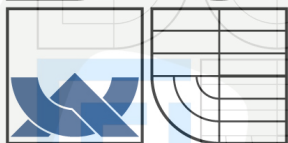




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



TECHNICKÉ
V BRNĚ



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ



FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

KONCEPČNÍ NÁVRH VĚŽOVÉHO JEŘÁBU 8 TUN

CONCEPTUAL DESIGN OF TOWER CRANE 8 TONNE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

ROBERT HONC

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MARTIN KUBÍN

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Robert Honc

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:

Koncepční návrh věžového jeřábu 8 tun

v anglickém jazyce:

Conceptual design of tower crane 8 tonne

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem bakalářské práce je koncepční návrh věžového jeřábu.

Cíle bakalářské práce:

Cíle bakalářské práce:

Proveďte koncepční návrh věžového jeřábu. Navrhněte jeho hlavní parametry (dosah, výška zdvihu,...).

Základní technické parametry:

- maximální nosnost ... 8000 kg

Vypracujte:

- technickou zprávu
- výkres koncepčního návrhu
- dále dle pokynů vedoucího BP

Seznam odborné literatury:

- [1] MYNÁŘ, B., KAŠPÁREK, J.: Dopravní a manipulační zařízení, Brno, Skriptum pro bakalářské studium
- [2] REMTA, F., KUPKA, L.: Jeřáby, I.-III. díl, SNTL, Praha 1961



Vedoucí bakalářské práce: Ing. Martin Kubín

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 20.11.2009

L.S.

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

LICENČNÍ SMLOUVA POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřena mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Robert Honc

Bytem: Ondráčkova 155, Brno

Narozen/a (datum a místo): 24.10.1987 v Brně

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta

se sídlem

jejíž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:

.....

(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- disertační práce
- diplomová práce
- bakalářská práce
- jiná práce, jejíž druh je specifikován jako

(dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP:

Vedoucí/ školitel VŠKP:

Ústav:

Datum obhajoby VŠKP:

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v*:

- tištěné formě — počet exemplářů
- elektronické formě — počet exemplářů

* hodící se zaškrtněte

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.



FAKULTA
STROJÍNSKÉHO
INŽENÝRSTVÍ
A DESIGNU

Článek 2 Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ihned po uzavření této smlouvy
 - 1 rok po uzavření této smlouvy
 - 3 roky po uzavření této smlouvy
 - 5 let po uzavření této smlouvy
 - 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3 Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne:

.....
Nabyvatel

.....
Autor

Anotace

Bakalářská práce se zabývá koncepčním návrhem stavebního věžového jeřábu o nosnosti 8 [t] a návrhem jeho základních parametrů. Práce obsahuje návrh základních parametrů jeřábu, koncepční návrh jeřábu, výpočet nosnosti jeřábu v závislosti na délce vyložení, vykreslení této závislosti a výkres jeřábu.

Klíčová slova

jeřáb, věžový jeřáb, parametry jeřábu, koncepce jeřábu, nosnost

Anotation

The Bachelor thesis deals with conceptual design of tower crane with lifting capacity 8 [t] and with design of its basic parametr. Thesis includes design of the basic parametr of the crane, conceptual design of the crane, crane lifting capacity calculations depending on the lenght of radius, plotting this dependence and drawing of crane.

Keywords

crane, tower crane, parametr of the crane, conception of the crane, lifting capacity



VYSOKÉ
UCENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

FAKULTA
STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

Bibliografická citace

HONC, R. *Koncepční návrh věžového jeřábu 8 tun*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 24 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Martin Kubín.



VYSOKÉ
UCENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

FAKULTA
STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, za pomoci konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a s použitím uvedené literatury.

V Brně, dne:

.....

Robert Honc

Poděkování

Poděkování patří vedoucímu mé práce Ing. Martinu Kubínovi za věcné rady, připomínky a konstruktivní kritiku při tvorbě této bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval svému nejbližšímu okolí za podporu ve studiu.



VYSOKÉ
UCENÍ

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ



VYSOKÉ
UCENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

FSI
FAKULTA
STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

© Robert Honc, 2010.

Tato práce byla vytvořena jako školní dílo na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě strojního inženýrství. Práce je chráněna autorským zákonem a její užití bez udělení oprávnění autorem je v rozporu se zákonem, vyjma zákonem definovaných případů.

Obsah

1	Úvod	- 3 -
2	Požadavky na stavební věžové jeřáby	- 3 -
3	Hlavní parametry stavebních věžových jeřábů	- 3 -
4	Volba věžového jeřábu a jeho základních parametrů	- 4 -
5	Volba koncepce stavebního věžového jeřábu	- 5 -
5.1	Podvozek jeřábu	- 5 -
5.2	Věž jeřábu	- 7 -
5.2.1	Sloupová konstrukce	- 7 -
5.2.2	Příhradová konstrukce	- 7 -
5.2.3	Šplhavá konstrukce	- 7 -
5.3	Umístění otoče jeřábu	- 7 -
5.3.1	Dolní otoč	- 7 -
5.3.2	Horní otoč	- 8 -
5.4	Umístění kabiny obsluhy	- 9 -
5.5	Závaží jeřábu	- 10 -
5.5.1	Kombinované závaží	- 10 -
5.5.2	Centrální závaží a protizávaží	- 11 -
5.6	Výložník	- 11 -
5.6.1	Kyvný výložník	- 11 -
5.6.2	Vodorovný výložník s taženou kočkou	- 12 -
5.6.3	"Flat-top" konstrukce	- 12 -
5.7	Konstrukce jeřábu	- 13 -
5.7.1	Profilová konstrukce	- 13 -
5.7.2	Skříňová konstrukce	- 13 -
5.7.3	Příhradová konstrukce	- 14 -
6	Závislost nosnosti na délce vyložení	- 14 -
6.1	Volba hmotnosti centrálního závaží, protizávaží a ocelové konstrukce	- 14 -
6.1.1	Věž, centrální závaží	- 14 -
6.1.2	Protivýložník, protizávaží, pohon kočky	- 15 -
6.1.3	Výložník	- 15 -
6.1.4	Kočka	- 16 -
6.2	Grafické určení vzdálenosti těžišť výložníku a protivýložníku od osy jeřábu	- 16 -
6.2.1	Těžiště protivýložníku	- 16 -
6.2.2	Těžiště výložníku	- 17 -
6.3	Přepočítání těžištních vzdáleností vůči klopící ose	- 17 -
6.3.1	Těžiště protivýložníku	- 18 -
6.3.2	Těžiště výložníku	- 18 -
6.3.3	Těžiště věže	- 18 -
6.4	Sestavení rovnice působících klopících a statických momentů	- 18 -

6.4.1	Klopící moment protivýložníku	- 18 -
6.4.2	Klopící moment výložníku	- 18 -
6.4.3	Statický moment věže	- 19 -
6.4.4	Klopící moment břemene	- 19 -
6.5	Výpočet délky vyložení při maximální nosnosti	- 19 -
6.6	Výpočet nosnosti při maximální délce vyložení	- 20 -
6.7	Vykreslení závislosti nosnosti na délce vyložení	- 20 -
7	Závěr	- 22 -
8	Seznam použitých zdrojů	- 22 -
9	Seznam použitých zkratk a symbolů	- 23 -
10	Seznam příloh	- 24 -

1 Úvod

Jeřáby jsou zařízení, která slouží pro svislou a vodorovnou manipulaci s materiálem. Uplatnění jeřábů najdeme v každém průmyslovém odvětví, se stavebními věžovými jeřáby se setkáme na stavbách.

Historie použití prvních jeřábů sahá až do doby před naším letopočtem, ovšem historie jeřábů takových, jaké známe v současnosti, se datuje od roku 1949, kdy Hans Liebherr představil první rychlemontovatelný stavební věžový jeřáb. Z této koncepce vycházejí současní výrobci jeřábů dodnes.

Při návrhu jeřábu se vychází se současného trendu, modulárního systému výroby. Jeřáb je v podstatě „stavebnice“, která se skládá z několika hlavních dílů (základ jeřábu, věž, kabina, výložník, protivýložník, atd.). To vede k možnosti použití stejného dílu u různých typů jeřábů. Návrh hlavních parametrů jeřábu závisí především na nosnosti jeřábu.

2 Požadavky na stavební věžové jeřáby

Na stavební věžové jeřáby je kladeno značné množství požadavků. Tři nejdůležitější požadavky jsou dle [4] tyto:

- Rychlá montáž a demontáž s minimálními nároky na pomocné prostředky
- Snadný transport
- Malá náročnost na jakost jeřábové dráhy (uvažujeme pouze tehdy, pokud navrhujeme pro jeřáb dráhu)

3 Hlavní parametry stavebních věžových jeřábů

Hlavní parametry stavebních věžových jeřábů jsou dle [7]:

- Jmenovité zatížení jeřábu - maximální nosnost jeřábu
- Vyložení jeřábového háku - vodorovná vzdálenost břemene od svislé osy věže
- Výška zdvihu háku - svislá vzdálenost polohy závěsného háku od roviny pojezdu
- Momenty nosnosti jeřábů
- Rychlost otáčení jeřábové věže
- Rychlost zdvihu břemene
- Rychlost pojezdu kladky po výložníku

4 Volba věžového jeřábu a jeho základních parametrů

Stavební věžové jeřáby se rozdělují podle základních technických veličin (nosnost, délka vyložení, výška zdvihu, apod.) dle [4] na:

- Lehké stavební věžové jeřáby – nosnost do 2 [t], vyložení do 16 [m] a zdvih do 20 [m], používané především při stavbách obytných domů
- Střední stavební věžové jeřáby – nosnost do 5 [t], vyložení do 25 [m] a zdvih do 40 [m], používané při stavbách vícepatrových budov
- Těžké stavební věžové jeřáby – nosnost do 50 [t], vyložení do 50 [m] a zdvih do 80 [m], používané při stavbách průmyslových objektů

Zadaný jeřáb s nosností 8 [t] spadá do kategorie těžkých stavebních věžových jeřábů, získané maximální hodnoty základních rozměrových údajů jsou: vyložení (50 [m]) a zdvih (80 [m]).

