VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

PŘÍČNÍK MOSTU JEŘÁBU 36 000 KG
CROSSBEAM OF TRAVELLER CRANE 36 000 KG

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR
Jan ČISCOŇ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR
doc. Ing. Břetislav Mynář, CSc.

BRNO 2008

Zadání

Cíle, kterých má být dosaženo:

Vypočtěte:
Proveďte pevnostní kontrolu příčníku mostu

Nakreslete:
Sestavný výkres příčníku
Výkresy hlavních částí příčníku

Charakteristika problematiky úkolu:

Navrhněte příčník mostu jeřábu.
Parametry:
Nosnost jeřábu 36 000 kg
Rozpětí mostu 23,1 m
Hmotnost kočky 5 800 kg
Rozchod kočky 2 400 mm
Rozvor kočky 2 700 mm
Hmotnost hl. nosníku 10 000 kg

Základní literární prameny:

Remta,F., Kupka,L.: Jeřáby
Gajdůšek,J., Škopán,M.: Teorie dopravních a manipulačních zařízení

Abstrakt

Cílem předložené práce bylo vytvořit "Technickou dokumentaci Příčníku mostu jeřábu". Zadaný vzor obsahoval tyto vstupní podmínky: nosnost jeřábu 36000 kg, rozpětí mostu 23,1m, hmotnost kočky 5800kg, rozchod kočky 2400 mm, rozvor kočky 2700 mm, hmotnost hlavního nosníku 10000 kg. Nejprve byl zpracován předběžný výpočet působící síly a reakcí na příčník. Dále byl řešen kontrolní výpočet průřezu příčníku. Navržený příčník je s přímým horním pásem. Dalšími částmi navrženého příčníku jsou: pojezdová kola, koncové nárazníky a dosedací lišty. Byl zpracován výkres sestavení a výkresy hlavních součástí příčníku. Na závěr byla sepsána použita literatura a očíslování výkres.

Klíčová slova

Nosnost jeřábu, rozpětí mostu, hmotnost hlavního nosníku, hmotnost kočky.

Abstract

Purposes sight work be formed "technical documentation crossbeam of traveller crane". Engaged example contained these input conditions: lifting capacity 36000 kg, span bridge 23,1m, weight chick 5800kg, wheel track chick 2400 mm, wheel base chick 2700 mm, self-weight main beam 10000 kg. First was processed estimate acting force and reaction to crossbeam. Further was solving check calculation cross-section crossbeam. Proposed crossbeam be with direct upper boom. Further feature proposed crossbeam they are: traversing wheels, terminal bumpers and abut moulding. Was processed drawing composition and drawing basis crossbeam. Lastly was drawn using literature and numbering drawing.

Key words

Bearing crane, span bridge, self-weight main beam, weight chick.

Bibliografická citace

ČISCOŇ, J. *Příčník mostu jeřábu 36 000 kg.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 20 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Břetislav Mynář, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Vysoké učení technické v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Vysoké učení technické v Brně oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v areálové knihovně Fakulty strojního inženýrství VUT v Brně.

V Brně dne 23. 05. 2008

Jan Čiscoň

Obsah

1 Úvod 6
2 Mostové jeřáby 7
2.1 Rozdělení mostových jeřábů 7
2.1.1 Mostové jeřáby běžné 7
2.1.2 Mostové jeřáby podvěsné 8
2.1.3 Mostové jeřáby speciální 8
3 Návrh ocelové konstrukce jeřábu 9
3.1 Všeobecné údaje 9
3.2 Vlastní návrh 9
3.3 Návrh materiálu 11
4 Výpočet 12
4.1 Předběžný výpočet 12
4.1.1 Určení velikosti síly působící na příčník 12
4.1.2 Návrh rozměrů příčníku 13
4.1.3 Výpočet průřezového modulu příčníku 14
4.1.4 Výpočet reakcí v podporách 14
4.1.5 Výpočet ohybového momentu 15
4.2 Kontrolní výpočet 15
5 Závěr 17
6 Seznam použitých zdrojů 18
7 Seznam použitých symbolů 19
8 Seznam Příloh 20

