladkostroj zde zajišťuje kroužkový sběrač.

4. Pevnostní výpočet a funkční výpočet celého zařízení.

Iteračním výpočtem byly zjištěny předběžně zvolené části ocelové konstrukce, které byly následně kontrolovány pevnostními výpočty. Vstupní zatěžující hodnoty byly navýšeny o součinitele bezpečnosti, které odpovídali nejnevhodnější kombinaci zatížení jaká může nastat. Následně byla provedena kontrola vzpěrné stability sloupu, přetvoření konstrukce a kontrola únavové pevnosti sestavy. Dalšími výpočty se zabývá kapitola 6.

5. Výkresová dokumentace

Byl zpracován výkres sestavení, výkres svarku sloupu a výkres svarku výložníku.



POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] LEINVEBER, Jan; ŘASA, Jaroslav; VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky*. Praha: SCIENTIA, 1998. 911 s. ISBN 80-7183-123-9.
- [2] FLORIAN, Zdeněk; ONDRÁČEK, Emanuel; PŘIKRYL, Karel; *Mechanika těles - Statika*. Vyd. 2. Brno: Nakladatelství CERM, 2007. 182 s. ISBN 978-80-214-3440-0.
- [3] SHIGLEY, Joseph E.; MISCHKE, Charles R.; BURYNAS, Richard G. *Konstruování strojních součástí*. Vyd. 1. Brno: Nakladatelství VUTIUM, 2010. 1159 s. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [4] MALÁŠEK, Jiří. *Dopravní a manipulační zařízení - skripta*. Brno: VUT - Fakulta strojního inženýrství, 2010.
- [5] ČSN EN 14985. *Jeřáby - Otočné výložníkové jeřáby*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [6] ČSN EN 13001-1+A1. *Jeřáby -Návrh všeobecně: Část 1: Základní principy a požadavky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [7] ČSN EN 13001-2. *Jeřáby - Návrh všeobecně: Část 2: Účinky zatížení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [8] ČSN EN 13001-3-1. *Jeřáby -Návrh všeobecně: Část 3-1: Mezní stavy a prokázání způsobilosti ocelových konstrukcí*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [9] ČSN EN 1991-3. *Eurokód 1:Zatížení konstrukcí - Část 3: Zatížení od jeřábů a strojního vybavení*. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [10] CONDUCTIX; Katalog sortimentu [online]. [cit. 2014-04-05].
Dostupné z: http://www.conductix.de/sites/default/files/downloads/TDB0170-0001-D_Anschlagpuffer.pdf
- [11] NORD; Katalog sortimentu [online]. [cit. 2014-03-26].
Dostupné z: https://www.nord.com/cms/media/documents/bw/G1000_CZ_1810.pdf
- [12] ITECO; Katalog sortimentu ABUS [online]. [cit. 2014-02-25].
Dostupné z: <http://www.iteco.cz/files/ckeditor/Soubory/vyrobní-program-abus.pdf>
- [13] Feron; Katalog sortimentu [online]. [cit. 2014-03-28].
Dostupné z: <http://www.ferona.cz/cze/katalog/detail.php?id=23722>
- [14] Feron; Katalog sortimentu [online]. [cit. 2014-03-28].
Dostupné z: <http://www.ferona.cz/cze/katalog/detail.php?id=30393>
- [15] SKF [online]. 2014 [cit. 2014-03-25].
Dostupné z: <http://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/roller-bearings/spherical-roller-bearings/cylindrical-and-tapered-bore/index.html?prodid=1550264015&imperial=false>



- [16] *SKF* [online]. 2014 [cit. 2014-03-25].
Dostupné z: <http://secure.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/single-row/index.html?prodid=1050270014&imperial=false>
- [17] *Hutní montáže* [online]. [cit. 2014-04-20].
Dostupné z: <http://www.hutni-montaze.cz/default/file/download/id/2370/inline/1>
- [18] *Modular cranes* [online]. 2010 [cit. 2014-04-04].
Dostupné z: <http://www.modularcranes.com.au/jib-cranes>
- [19] *Trademark hoist* [online]. 2008 [cit. 2014-04-04].
Dostupné z: <http://www.trademark-hoist.com>
- [20] *Cargotec* [online]. [cit. 2014-04-20].
Dostupné z: <http://www.cargotec.com>
- [21] *Tedox* [online]. [cit. 2014-04-28].
Dostupné z: <http://www.tedox.cz/jt-stavitelne>



SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

a	[mm]	výška sloupu
a ₁	[mm]	vzdálenost vrcholu sloupu ke středu opěrného kroužku
A _{IPE}	[mm ²]	plocha výložníku ve směru působení větru
A _P	[mm ²]	plocha podpěry ve směru působení větru
a _p	[ms ⁻²]	maximální zrychlení pohonu pojezdu
A _{SL}	[mm ²]	plocha sloupu ve směru působení větru
A _š	[mm ²]	průměr jádra tyče
b	[mm]	vzdálenost polohy kladkostroje od osy sloupu
b ₁	[mm]	vzdálenost přesazení k ose sloupu
b ₂	[mm]	poloměr opěrného kroužku
b ₃	[mm]	vzdálenost osy kladkostroje při max. vyložení ke konci ramene
B _B	[mm]	šířka kuličkového ložiska
B _C	[mm]	šířka soudečkového ložiska
b _{IPE}	[mm]	šířka příruby IPE profilu
b _{P1}	[mm]	šířka plechu podpory
b _{P2}	[mm]	šířka plechu podpory
C	[-]	celkový počet pracovních cyklů
C _{OB}	[N]	statická únosnostkuličkového ložiska
C _{OBD}	[N]	dovolená statická únosnostkuličkového ložiska
C _{OC}	[N]	statická únosnost soudečkového ložiska
C _{OCD}	[N]	dovolená statická únosnost soudečkového ložiska
c _{IPE}	[-]	aerodynamický součinitel pro výložník ve směru rychlosti větru
c _P	[-]	aerodynamický součinitel pro podpěru ve směru rychlosti větru
c _{SL}	[-]	aerodynamický součinitel pro sloup ve směru rychlosti větru
D _B	[mm]	vnější průměrkuličkového ložiska
d _B	[mm]	vnitřní průměrkuličkového ložiska
D _C	[mm]	vnější průměr soudečkového ložiska
d _C	[mm]	vnitřní průměr soudečkového ložiska
D _{SL}	[mm]	vnější průměr sloupu
d _{SL}	[mm]	vnitřní průměr sloupu
e	[mm]	součinitel valivého tření ocel - ocel
e ₁	[mm]	vzdálenost těžiště svaru od nejbvzdálenější hrany podpory



E_k	[J]	nárazová energie
F	[N]	zatížení způsobené tíhou břemena
F'	[N]	zatížení způsobené tíhou břemena, navýšená dle kombinace A1
F_{AX}	[N]	reakční síla v místě A, ve směru osy X
F_{AY}	[N]	reakční síla v místě A, ve směru osy Y
F_{BX}	[N]	reakční síla v místě B, ve směru osy X
F_{BX1}	[mm]	radiální síla působící na jedno kuličkové ložisko
F_{CX}	[N]	reakční síla v místě C, ve směru osy X
F_{CY}	[N]	reakční síla v místě C, ve směru osy Y
F_{dyn}	[N]	dynamické zkušební zatížení
F_{IPE}	[N]	zatížení způsobené tíhou výložníku
F_{IPE}'	[N]	zatížení způsobené tíhou výložníku, navýšená dle kombinace A1
F_K	[N]	zatížení způsobené tíhou kladkostroje s pojezdem
F_K'	[N]	zatížení způsobené tíhou kladkostroje s pojezdem, navýšená dle kombinace A1
F_O	[N]	zatížení způsobené tíhou otočného ústrojí a ostatních nezahrnutých prvků
F_P	[N]	zatížení způsobené tíhou podpory
F_P'	[N]	zatížení způsobené tíhou podpory, navýšená dle kombinace A1
f_{rec}	[-]	součinitel závislý na době návratu
F_S	[N]	zatížení způsobené tíhou sloupu
F_{stat}	[N]	klikový poměr
F_{ξ}	[N]	osová síla v závitové tyči vyvolaná klopícím momentem
F_V	[N]	zatěžující síla pro výpočet zakřivení výložníku
$f_{w,Rd}$	[MPa]	únosnost svaru
f_y	[MPa]	nejmenší hodnota meze kluzu spojovaných prvků
F_Z	[N]	síla vyvolaná vychýlením lana
g	[ms ⁻²]	tíhové zrychlení
h_{IPE}	[mm]	výška IPE profilu
h_{P1}	[mm]	výška plechu podpory
h_{P2}	[mm]	výška plechu podpory
i	[-]	počet stupňů volnosti tělesa
I_{IPE}	[kg.m ²]	moment setrvačnosti výložníku
I_K	[kg.m ²]	moment setrvačnosti kladkostroje
i_m	[-]	převodový poměr mezi pastorkem a ozubeným věncem umístěným na sloupu