Vzhledem k tomu, že v návrhu je uvažován jeřáb s pevnou věží a otočným vodorovným výložníkem, uvedu rozdělení tohoto typu jeřábu, které je dle [2] následující:

Tab. 4.1.1: Rozdělení jeřábů s pevnou věží a otočným vodorovným výložníkem dle [2]

Parametry	1. skupina	2. skupina	3. skupina
Max. nosnost [t]	3 - 8	8 - 12	12 - 16
Min. vyložení [m]	2,1 - 3	2,1 - 3,1	2,7 - 3
Max. vyložení [m]	30 - 60	30 - 70	40 - 75
Nosnost při max. vyložení [t]	1,2 - 2	2 - 2,8	2,3 - 2,8
Výška zdvihu háku [m]	45 - 70	50 - 80	60 - 120
Rychlost otáčení věže [min^{-1}]	0,8	0,7	0,6
Rychlost pojezdu kočky [$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$]	60	60 - 90	60 - 90
Rychlost zdvihu břemene [$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$] při zatížení [t]	3 t - 50 5 t - 40 6 t - 30	4 t - 60 8 t - 30 12 t - 20	12 t - 30 16 t - 24 20 t - 20
Rychlost pojezdu jeřábu [$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$]	25	30	30

Pro zadaný jeřáb s nosností 8 [t] je zvolena 2. skupina => zvolené parametry:

Tab. 4.1.2: Zvolené parametry jeřábu

Jmenovité zatížení jeřábu	8 [t]
Vyložení jeřábového háku	50 [m]
Výška zdvihu háku	47 [m]
Momenty nosnosti jeřábů	viz. kapitola 5.4
Rychlost otáčení jeřábové věže	0,7 [min ⁻¹]
Rychlost zdvihu břemene	30 [m·min ⁻¹]
Rychlost pojezdu kladky po výložníku	max. 90 [m·min ⁻¹]

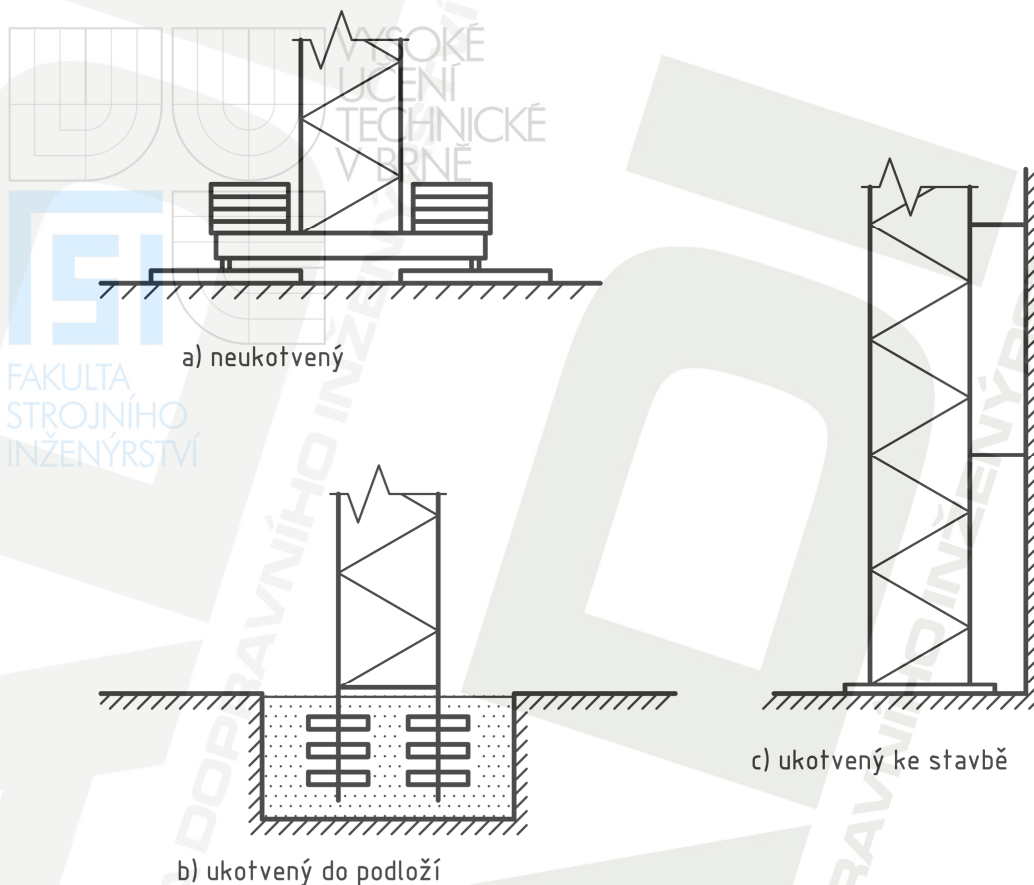
5 Volba koncepce stavebního věžového jeřábu

5.1 Podvozek jeřábu

Jeřábový podvozek se rozděluje na dvě základní skupiny: bez možnosti pojezdu (pevný) nebo s pojezdem. Tyto dvě skupiny můžeme dále rozdělit dle [6] takto:

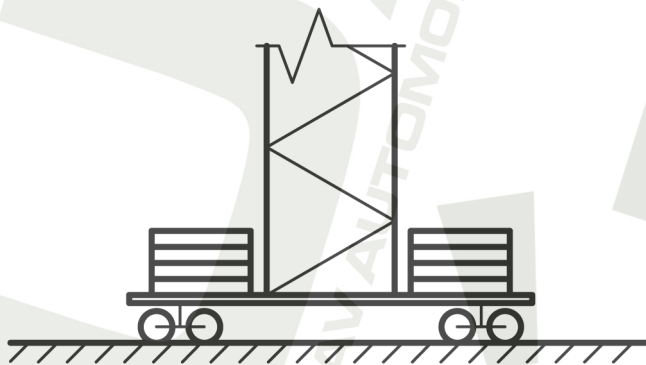
- Bez pojezdu
 - neukotvený
 - ukotvený (patkový)
 - do podloží
 - ke stavbě
- S pojezdem
 - po jeřábové dráze
 - kolový, pásový

Použitím neukotveného základu není jeřáb fixován do podloží, což má za následek nárůst hmotnosti centrální zátěže. Jeřáb je umístěn na vodorovné ocelové konstrukci. Jednoznačnou výhodou použití neukotveného základu je rychlá a snadná montáž jeřábu, velmi často se používá u jeřábů menších nosností a zdvihů, kde nedosahujeme příliš velkých klopných momentů. Ukotvením jeřábu lze získat větší zajištění jeřábu. Při použití ukotvení do podloží se na vhodném místě zalijí do základů stavby, případně do kotevního panelu, ocelové úchyty pro jeřáb. Na tyto úchyty se jeřáb připevní a po dokončení stavby se kotevní část stává součástí stavby. Kotvení ke stavbě spočívá v připevnění jeřábové věže ke stěně stavby, případně uvnitř výtahové šachty, je-li výtahová šachta k dispozici. Tento systém ukotvení je specifický pro šplhací jeřáby a často se vyskytuje u jeřábů s velkým zdvihem.



Obr. 5.1.1 Základ jeřábu bez pojezdu

Pojízdný podvozek se využívá v případech, kdy samotný jeřáb nepokryje celou pracovní plochu. Větší jeřáby pojíždí po speciální kolejnicové jeřábové dráze. Součástí stavebního plánu je pak i samostatný výkres jeřábové dráhy. U menších jeřábů lze využít i kolový pojezd, v terénu se používá pásový podvozek. Použitím podvozku bez pojezdu značně snížíme finanční náklady, pokud však jeřáb nepokryje celý pracovní prostor, není jiná možnost. Pokud se přikloníme k variantě bez pojezdu, záleží na dané situaci, zda se vyplatí patkové nebo bezpatkové ukotvení jeřábu. [2]



Obr. 5.1.2 Podvozek jeřábu s pojezdem

5.2 Věž jeřábu

Na výběr jsou tři možnosti konstrukčního provedení věže jeřábu: sloupová konstrukce, příhradová konstrukce a šplhavá konstrukce.

5.2.1 Sloupová konstrukce

Sloupová konstrukce je tvořena tenkostěnným ocelovým profilem, který má výhradně čtyřhranný průřez. Pokud požadujeme proměnnou výšku věže, tvoří věž dva teleskopicky zasouvatelné díly. Sloupová konstrukce se používá jen u malých jeřábů s nižší nosností.