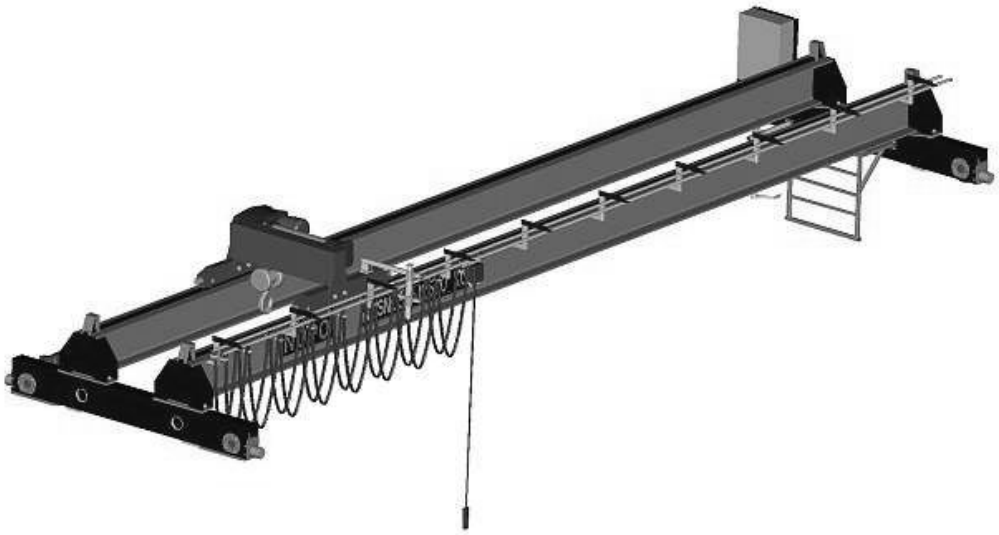
1 Úvod

Ve většině pracovních oborů, strojírenství není výjimkou, je potřeba přemisťovat materiál. Už v počátcích vývoje společnosti lidé vymýšleli různé zvedací či popouštěcí zařízení na přepravu břemena. Nejdříve byla tato práce vykonávána hrubou lidskou silou(např. Egypt). Dokonce poté co vznikaly pomocné prostředky a zařízení jimiž si člověk svojí práci s břemen usnadňoval. Byl hnací silou stále ještě člověk. Tyto zdvíhací zařízení se používaly převážně pro kusová břemena.

Ve vývoji zařízení pro přemisťování břemen ve vodorovné rovině od dob faraónů až do doby páry nenastaly podstatnější změny. Za to ve směru svislém bylo zapotřebí mít zařízení stále výkonnější. Nejnaléhavější se jevila potřeba překládat těžká jednotlivá břemena v přístavech, s nárůstem se rozvíjejícího se obchodu. Různorodost typů zdvihadel dokazují, již v těch dobách, inženýrskou zdatnost a mimořádnou odolnost při zdolávání těžkých technických úkolů.

Téma bakalářské práce vzniklo na základě požadavků Ústavu automobilního a dopravního inženýrství na Fakultě strojního inženýrství VUT v Brně. V řešení problému budu muset nejdříve navrhnout základní rozměry příčníku, potom výpočet zatěžující síly, vzniklé od hmotností břemene a hlavních nosníků. Ze síly, která vyšla si určím reakce a ohybové momenty. Nakonec vypočítám průřezový modul příčníku. Hodnoty, z předem vypočítaných rovnic, použiji v kontrolním výpočtu.

Požadavky, které jsou kladeny na dnešní zdvíhací zařízení lze shrnout do pěti bodů: velký dopravní výkon a malá vlastní váha; bezpečný a spolehlivý provoz; jednoduchá, pokud možno automatická obsluha; možnost přizpůsobit zařízení s hlediska komplexní mechanizace celého transportního pochodu; normalizace zařízení, aby se zhospodárnila a zrychlila jejich výroba.