I_m	[kg.m ²]	moment setrvačnosti břemena na konci výložníku
I_P	[kg.m ²]	moment setrvačnosti podpory
I_{RED}	[kg.m ²]	redukovaný moment setrvačnosti
i_v	[-]	počet stupňů volnosti volného tělesa
i_v	[mm]	poloměr setrvačnosti průřezu
J_{IPE}	[mm ⁴]	moment setrvačnosti výložníku k ose ohybu y IPE profilu
J_{SL}	[mm ⁴]	moment setrvačnosti sloupu
J_{SVP}	[mm ⁴]	celkový osový kvadratický moment účinného průřezu svaru
J_{SVP}'	[mm ³]	jednotkový kvadratický moment účinného průřezu svaru
k	[-]	koeficient bezpečnosti pro ocelovou konstrukci
K_1	[N]	zatížení způsobená buzením částí jeřábu při zdvihání
K_2	[N]	zatížení způsobená hmotností břemena zdvihu
K_3	[N]	zatížení způsobená zrychlením pohonů
K_4	[N]	zatížení větrem za provozu
K_5	[N]	zatížení způsobené zdviháním volně ležícího břemena
K_6	[N]	zatížení způsobená větrem mimo provoz jeřáb
K_7	[N]	zatížení při zkouškách
K_8	[N]	nárazové zatížení
K_9	[N]	zatížení způsobené nouzovým zastavením
k_Q	[-]	součinitel spektra zatížení
K_{VO}	[N]	zatížení způsobené působením větru kolmo k podélné ose prvku
l_{red}	[mm]	redukovaná délka sloupu
l_s	[mm]	vzdálenost závitové tyče od hrany klopení
m	[kg]	hmotnost břemena
M_A	[N]	reakční moment v místě A
$M_{index,2}$	[N.mm]	ohybový moment v intervalu dle indexu, členu 2
$M_{index,3}$	[N.mm]	ohybový moment v intervalu dle indexu, členu 3
m_{IPE}	[kg]	hmotnost výložníku
m_K	[kg]	hmotnost kladkostroje s pojezdem
M_{KC}	[mm]	celkový moment potřebný k rozběhu otočného mechanismu
M_{KDYN}	[N.m]	celkový dynamický moment
M_{KDYN1}	[N.m]	dynamický moment k překonání dynamických odporů
M_{KDYN2}	[N.m]	dynamický moment vlivem větru za provozu



M_{KSTAT}	[N.m]	statický moment vyvolaný valivým odporem
m_P	[kg]	hmotnost podpěry
m_{SL}	[kg]	hmotnost sloupu
M_{STAB}	[N.mm]	moment potřebný pro stabilizaci klopícího momentu
M_V	[N.mm]	zatěžující moment pro výpočet zakřivení sloupu
$M_{výst}$	[N.m]	výstupní kroutící moment pro pohon otočného mechanismu
$M_{výst}'$	[N.m]	výstupní kroutící moment otočného mechanismu
M_Z	[Nmm]	moment vyvolaný na výložníku působením síly F_Z
$N_{index,2}$	[N]	normálová posouvající síla v intervalu dle indexu, členu 2
$N_{index,3}$	[N]	normálová posouvající síla v intervalu dle indexu, členu 3
$n_{výst}$	[mm]	výstupní otáčky pohonu otočného mechanismu
P_{ORB}	[N]	ekvivalentní statické zatížení kuličkového ložiska
P_{ORC}	[N]	ekvivalentní statické zatížení soudečkového ložiska
$P_{výst}$	[kW]	výstupní výkon pohonu otočného mechanismu
$q(3)$	[Nm ⁻²]	tlak větru pro obvyklý stupeň větru
$q(z)$	[Nm ⁻²]	tlak větru mimo provoz jeřábu
q_{IPE}'	[N.m ⁻¹]	spojité zatížení způsobené vlastní tíhou výložníku, navýšená dle kombinace A1
Re_{IPE}	[MPa]	mez kluzu sloupu IPE profilu
Re_P	[MPa]	mez kluzu podpory
Re_{SL}	[MPa]	mez kluzu sloupu
$Re_{eš}$	[MPa]	Smluvní mez kluzu závitové tyče
s_{0B}	[-]	bezpečnost při statickém zatížení kuličkového ložiska
s_{0C}	[-]	bezpečnost při statickém zatížení soudečkového ložiska
s_{IPE}	[mm]	tloušťka stojny IPE profilu
S_{SL}	[mm ²]	plocha průřezu sloupu
$S_{SVČ}$	[mm ²]	plocha účinného průřezu svaru čepu
S_{SVP}	[mm ²]	plocha účinného průřezu svaru podpěry
$T_{index,2}$	[N]	tečná posouvající síla v intervalu dle indexu, členu 2
$T_{index,3}$	[N]	tečná posouvající síla v intervalu dle indexu, členu 3
t_{IPE}	[mm]	tloušťka příruby IPE profilu
t_{SL}	[mm]	tloušťka stěny
$v(z)$	[ms ⁻¹]	ekvivalentní statická rychlost větru mimo provoz
v_h	[ms ⁻¹]	rychlost zdvihu pro příslušnou třídu typu pohonu HD1