[2] ROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

5.2.2 Příhradová konstrukce

Pro nosnost 8 [t] je mnohem praktičtější příhradová konstrukce (podrobněji rozebraná v kapitole 5.7). Výšku věže lze nastavovat vkládáním mezikusů. Pro dosažení lepší stability jeřábu bývá věž kotvena ke konstrukci stavby. [2]

5.2.3 Šplhavá konstrukce

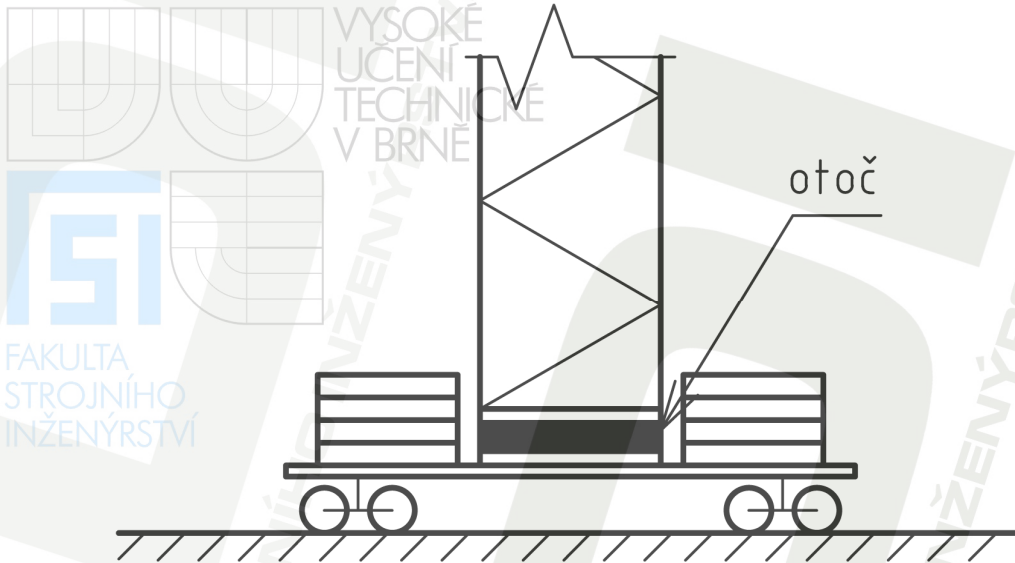
Třetí možností je šplhavá konstrukce, kde je výška věže jeřábu pevně dána a dle potřeby je mechanicky nebo hydraulicky zvedán celý jeřáb. Následně musí být věž kotvena ke konstrukci stavby. [2]

5.3 Umístění otoče jeřábu

Pro umístění otoče se v současnosti upřednostňují dvě konstrukční možnosti. Otáčí-li se věž s výložníkem, jedná se o konstrukci s dolní otočí. Pokud se otáčí pouze výložník, mluvíme o konstrukci s horní otočí.

5.3.1 Dolní otoč

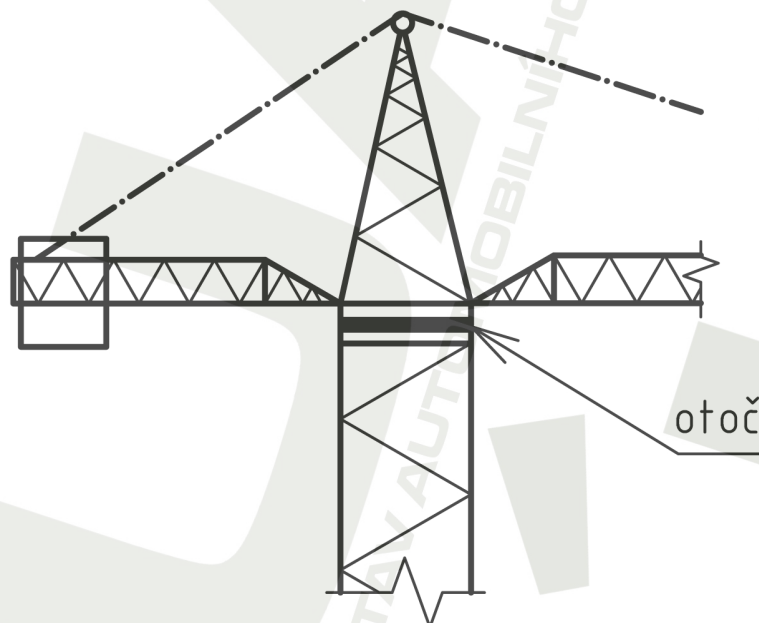
U této konstrukce je věž pevně neotočně spojena s výložníkem. Otočný mechanismus je umístěn mezi věží a podvozkem. U věžových stavebních jeřábů se toto konstrukční provedení příliš nepoužívá.



Obr. 5.3.1 Dolní otoč

5.3.2 Horní otoč

U konstrukce s horní otočí se otáčí pouze výložník, věž je pevně neotočně spojena s podvozkem. Otočný mechanismus je umístěn mezi věží a výložníkem. Konstrukce s horní otočí je u stavebních věžových jeřábů výhodnější, než konstrukce s dolní otočí. Hlavní výhodou je skutečnost, že otáčíme mnohem menší hmotnost, než při otáčení jeřábu s použitím konstrukce s dolní otočí (hmotnost výložníku oproti hmotnosti výložníku a věže). To má za následek snížení potřebného výkonu motoru použitého pro otáčení. Navíc při správném vyvážení výložníku nemá otáčení jeřábu podstatný vliv na zatížení věže. [4]



Obr. 5.3.2 Horní otoč

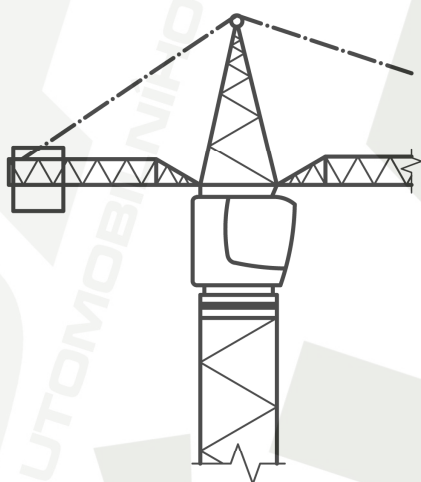
5.4 Umístění kabiny obsluhy

Kabina obsluhy musí být na jeřábu umístěna tak, aby měl jeřábník dobrý přehled pracovního prostoru. Ovládací prvky musí být snadno dostupné a přehledně rozmístěné. Požadavky na minimální rozměry a konstrukci kabiny jsou dle [3] následující: "Světlá výška kabiny musí být pro práci střídavě v sedě a ve stoje, nebo jen ve stoje, nejméně 2000 [mm]. Pro sedící obsluhu musí mít stanoviště výšku 1000 [mm] od dosedací plochy. Výplně stěn kabin musí být na stranách výhledu na pracovní prostor z průhledného bezpečnostního materiálu o nejmenší tloušťce 4 [mm]. V kabině musí být aspoň část oken otevíratelná."

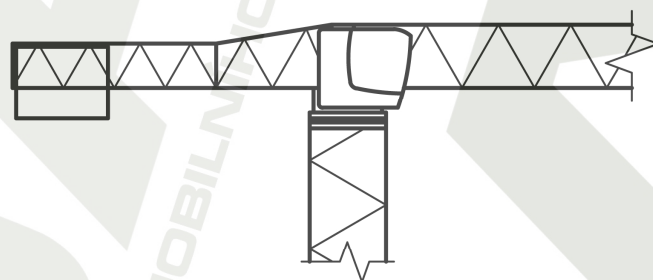
V současnosti se přední výrobci jeřábů snaží kabiny typizovat a tím snížit náklady i potřebný čas na jejich výrobu. Navíc při montáži následně stačí jediný systém uchycení, který bude nainstalován na každém jeřábu. Trendem je použití těchto způsobů umístění kabiny:

- kabina umístěná mezi výložníkem a (horní) otočí
- kabina umístěná na boku výložníku
- kabina umístěná na podvozku

Kabina umístěná mezi výložníkem a otočí, případně na boku výložníku, je typická pro koncepci jeřábu s horní otočí a vodorovným výložníkem. Obsluze poskytuje výborný přehled pracovního prostoru a vždy se natáčí s výložníkem.