Obr.1 Mostový jeřáb běžný

2 Mostové jeřáby

Mostovými jeřáby nazýváme ty druhy jeřábů, u nichž nosnou ocelovou konstrukci tvoří jeřábový most, pojíždějící po vyvýšené jeřábové dráze. Nahoře na mostě, uvnitř nebo i dole, pojíždí jeřábová kočka, výjimečně podvozek s otočným výložníkem.

2.1 Rozdělení mostových jeřábů

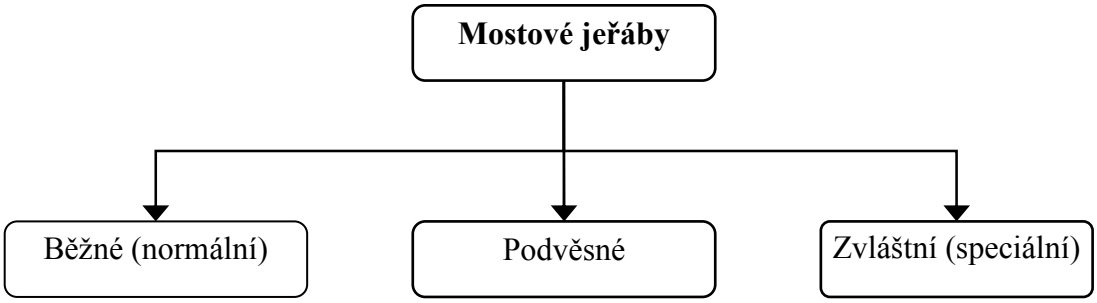


Diagram 1 Rozdělení

2.1.1 Mostové jeřáby běžné

Běžné mostové jeřáby se dají dále rozdělit na ruční mostové jeřáby a elektrické mostové jeřáby. Ruční mostové jeřáby se používají jen k občasnému přenášení malých a středně velkých břemen do 20 t, tam kde není zavedený elektrický proud. A rozpětí jeřábu bývá asi 4 až 20 m (1, s. 111). Běžné elektrické mostové jeřáby patří k nejrozšířenějším jeřábům. Slouží k přemisťování kusových břemen a stavějí se pro nosnost od 1 t až do největších nosností 400 až 500 t a pro rozpětí až 40 m (1, s. 115).

Obr. 2 Mostový jeřáb běžný

2.1.2 Mostové jeřáby podvěsné

Jeřáby s jedním hlavním nosníkem, pojíždějící po spodních přírubách jeřábových drah tvaru „T“ nebo „I“, zavěšených obvykle na střešní konstrukci. Jeřábová dráha má dvě nebo více polí. Používají se pro dopravu lehčích břemen, nejvýše do 5000 kg (1, s. 138).

Obr. 3 Mostový jeřáb poděsný

2.1.3 Mostové jeřáby speciální

Sem patří všechny mostové jeřáby s kočkou zvláštního typu, odlišnou od běžné kočky s jedním nebo více háky. I tyto jeřáby mohou však být opatřeny hákem jako jeřáby s větším polem působnosti, k nimž patří: jeřáby s otočnou kočkou, jeřáby s výsuvným ramenem. Dále to jsou jeřáby drapákové a jeřáby hutní (1, s. 142).