v_{pmax}	$[ms^{-1}]$	maximální rychlost pohonu pojezdu
v_{pmin}	$[ms^{-1}]$	minimální rychlost pojezdu
v_{ref}	$[ms^{-1}]$	referenční rychlost bouřlivého větru
W_{OP}	$[mm^3]$	průřezový modul podpory k ose ohybu x
W_{OSL}	$[mm^3]$	průřezový modul k libovolné ose ohybu sloupu
W_{OYIPE}	$[mm^3]$	průřezový modul IPE profilu k ose ohybu y
W_{OZIPE}	$[mm^3]$	průřezový modul IPE profilu k ose ohybu z
X_0	$[-]$	výpočtový součinitel pro kuličkové ložisko
X_{ang}	$[^\circ]$	klasifikace mechanismu otáčení
X_{iin}	$[m]$	klasifikace mechanismu zdvihu
Y_0	$[-]$	výpočtový součinitel pro soudečkové ložisko
y_C	$[mm]$	celkový průhyb
y_{IPE}	$[mm]$	průhyb výložníku
y_{IPEd}	$[mm]$	přijatelná imperfekce výložníku
y_{SL}	$[mm]$	průhyb sloupu
y_{SLD}	$[mm]$	přijatelná imperfekce sloupu
z	$[m]$	výška nad úrovní terénu
z_p	$[mm]$	tloušťka svaru
α_{IPE}	$[^\circ]$	úhel natočení výložníku
α_{IPEd}	$[^\circ]$	přijatelný úhel natočení výložníku
α_{SL}	$[^\circ]$	úhel natočení sloupu
α_{SLD}	$[^\circ]$	přijatelný úhel natočení sloupu
α_w	$[-]$	součinitel únosnosti svaru
β_2	$[-]$	výraz používaný pro výpočet ϕ_2 pro příslušnou zdvihovou třídu HC2
γ_m	$[-]$	obecný součinitel spolehlivosti
γ_P	$[-]$	dílčí součinitel bezpečnosti
δ	$[-]$	určená hodnota závislá na konstrukci jeřábu
η	$[-]$	počet omezujících, deformačních parametrů tělesa
θ_F	$[-]$	počet použitelných podmínek silových
θ_M	$[-]$	počet použitelných podmínek momentových
λ	$[-]$	štíhlost prutu
μ_F	$[-]$	množina neznámých parametrů silových
μ_M	$[-]$	množina neznámých parametrů momentových



μ_r	[-]	množina neznámých parametrů polohových
μ_s	[-]	hodnota zatěžovacího stavu
ξ_A	[-]	počet stupňů volnosti odebraných vetknutou vazbou
ξ_B	[-]	počet stupňů volnosti odebraných podporou
ξ_C	[-]	počet stupňů volnosti odebraných rotační vazbou
π	[-]	číslo pí
σ_{DSL}	[MPa]	dovolené tlakové napětí sloupu
σ_{KR}	[MPa]	kritické napětí dle Eulera
σ_{OC}	[MPa]	hodnota únavové pevnosti
σ_t	[MPa]	napětí vyvolané osovou silou F_s
σ_V	[MPa]	celkové napětí působící na výložník
σ_{Y-Y}	[MPa]	napětí v ohybu osy Y
σ_{Z-Z}	[MPa]	napětí v ohybu osy Z
τ_C	[MPa]	smykové napětí působící v místě čepu na svar od posouvajících sil
τ_P	[MPa]	celkové smykové napětí působící v místě podpory na svar od posouvajících sil
τ_P'	[MPa]	smykové napětí působící v místě podpory na svar od posouvajících sil
τ_P''	[MPa]	smykové napětí působící v místě podpory na svar od momentů
ϕ_1	[-]	dynamický souč. zdvihání a pro účinky tíhy, které působí na hmotnost jeřábu
ϕ_2	[-]	dynamický souč. pro účinky setrvačnosti a tíhy při zdvihání ležícího břemena
ϕ_{2min}	[-]	výraz používaný pro výpočet ϕ_2 pro příslušnou zdvihovou třídu HC2
ϕ_5	[-]	dynamický souč. pro zatížení způsobená akcelerací pohonu jeřábu
ϕ_{6D}	[-]	dynamický souč. zkušebního břemena
ϕ_{6S}	[-]	statický souč. zkušebního břemena
ϕ_7	[-]	dynamický souč. pro zatížení při nárazu na nárazníky



SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Nástěnný jeřáb [18]	12
Obr. 2 Derikový jeřáb [17]	13
Obr. 3 Jeřáb se sklápěcím výložníkem [20].....	13
Obr. 5 Sloupový jeřáb se šikmým výložníkem [20].....	14
Obr. 4 Sloupový jeřáb s vodorovným výložníkem [19]	14
Obr. 6 Rozbor konstrukce jeřábu.....	16
Obr. 7 Kladkostroj ABUS [12].....	17
Obr. 8 Pojezdové ústrojí [12]	18
Obr. 9 Pohon otočného ústrojí [11]	18
Obr. 10 Mini-RC ovládání [12]	19
Obr. 11 Stavitelná jeřábová traverza [21].....	19
Obr. 12 Profil sloupu	27
Obr. 13 Profil výložníku.....	28
Obr. 14 Podpora výložníku.....	28
Obr. 15 Uvolnění členu 2 a 3.....	30
Obr. 16 Výsledné vnitřní účinky členu 2.....	32
Obr. 17 Výsledné vnitřní účinky členu 3.....	35
Obr. 18 Ekvivalence přetvoření.....	37
Obr. 19 Návrh kotvení.....	43
Obr. 20 Působení sil na opěrném kroužku.....	45



SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Parametry sloupu [13]	27
Tab. 2 Profil výložníku [14]	27
Tab. 3 Profil podpory	28
Tab. 4 Kontrola navržených profilů	36



SEZNAM PŘÍLOH

- **Přílohy**

Příloha A - Tabulka zatížení, kombinace zatížení a dílčí součinitele bezpečnosti

Příloha A - Tabulka dynamických součinitelů

Příloha B - Tabulka pro prokázání stability tuhého tělesa

- **Výkresová dokumentace**

1-3K2-BP-00 Sloupový jeřáb 1t

1-3K2-BP-01 Svarek sloupu

1-3K2-BP-02 Svarek výložníku



Tabulka zatížení, kombinace zatížení a dílčí součinitele bezpečnosti - obecná

Kategorie zatížení	Zatížení		Kapitola	Označení	Kombinace zatížení A				Kombinace zatížení B				Kombinace zatížení C						
					γ_p	A1	A2	A3	γ_p	B1	B2	B3	γ_p	C1	C2	C3	C4	C6	
					Pravidelná	Gravitační zrychl., nárazy	Hmotnost jeřábu		4.4.1	K ₁	1,22	ϕ_1	ϕ_1	1	1,16	ϕ_1	ϕ_1	1	1,1
Hmotnost břemena zdvihu		4.4.2	K ₂	1,34			ϕ_2	ϕ_3	1	1,22	ϕ_2	ϕ_3	1	1,1	-	η_w	-	1	1
Zrychl. od pohonů	Hmot. jeřábu a břemena zdvihu	Pohon zdvihu zahrnut	4.4.3	K ₃		1,34	-	-	ϕ_5	1,34	-	-	ϕ_5	1,1	-	-	-	-	-
Občasná	Účinky prostředí	Zatížení větrem za provozu		4.4.4	K ₄	-	-	-	-	1,22	1	1	1	1,16	-	-	1	-	-
Výjimečná	Zdvhání ležícího břemena		4.4.5	K ₅	-	-	-	-	-	-	-	-	1,1	ϕ_2	-	-	-	-	
	Zatížení větrem mimo provoz		4.4.6	K ₆	-	-	-	-	-	-	-	-	1,16	-	1	-	-	-	
	Zatížení při zkouškách		4.4.7	K ₇	-	-	-	-	-	-	-	-	1,1	-	-	ϕ_6	-	-	
	Síly na nárazníky		4.4.8	K ₈	-	-	-	-	-	-	-	-	1,1	-	-	-	ϕ_7	-	
	Nouzové zastavení		4.4.9	K ₉	-	-	-	-	-	-	-	-	1,1	-	-	-	-	ϕ_5	