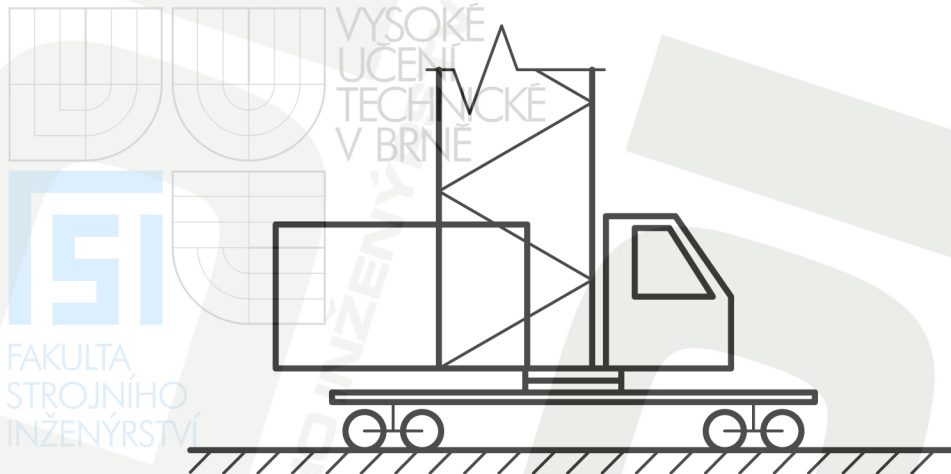
a) kabina umístěná mezi výložníkem a otočí



a) kabina umístěná na boku výložníku

Obr. 5.4.1 Kabina umístěná mezi výložníkem a otočí a umístěná na boku výložníku

S kabinou umístěnou na podvozku se setkáme spíše u starších jeřábů, převážně s dolní otočí a kyvným výložníkem. Kabina je umístěna nad dolní otočí, aby bylo zajištěné její natáčení při otáčení jeřábem. Ve většině případů navíc bývá doplněna kabinou umístěnou pod výložníkem pro lepší přehled pracovního prostoru. [3], [7]



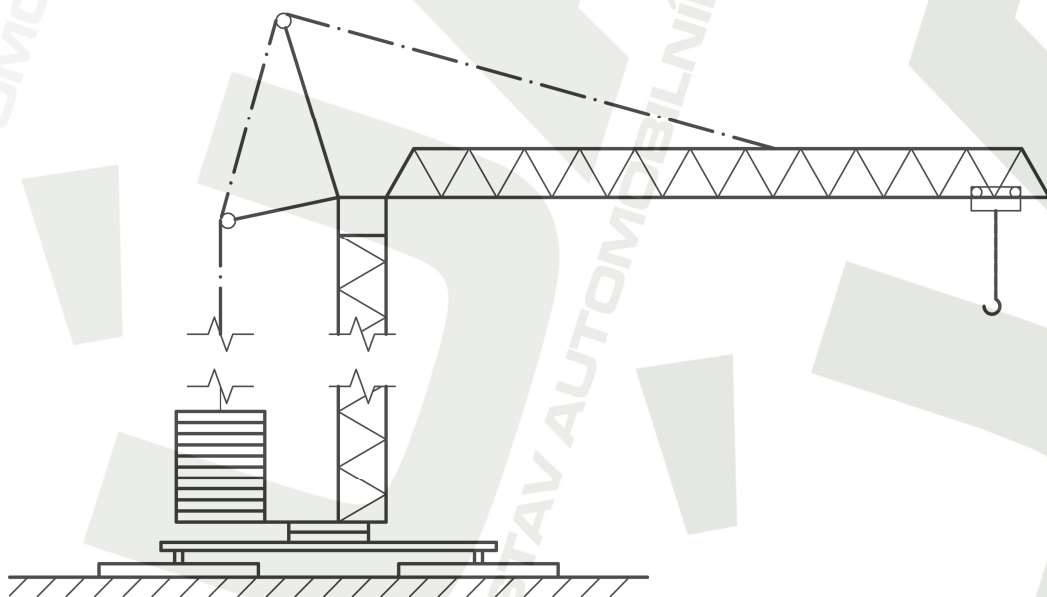
Obr. 5.4.2 Kabina umístěná na podvozku

5.5 Závaží jeřábu

Závaží jeřábu slouží k vyrovnání tíhy výložníku a břemene tak, aby nedošlo k překlopení jeřábu přes jeho přední hranu základu (podvozku). Závaží je tvořeno několika bloky, které jsou odlité z betonu. Potřebnou hmotnost získáme vhodným počtem těchto bloků. Rozdělení závaží na bloky navíc ulehčí transport na staveniště a následnou montáž na jeřáb.

5.5.1 Kombinované závaží

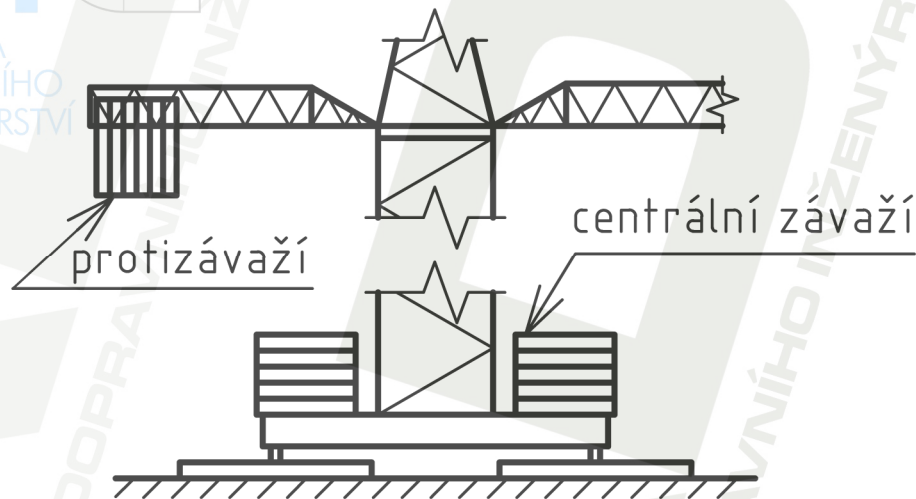
V minulosti bylo možné se setkat s variantou, kdy bylo závaží pouze jedno, umístěné u dolní otoče za kabinou. Tato varianta byla typická pro jeřáb s kyvným výložníkem a otočnou věží. V současnosti se používá u samovztyčitelných a rychlomontovatelných jeřábů.



Obr. 5.5.1 Kombinované závaží

5.5.2 Centrální závaží a protizávaží

Současní výrobci však preferují koncepci dvou závaží – protizávaží (umístěné na protivýložníku a centrální závaží (umístěné na podvozku). Centrální závaží může být "nahrazeno" ukotvením jeřábu do podloží nebo může být úplně vynecháno při použití šplhavé konstrukce věže. S touto variantou se nejčastěji setkáme s jeřábem s vodorovným výložníkem a pevnou věží, v současnosti se vyskytuje i u jeřábu s kyvným výložníkem.



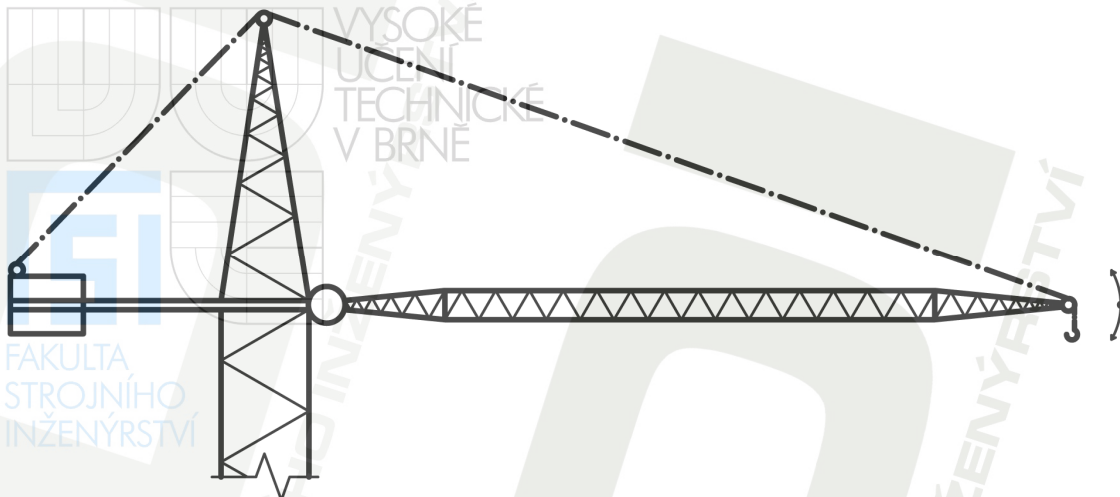
Obr. 5.5.2 Centrální závaží a protizávaží

5.6 Výložník

Výložník umožňuje vodorovný pohyb břemene a jeho délkou je dán poloměr oblouku maximálního pracovního prostoru. U stavebních věžových jeřábů se můžeme setkat se dvěma případy konstrukce: kyvným výložníkem a vodorovným výložníkem s taženou kočkou.