3 Návrh ocelové konstrukce jeřábů

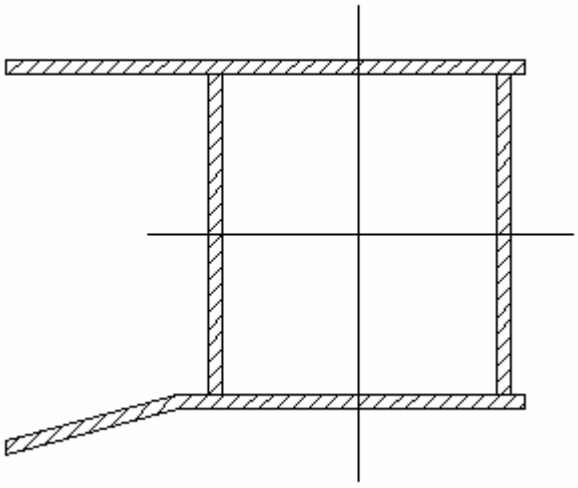
3.1 Všeobecné údaje

Jeřábová nosná konstrukce musí být při dostatečné únosnosti a tuhosti především lehká, aby se nezměnily výrobní i provozní náklady. Nesmí být příliš rozměrná, aby se nezvětšovaly neúměrně rozměry budov a zařízení, v nichž jeřáby pracují, zejména jejich výška. Konečně se musí při návrhu pamatovat na bezpečnost osazenstva jeřábu dobrou přístupností všech strojních částí. U jeřábu pracujících na volném prostranství nebo jen částečně chráněných musí být postaráno o ochranu osazenstva proti vlivům povětrnosti zřízením krytých kabin na příhodném místě tak, aby řízení jeřábu bylo spolehlivé, bezpečné a pohodlné(1, s. 75).

3.2 Vlastní návrh

Při návrhu příčníku jsem musel uvažovat, jak hmotnostní kriteria, tak výrobní a přepravní předpoklady, které jsou kladeny především zadanými parametry práce.

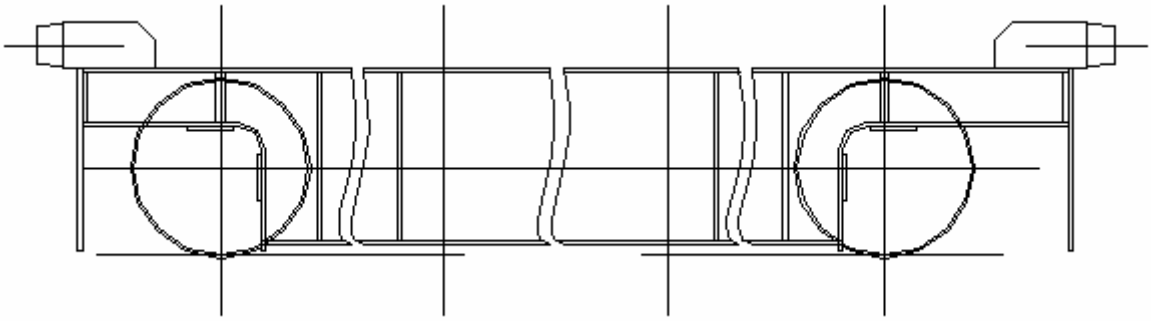
Nejdříve jsem začal zvažovat předpoklad výrobní: z jakého materiálu bude příčník zhotoven, jakou použiji technologii ke spojení, aby vydržel příslušné napětí, na příčník působící, a s tím související hmotnostní kriteria. Proto jsem rozhodl, že příčník bude mít skříňový průřez(*Obr. 4 Průřez*), vyrobený svařováním železných plátů. Předběžně jsem si navrhl rozměry průřezu, abych mohl později ve výpočtu zjistit, zda vyhovuje na ohybové napětí. Kontrola příčníku na ohybové napětí je nejdůležitější výpočet. Pro splnění hmotnostního kriteria jsem dospěl k aplikací svařovaného příčníku, který zmenší svojí váhu v průměru až o 25 %. Příčníky mohou být i nýtované, ale tímto řešením jsem se moc dlouho nezabýval. Nesplnil bych hmotnostní kriteria, ale hlavně je tato možnost pracná a dnes již málo používaná(speciálně zaškolení pracovníci).