Tabulka dynamických součinitelů

Dynamický součinitel	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_5	ϕ_6	ϕ_7
Hodnota [-]	1,05	1,13	1,3	1	1,6



Tabulka zatížení, kombinace zatížení a dílčí součinitele bezpečnosti - po dosazení

Kategorie zatížení	Zatížení		Hodnota [N]	Označení	Kombinace zatížení A [N]			Kombinace zatížení B [N]			Kombinace zatížení C [N]				
					A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3	C4	C6
Pravidelná	Gravitační zrychl., nárazy	Hmotnost jeřábu	3575	K ₁	4580	4580	4362	4354	4354	4147	4129,1	3933	4129,1	3933	3933
		Hmotnost břemena zdvihu	9810	K ₂	14854	-	13145	13524	-	11968	-	-	-	10791	10791
	Zrychl. od pohonů	Hmot. jeřábu a břemena zdvihu	Pohon zdvihu zahrnut	357	K ₃	-	-	622	-	-	622	-	-	-	-
Občasná	Účinky prostředí	Zatížení větrem za provozu	1287	K ₄	-	-	-	1570	1570	1570	-	-	1493	-	-
Výjimečná	Zdvihání ležícího břemena		9810	K ₅	-	-	-	-	-	-	12194	-	-	-	-
	Zatížení větrem mimo provoz		3040	K ₆	-	-	-	-	-	-	-	3040	-	-	-
	Zatížení při zkuškách		12262	K ₇	-	-	-	-	-	-	-	-	12262	-	-
	Síly na nárazníky		1400	K ₈	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2464	-
	Nouzové zastavení		357	K ₉	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	511
Suma svislých sil [N]					19434	4580	18129	17878	4354	16737	16323	3933	16391	14724	14724
Suma vodorovných sil [N]								1570	1570	1570	-	3040	1493	2464	511



Tabulka pro prokázání stability tuhého tělesa - obecná, po dosazení

Kategorie zatížení	Zatížení		Kapitola	Označení	Kombinace zatížení [N]						
					A1	A2	B1	C2	C3	C4	C6
Pravidelná	Gravitační zrych., nárazy	Hmotnost jeřábu	4.4.1	K ₁	1,1	1,1	1,1	1	1	1	1
		Hmotnost břemena zdvihu	4.4.2	K ₂	1,34	1	1,22	1	-	1	1,1
	Zrychl. od pohonů	Hmot. jeřábu a břemena zdvihu	4.4.3	K ₃	1,34	1,34	1,22	-	1,1	-	-
Občasná	Účinky prostředí	Zatížení větrem za provozu	4.4.4	K ₄	-	-	1,22	-	1	-	-
Výjimečná	Zatížení větrem mimo provoz		4.4.6	K ₆	-	-	-	1,16	-	-	-
	Zatížení při zkuškách		4.4.7	K ₇	-	-	-	-	1,16	-	-
	Síly na nárazníky		4.4.8	K ₈	-	-	-	-	-	1,1	-
	Nouzové zastavení		4.4.9	K ₉	-	-	-	-	-	-	1,1
Kategorie zatížení	Zatížení		Hodnota [N]	Označení	Kombinace zatížení [N]						
					A1	A2	B1	C2	C3	C4	C6
Pravidelná	Gravitační zrych., nárazy	Hmotnost jeřábu	3575	K ₁	3933	3933	3933	3575	3575	3575	3575
		Hmotnost břemena zdvihu	9810	K ₂	13145	9810	11968	9810	-	9810	10791
	Zrychl. od pohonů	Hmot. jeřábu a břemena zdvihu	357	K ₃	478	478	436	-	393	-	-
Občasná	Účinky prostředí	Zatížení větrem za provozu	1287	K ₄	-	-	1570	-	1287	-	-
Výjimečná	Zatížení větrem mimo provoz		3040	K ₆	-	-	-	3526	-	-	-
	Zatížení při zkuškách		12262	K ₇	-	-	-	-	14224	-	-
	Síly na nárazníky		1400	K ₈	-	-	-	-	-	1540	-
	Nouzové zastavení		357	K ₉	-	-	-	-	-	-	393
Suma svislých sil [N]					17556	14221	16336	13385	18192	13385	14759
Suma vodorovných sil [N]					-	-	1570	3526	1287	1540	-