5.6.1 Kyvný výložník

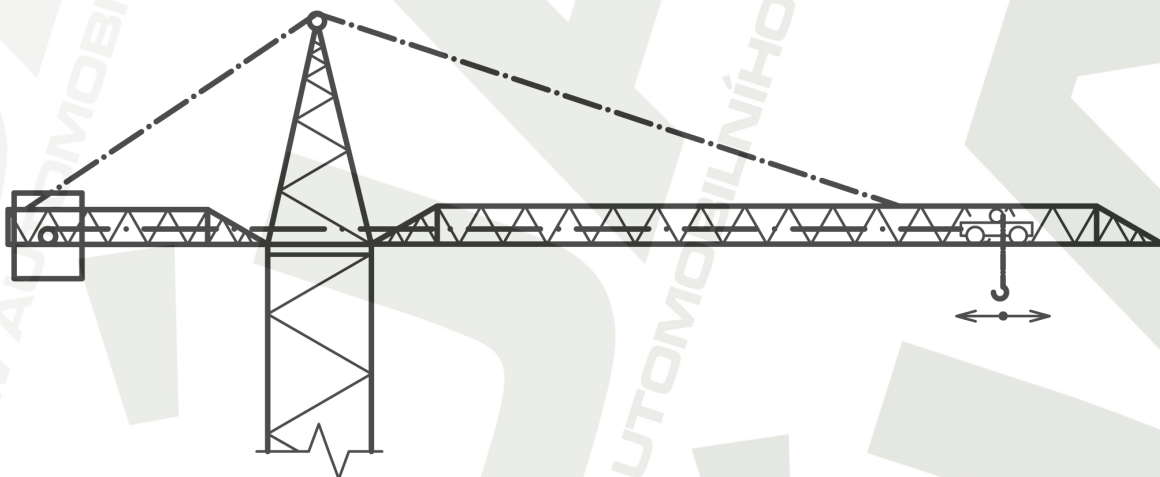
Kyvný výložník využijeme tehdy, potřebujeme-li zvedat velmi těžká břemena do velkých výšek. Výložník je uchycen v kloubech na vrcholu věže. Na konci výložníku je hák uchycen na kladce. Délku vyložení měníme poježděním jeřábu po jeřábové dráze, výšku zdvihu měníme změnou úhlu naklonění výložníku. Provoz je z těchto důvodů nákladnější než při použití vodorovného výložníku s taženou kočkou, protože s jeřábem musíme často pojezdět a pro vyložení potřebujeme výkonnější motor (kromě hmotnosti břemene zdvihá i hmotnost celého výložníku). [7]



Obr. 5.6.1 Kyvný výložník

5.6.2 Vodorovný výložník s taženou kočkou

Mnohem výhodnější je použití vodorovného výložníku s taženou kočkou. Kočka pojezdící po vlastní dráze umístěné na výložníku umožňuje vodorovné vyložení břemene. Hák je uchycen na laně, které je navinuto na lanový buben, který je umístěn na protivýložníku. Odvíjením či navíjením lana na buben měníme výšku zdvihu. Na opačné straně výložníku je umístěné protizávaží potřebné hmotnosti, které vyrovnává klopný moment způsobený břemenem a zabraňuje tak překlopení jeřábu. Kromě snížení potřebného výkonu motoru pro vyložení získáme i větší rozsah vyložení na celé délce výložníku. Oproti kyvnému výložníku je další výhodou zrychlení a zpřesnění pohybu břemene a celkově snadnější ovládání. [4], [7]

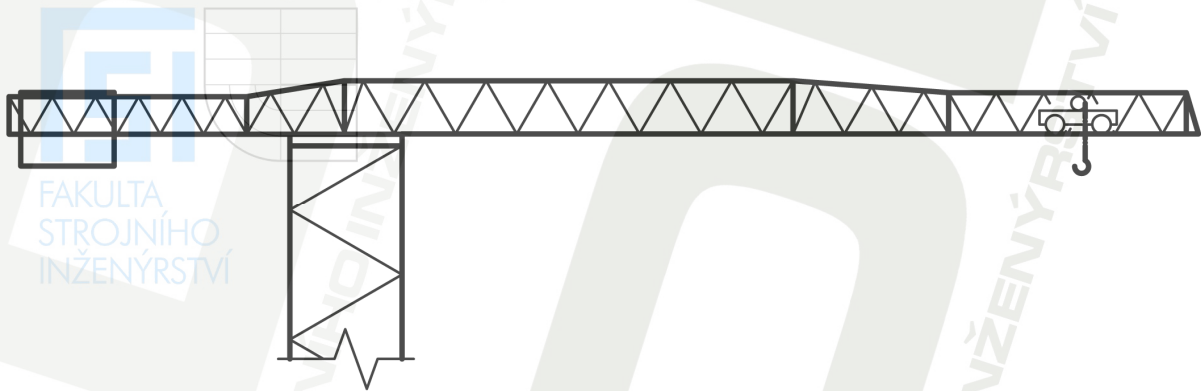


Obr. 5.6.2 Vodorovný výložník s taženou kočkou

5.6.3 "Flat-top" konstrukce

Současným trendem je tzv. "Flat-top" konstrukce vodorovného výložníku, představená firmou Liebherr, kdy se odstraní přečnívající hrot věže a lanové závěsy výložníku a

protizávaží. To má za následek částečné snížení hmotnosti výložníku, ale především usnadněnou montáž celého jeřábu na staveništi. Odstraněním hrotu věže se navíc sníží celková výška jeřábu, což je vhodné při použití v menších prostorech, nebo pokud je na staveništi použit i druhý jeřáb (vyšší) a jejich pracovní prostory se navzájem překrývají. [7]



Obr. 5.6.3 Vodorovný výložník "Flat-top"

5.7 Konstrukce jeřábu

Konstrukce jeřábu musí být odolná proti namáhání od zatížení, které je vyvolané tíhou celého jeřábu (nosná konstrukce, břemeno, kabina, atd.) a vedlejšími vlivy (rázy při provozu, vítr, atd.). Z toho vyplývají požadavky na nosné konstrukce jeřábů: konstrukce musí být především dostatečně tuhá, pevná, lehká, bezpečná, ale zároveň levná na výrobu a snadná na transport. Je zřejmé, že konstruktér nemůže zajistit všechny požadavky nejlepší, ale musí navrhnout vhodné řešení pro daný problém. [1]

5.7.1 Profilová konstrukce

Používají se převážně profily I, L a C. V místě svaření se musejí stýkat v oblasti neutrální osy. Jejich použití je především u jeřábů s menší nosností, jsou typické pro použití u sloupových jeřábů a často tvoří nosnou konstrukci menších portálových jeřábů. Pro stavební věžové jeřáby nejsou vhodné z důvodu malé tuhosti a pevnosti.



Obr. 5.7.1 Průřezy profilů I, L, C

5.7.2 Skříňová konstrukce

Skříňová konstrukce vzniká svařením několika jednoduchých profilů. Tuto konstrukci sice můžeme zatížit větším zatížením než konstrukci z profilů, u stavebních věžových jeřábů se však nepoužívá z důvodu velké hmotnosti a také proto, že vítr zabírá do celé plochy konstrukce. Výhodou je levnější výroba než u příhradové konstrukce.



Obr. 5.7.2 Průřez skříňové konstrukce

5.7.3 Příhradová konstrukce

V současnosti jednoznačně nepoužívanější konstrukce u stavebních věžových jeřábů. Vyniká vysokou pevností, tuhostí, nižší hmotností než skříňová konstrukce a lepší vlastnosti, pokud se do konstrukce "opře" vítr. Náklady na výrobu jsou však z uvedených možností nejvyšší.



Obr. 5.7.3 Příhradová konstrukce

6 Závislost nosnosti na délce vyložení

6.1 Volba hmotnosti centrálního závaží, protizávaží a ocelové konstrukce

6.1.1 Věž, centrální závaží

Hmotnost centrálního závaží zvolena $m_{centr} = 60000$ [kg].

Hmotnosti jednotlivých částí věže zvoleny dle [7]:

Tab. 6.1.1 Hmotnosti jednotlivých částí věže [7]

Hmotnost hrotu věže	$m_{hr} = 1470$ [kg]
Hmotnost kabiny (včetně otoče)	$m_{kab} = 6900$ [kg]
Hmotnost prvního dílu věže (1x)	$m_{vez1} = 3530$ [kg]
Hmotnost druhého dílu věže (12x)	$m_{vez2} = 1090$ [kg]

Celková hmotnost věže včetně centrálního závaží:

$$m_{vez} = m_{centr} + m_{hr} + m_{kab} + m_{vez1} + 12 \cdot m_{vez2} \quad (6.1)$$

$$m_{vez} = 60000 + 1470 + 6900 + 3530 + 12 \cdot 1090$$

$$m_{vez} = 84980 \text{ kg}$$

kde: m_{centr} ... hmotnost centrálního závaží ... [kg]

m_{hr} ... hmotnost hrotu věže ... [kg]

m_{kab} ... hmotnost kabiny ... [kg]

m_{vez1} ... hmotnost prvního dílu věže ... [kg]

m_{vez2} ... hmotnost druhého dílu věže ... [kg]

6.1.2 Protivýložník, protizávaží, pohon kočky

Hmotnosti dílu protivýložníku, protizávaží a pohonu kočky zvoleny dle [7]:

Tab. 6.1.2 Hmotnosti dílu protivýložníku, protizávaží, pohonu kočky [7]

Hmotnost dílu protivýložníku	$m_{pvyloz1} = 2700$ [kg]
Hmotnost protizávaží	$m_{pzav} = 4300$ [kg]
Hmotnost pohonu kočky	$m_{pohon} = 2600$ [kg]

Celková hmotnost protivýložníku zahrnuje kromě hmotnosti samotného protivýložníku také hmotnost protizávaží a pohonu kočky:

$$m_{pvyloz} = m_{pvyloz1} + m_{pzav} + m_{pohon} \quad (6.2)$$

$$m_{pvyloz} = 2700 + 4300 + 2600$$

$$m_{pvyloz} = 9600 \text{ kg}$$

kde: $m_{pvyloz1}$... hmotnost dílu protivýložníku ... [kg]

m_{pzav} ... hmotnost protizávaží ... [kg]

m_{pohon} ... hmotnost pohonu kočky ... [kg]

6.1.3 Výložník

Hmotnosti jednotlivých částí výložníku zvoleny dle [7]:

Tab. 6.1.3 Hmotnosti jednotlivých částí výložníku [7]

Hmotnost prvního dílu výložníku	$m_{vyloz1} = 1970$ [kg]
Hmotnost druhého dílu výložníku	$m_{vyloz2} = 1125$ [kg]
Hmotnost třetího dílu výložníku	$m_{vyloz3} = 1380$ [kg]
Hmotnost čtvrtého dílu výložníku	$m_{vyloz4} = 800$ [kg]
Hmotnost pátého dílu výložníku	$m_{vyloz5} = 420$ [kg]

Celková hmotnost výložníku:

$$m_{vyloz} = m_{vyloz1} + m_{vyloz2} + m_{vyloz3} + m_{vyloz4} + m_{vyloz5} \quad (6.3)$$

$$m_{vyloz} = 1970 + 1125 + 1380 + 800 + 420$$

$$m_{vyloz} = 5695 \text{ kg}$$

kde: m_{vyloz1} ... hmotnost prvního dílu výložníku ... [kg]

m_{vyloz2} ... hmotnost druhého dílu výložníku ... [kg]

m_{vyloz3} ... hmotnost třetího dílu výložníku ... [kg]

m_{vyloz4} ... hmotnost čtvrtého dílu výložníku ... [kg]

m_{vyloz5} ... hmotnost pátého dílu výložníku ... [kg]

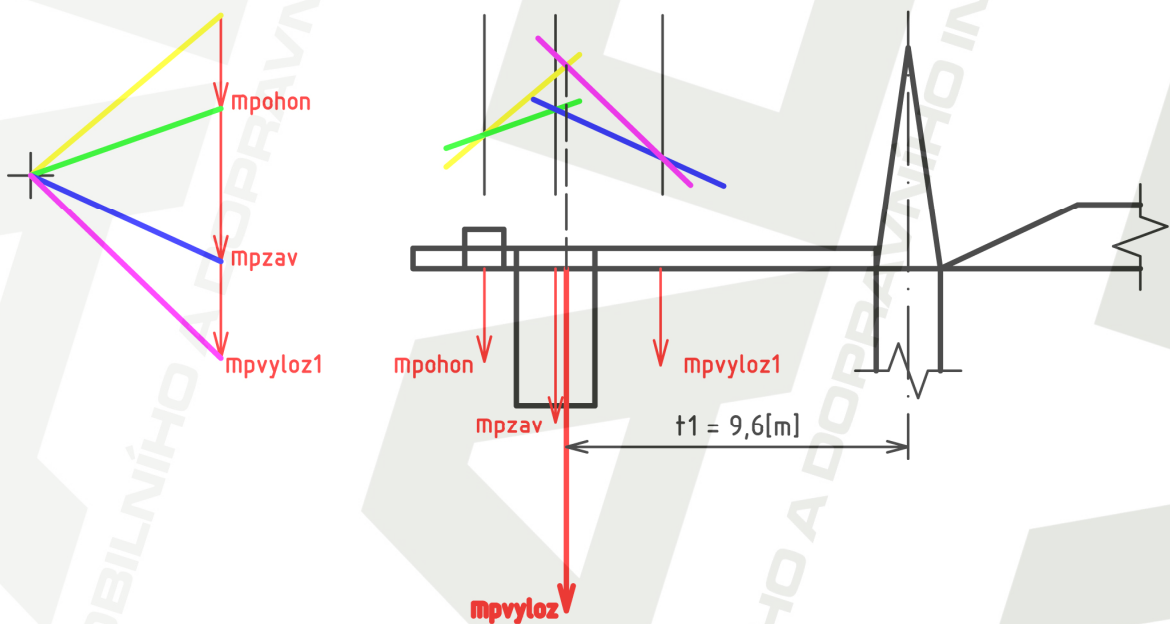
6.1.4 Kočka

Hmotnost kočky zvolena dle [7]:

$$m_{kocka} = 920 \text{ [kg]}$$

6.2 Grafické určení vzdálenosti těžišť výložníku a protivýložníku od osy jeřábu

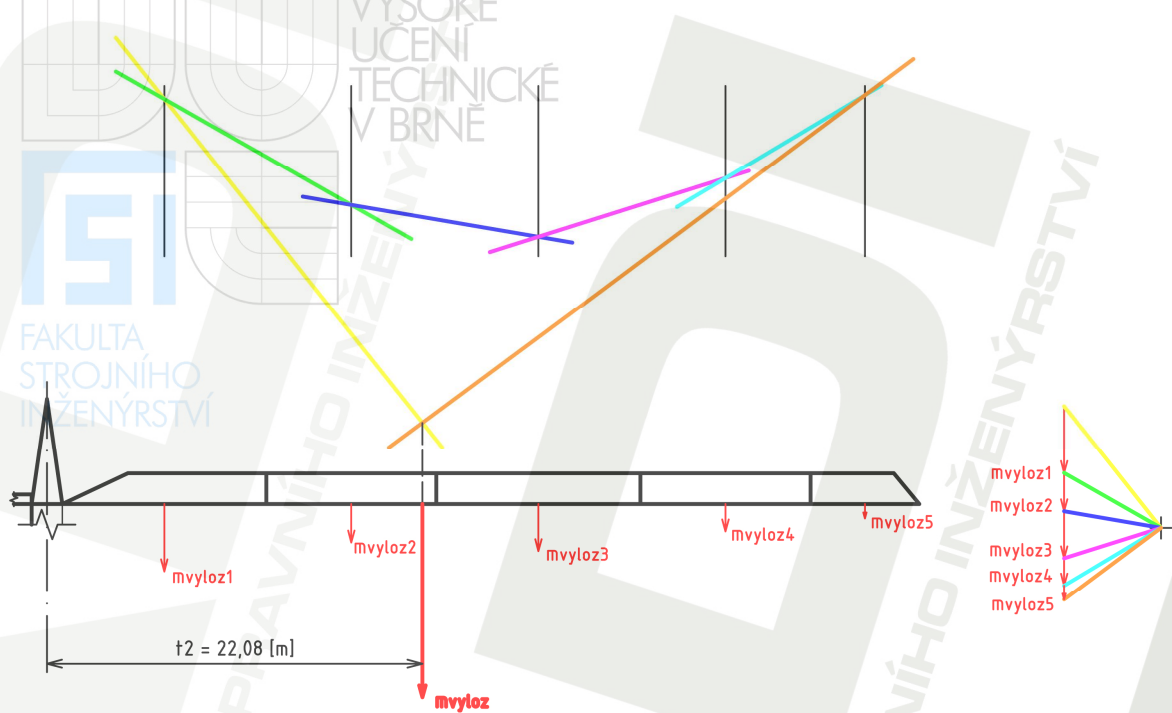
6.2.1 Těžiště protivýložníku



Obr. 6.2.1 Těžiště protivýložníku

Dle obrázku 6.2.1 je vzdálenost těžiště protivýložníku od osy jeřábu $t_1 = 9,6$ [m].

6.2.2 Těžiště výložníku

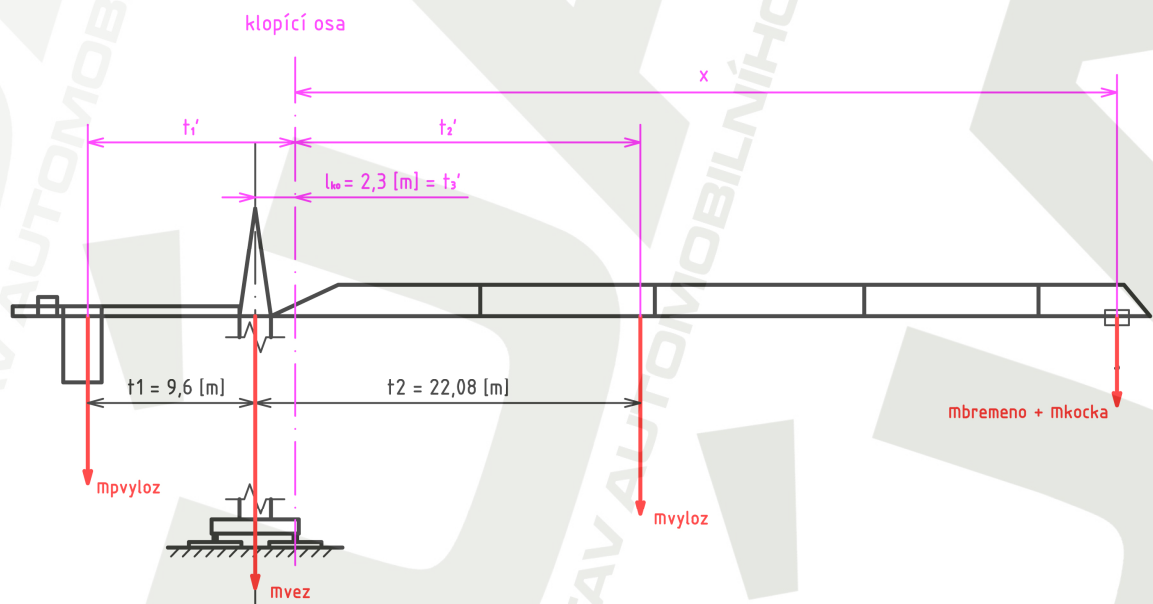


Obr. 6.2.2 Těžiště výložníku

Dle obrázku 6.2.2 je vzdálenost těžiště výložníku od osy jeřábu $t_2 = 22,08 \text{ [m]}$.

6.3 Přepočítání těžištních vzdáleností vůči klopící ose

Z koncepčního návrhu základu jeřábu vyplývá, že vzdálenost klopící osy od osy jeřábu je $l_{ko} = 2,3 \text{ [m]}$. Vzdálenost těžiště břemene x se mění v závislosti na změně vyložení.



Obr. 6.3 Vzdálenosti těžišť vůči klopící ose

6.3.1 Těžiště protivýložníku

$$\begin{aligned}t_1' &= t_1 + l_{ko} \\ t_1' &= 9,6 + 2,3 \\ t_1' &= 11,9m\end{aligned}\tag{6.4}$$

kde: t_1 ... vzdálenost těžiště protivýložníku od osy jeřábu ... [m]

l_{ko} ... vzdálenost klopící osy od osy jeřábu [m]

6.3.2 Těžiště výložníku

$$\begin{aligned}t_2' &= t_2 - l_{ko} \\ t_2' &= 22,08 - 2,3 \\ t_2' &= 19,78m\end{aligned}\tag{6.5}$$

kde: t_2 ... vzdálenost těžiště výložníku od osy jeřábu ... [m]

l_{ko} ... vzdálenost klopící osy od osy jeřábu [m]

6.3.3 Těžiště věže

$$\begin{aligned}t_3' &= l_{ko} \\ t_3' &= 2,3m\end{aligned}\tag{6.6}$$

kde: l_{ko} ... vzdálenost klopící osy od osy jeřábu ... [m]

6.4 Sestavení rovnice působících klopících a statických momentů

$$M_{pvyloz} + M_{vez} = M_{vyloz} + M_{bremeno}\tag{6.7}$$

kde: M_{pvyloz} ... klopící moment protivýložníku ... [Nm]

M_{vez} ... statický moment věže ... [Nm]

M_{vyloz} ... klopící moment výložníku ... [Nm]

$M_{bremeno}$... klopící moment břemene ... [Nm]

6.4.1 Klopící moment protivýložníku

$$M_{pvyloz} = m_{pvyloz} \cdot g \cdot t_1'\tag{6.8}$$

kde: m_{pvyloz} ... celková hmotnost protivýložníku ... [kg]

g ... gravitační zrychlení ... [$m \cdot s^{-2}$]

t_1' ... vzdálenost těžiště protivýložníku od klopící osy ... [m]

6.4.2 Klopící moment výložníku

$$M_{vyloz} = m_{vyloz} \cdot g \cdot t_2'\tag{6.9}$$

kde: m_{vyloz} ... celková hmotnost výložníku ... [kg]

g ... gravitační zrychlení ... [$m \cdot s^{-2}$]

t_2' ... vzdálenost těžiště výložníku od klopící osy ... [m]

6.4.3 Statický moment věže

$$M_{vez} = m_{vez} \cdot g \cdot t_3' \quad (6.10)$$

kde: m_{vez} ... celková hmotnost věže ... [kg]

g ... gravitační zrychlení ... [$m \cdot s^{-2}$]

t_3' ... vzdálenost těžiště věže od klopící osy ... [m]

6.4.4 Klopící moment břemene

$$M_{bremeno} = (m_{bremeno} + m_{kocka}) \cdot g \cdot x \quad (6.11)$$

kde: $m_{bremeno}$... hmotnost břemene ... [kg]

m_{kocka} ... hmotnost kočky ... [kg]

g ... gravitační zrychlení ... [$m \cdot s^{-2}$]

x ... vzdálenost těžiště břemene od klopící osy ... [m]

6.5 Výpočet délky vyložení při maximální nosnosti

Bezpečnost proti překlopení zvolena $k = 1,3$ [-].

$$M_{pvyloz} + M_{vez} = M_{vyloz} + M_{bremeno} \quad (6.7)$$

$$m_{pvyloz} \cdot g \cdot t_1' + m_{vez} \cdot g \cdot t_3' = m_{vyloz} \cdot g \cdot t_2' + (m_{bremeno} + m_{kocka}) \cdot g \cdot x$$

$$m_{pvyloz} \cdot t_1' + m_{vez} \cdot t_3' = m_{vyloz} \cdot t_2' + (m_{bremeno} + m_{kocka}) \cdot x$$

$$x = \frac{m_{pvyloz} \cdot t_1' + m_{vez} \cdot t_3' - m_{vyloz} \cdot t_2'}{m_{bremeno} \cdot k + m_{kocka}} \quad (6.12)$$

$$x = \frac{9600 \cdot 11,9 + 84980 \cdot 2,3 - 5695 \cdot 19,78}{8000 \cdot 1,3 + 920}$$

$$x = 17,4m$$

$$v_{8t} = x + l_{ko} \quad (6.13)$$

$$v_{8t} = 17,4 + 2,3$$

$$v_{8t} = 19,7m$$

Délka vyložení při maximální nosnosti 8 [t] je (po přičtení vzdálenosti těžištní osy k ose jeřábu) $v_{8t} = 19,7$ [m]

6.6 Výpočet nosnosti při maximální délce vyložení

Bezpečnost proti překlopení zvolena $k = 1,3$ [-].

$$M_{pvyloz} + M_{vez} = M_{vyloz} + M_{bremeno} \quad (6.7)$$

$$m_{pvyloz} \cdot g \cdot t_1' + m_{vez} \cdot g \cdot t_3' = m_{vyloz} \cdot g \cdot t_2' + (m_{bremeno} + m_{kocka}) \cdot g \cdot x$$

$$m_{pvyloz} \cdot t_1' + m_{vez} \cdot t_3' = m_{vyloz} \cdot t_2' + (m_{bremeno} + m_{kocka}) \cdot x$$

$$m_{bremeno} = \frac{m_{pvyloz} \cdot t_1' + m_{vez} \cdot t_3' - m_{vyloz} \cdot t_2'}{x} - m_{kocka} \quad (6.14)$$

$$m_{bremeno} = \frac{9600 \cdot 11,9 + 84980 \cdot 2,3 - 5695 \cdot 19,78}{47,7} - 920$$

$$m_{bremeno} = 3211 \text{ kg}$$

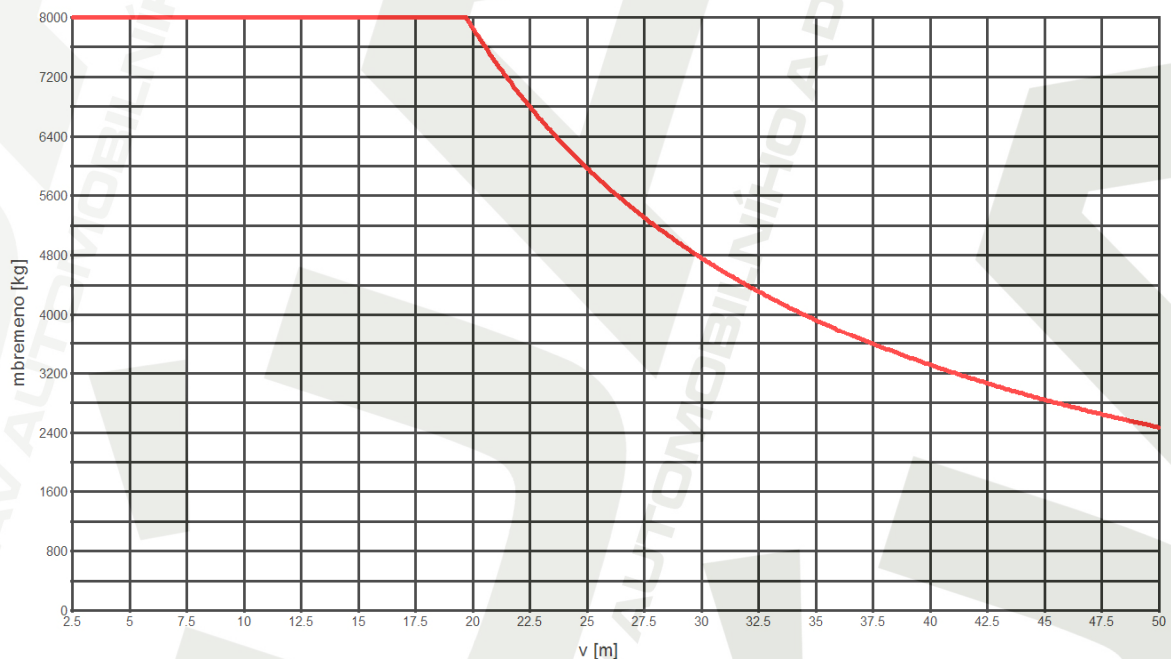
$$m_{50} = \frac{m_{bremeno}}{k} \quad (6.15)$$

$$m_{50} = \frac{3211}{1,3}$$

$$m_{50} = 2400 \text{ kg}$$

Nosnost při maximálním vyložení je po započítání bezpečnosti k rovna $m_{50} = 2400$ [kg].

6.7 Vykreslení závislosti nosnosti na délce vyložení



Obr. 6.7.1 Závislost nosnosti na délce vyložení

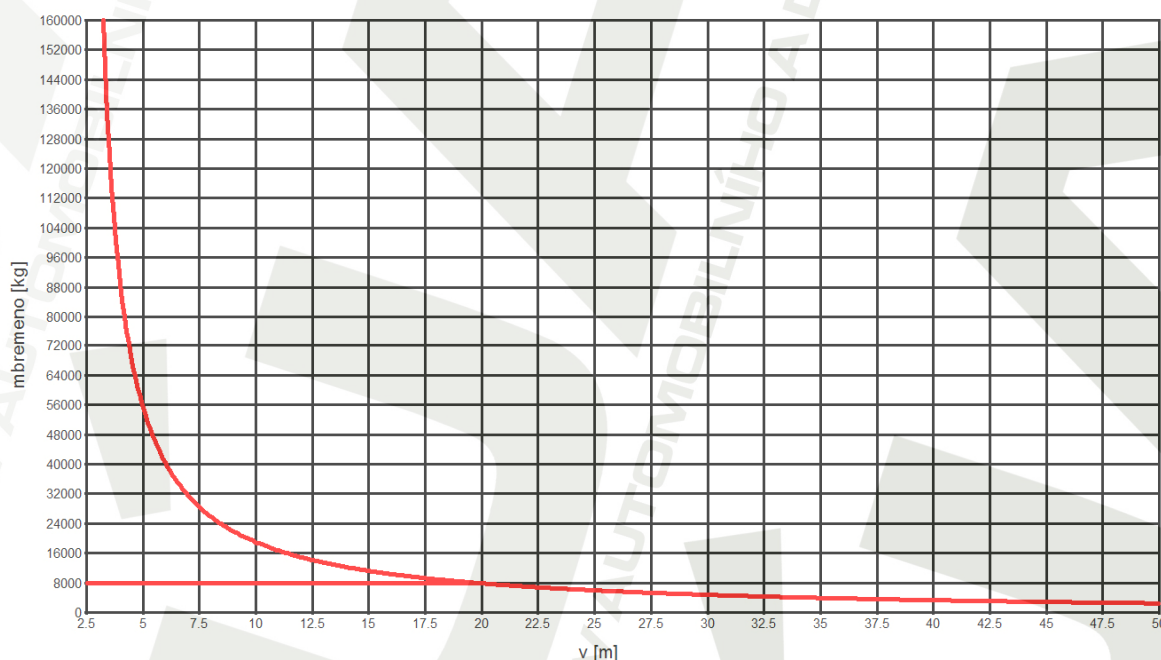
Graf závislosti nosnosti na délce vyložení znázorňuje průběh nosnosti po celé délce vyložení (od minimální délky vyložení 2,5 [m] až po maximální délku vyložení 50 [m]).

Křivku nosnosti získáme dosazením délky vyložení v rozmezí od 2,5 [m] do 50 [m] do rovnice klopících a statických momentů (6.7). Pro každou délku vyložení získám určitou nosnost. Pro zajištění bezpečnosti jeřábu proti překlopení vydělím nosnost zvolenou bezpečností proti překlopení ($k = 1,3 [-]$). Z grafu je na první pohled zřejmé, že vyložení s maximální nosností dosahuje téměř 20 [m] a nosnost při maximálním vyložení odpovídá 2400 [kg]. Přesné hodnoty jsou spočítány v kapitolách 6.5 a 6.6. Hodnoty nosnosti pro daná vyložení jsou zapsána v následující tabulce.

Tab. 6.7 Nosnosti jeřábu při daném vyložení

v [m]	19,7	20,0	22,5	25,0	27,5	30,0	32,5
m_{bremeno} [kg]	8000	7855	6795	5969	5307	4764	4311
v [m]	35,0	37,5	40,0	42,5	45,0	47,5	50,0
m_{bremeno} [kg]	3928	3598	3312	3062	2842	2645	2400

Z křivky je dále patrné, že s klesajícím vyložением bude narůstat nosnost jeřábu a teoreticky lze dosáhnout hodnot mnohem větších než je maximální nosnost jeřábu 8 [t]. Tato nosnost je však omezena příhradovou konstrukcí výložníku a také materiálem, z kterého je příhradová konstrukce vyrobena. Pro dosažení teoretických hodnot nosnosti by bylo nutné výložník značně předdimenzovat, což by mělo za následek zvýšení hmotnosti, ale především zvýšení nákladů na výrobu.



Obr. 6.7.2 Teoretická nosnost jeřábu

Z předcházejícího obrázku 6.7.2 lze odečíst, že teoretická nosnost pro délku vyložení 5 [m] je 56000 [kg] a nosnost pro minimální vyložení 2,5 [m] přesahuje 150000 [kg]. V praxi by však ani jedna z těchto nosností nebyla využita, protože jí lze dosáhnout pouze na krátkou vzdálenost vyložení.

7 Závěr

Cílem bakalářská práce bylo provést koncepční návrh stavebního věžového jeřábu, určení jeho základních parametrů, vykreslit závislost nosnosti na délce vyložení a vypracovat výkres navrženého jeřábu.

Koncepce jeřábu byla zvolena s ohledem na současné trendy v oblasti stavby jeřábů a nedílnou součástí bylo i porovnání zvolených možností s jeřáby, které lze vidět přímo na stavbách. Následně byly zvoleny základní parametry, které se odvíjely od navržené koncepce a hodnoty maximální nosnosti. Po zjištění základních parametrů byla sestavena rovnice klopících a statických momentů, z níž bylo následně určeno: délka vyložení při maximální nosnosti, nosnost při maximálním vyložení a vykreslení závislosti nosnosti na vyložení do grafu. K bakalářské práci je přiložen výkres koncepčního návrhu jeřábu se závislostí nosnosti na vyložení, z čehož je patrné, jak se mění nosnost jeřábu po celé délce vyložení a přesnou hodnotu lze snadno odečíst.

8 Seznam použitých zdrojů

LITERATURA:

- [1] DRAŽAN, František; KUPKA, Ladislav. Jeřáby. Vyd. 1. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1968. 661 s.
- [2] MOTYČKA, Vít; ČERNÝ, Jaromír. Věžové jeřáby v pozemním stavitelství. Vyd. 1. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2007. 142 s.
- [3] REMTA, František; KUPKA, Ladislav; DRAŽAN, František. Jeřáby : I. díl. Vyd. 2. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1974. 645 s.
- [4] REMTA, František; KUPKA, Ladislav; DRAŽAN, František. Jeřáby : II. díl. Vyd. 2. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1975. 562 s.
- [5] REMTA, František; KUPKA, Ladislav; DRAŽAN, František. Jeřáby : III. díl. Vyd. 1. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1961. 410 s.

INTERNET

- [6] ČERMÁK, Jan. C14.cz : pomocník studenta FSV ČVUT [online]. 2007 [cit. 2010-04-22]. Index of /data/bakalari/SPRO/Prednasky. Dostupné z WWW: <http://c14.siliconhill.cz/data/bakalari/SPRO/Prednasky/posp_jerab.pdf>.
- [7] Liebherr Česká Republika [online]. 1999 [cit. 2010-04-20]. Jeřáby s horní otočí. Dostupné z WWW: <<http://www.liebherr.cz/cz-lh/cs/94703.asp>>.

9 Seznam použitých zkratk a symbolů

g	Gravitační zrychlení	$[m \cdot s^{-2}]$
k	Bezpečnost proti překlopení	$[-]$
l_{ko}	Vzdálenost klopící osy od osy jeřábu	$[m]$
m_{50}	Hmotnost břemene při maximální délce vyložení	$[kg]$
$M_{bremeno}$	Klopící moment břemene	$[Nm]$
$m_{bremeno}$	Hmotnost břemene	$[kg]$
m_{centr}	Hmotnost centrálního závaží	$[kg]$
m_{hr}	Hmotnost hrotu věže	$[kg]$
m_{kab}	Hmotnost kabiny	$[kg]$
m_{kocka}	Hmotnost kočky	$[kg]$
m_{pohon}	Hmotnost pohonu kočky	$[kg]$
m_{pvyloz}	Celková hmotnost protivýložníku	$[kg]$
M_{pvyloz}	Klopící moment protivýložníku	$[Nm]$
$m_{pvyloz1}$	Hmotnost dílu protivýložníku	$[kg]$
m_{pzav}	Hmotnost protizávaží	$[kg]$
m_{vez}	Celková hmotnost věže	$[kg]$
M_{vez}	Statický moment věže	$[Nm]$
m_{vez1}	Hmotnost prvního dílu věže	$[kg]$
m_{vez2}	Hmotnost druhého dílu věže	$[kg]$
m_{vyloz}	Celková hmotnost výložníku	$[kg]$
M_{vyloz}	Klopící moment výložníku	$[Nm]$
m_{vyloz1}	Hmotnost prvního dílu výložníku	$[kg]$
m_{vyloz2}	Hmotnost druhého dílu výložníku	$[kg]$

m_{vyloz3}	Hmotnost třetího dílu výložníku	[kg]
m_{vyloz4}	Hmotnost čtvrtého dílu výložníku	[kg]
m_{vyloz5}	Hmotnost pátého dílu výložníku	[kg]
t_1	Vzdálenost těžiště protivýložníku od osy jeřábu	[m]
t_1'	Vzdálenost těžiště protivýložníku od klopící osy	[m]
t_2	Vzdálenost těžiště výložníku od osy jeřábu	[m]
t_2'	Vzdálenost těžiště výložníku od klopící osy	[m]
t_3'	Vzdálenost těžiště věže od klopící osy	[m]
v	Délka vyložení	[m]
v_{8t}	Délka vyložení při maximální nosnosti	[m]
x	Vzdálenost těžiště břemene od klopící osy	[m]

10 Seznam příloh

Výkresová dokumentace

Věžový jeřáb

výkres

2-3P22-01-00