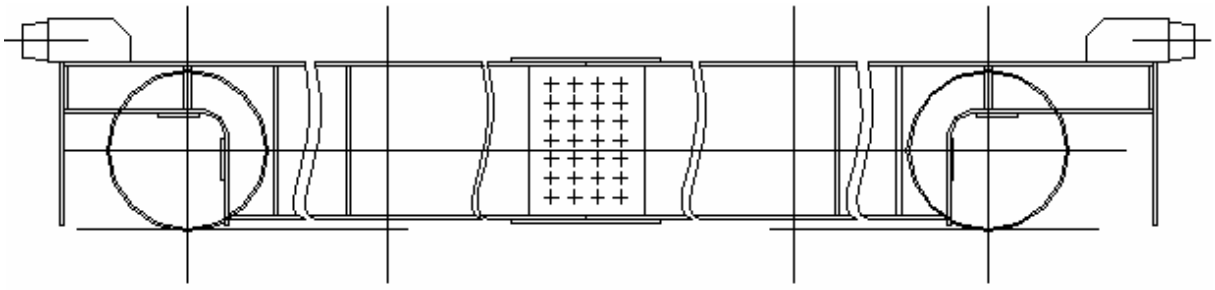
Obr. 4 Průřez

Dalším předpoklad je závaznost přepravy hotových komponentů mostového jeřábu z výrobní haly na místo určení, kde se bude tento jeřáb využívat. Příčník lze vyrobit jako jeden kus(*Obr. 5 Uno*) a poté jsou hlavní nosníky přišroubovany k jedné jeho boční stěně. Druhou možností je příčník tzv. dělený(*Obr. 6 Dělený*). Uprostřed se rozdělí na dvě části, přičemž hlavní nosník je spojený z příčníkem svařením.

Provedení tzv. děleného příčníku jsem zvolil jako koncový návrh. Když jsem spočítal počet komponentů této varianty řešení, tak vyšlo minimálně o dva kusy méně než má příčník z jednoho kusu. Příčník bude pojíždět po dvou kolech, to znamená, že příčník bude na dvou podporách. Tento předpoklad zhodnotím při výpočtech. Předpokládám, že zkompletované komponenty mostového jeřábu s příčníky dělenými, což jsou příčníky a hlavní nosníky, se budou přepravovat pomocí přepravní společnosti, která má ve své nabídce nadměrnou přepravu(např. fa Transschwer, s.r.o.). Také by se dalo komponenty mostu přepravovat pomocí železniční dopravy, ale tato možnost je odkázaná na potřebu vlečky v daném místě dodání. A také je v této době vlaková doprava dražší a hlavně časově náročnější než doprava kamionová. Takže bych doporučoval budoucímu zákazníkovi, aby využil služeb přepravních společností.



Obr. 5 Uno



Obr. 6 Dělený

3.3 Návrh materiálů

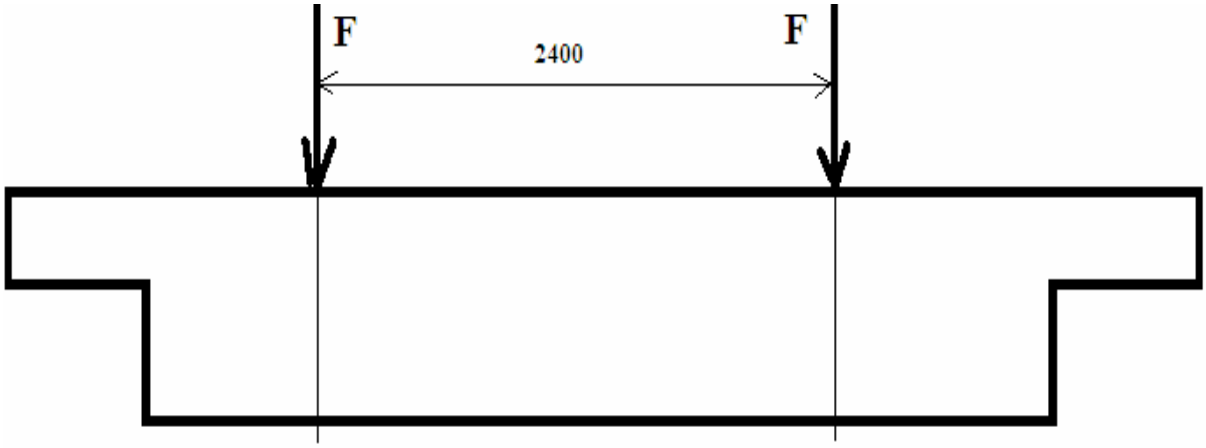
Návrh správného materiálu se určí podle způsobu použití a technologie zpracování příčníku. Pro konstrukční řešení zadané práce vyplívá jako nejvhodnější materiál ocel, která se nejvíce používaná pro nosné konstrukce. Jako ocel strojní se používají oceli třídy 11. Takže jako vhodný materiál pro výrobu příčníku, vlastní konstrukce, použiji ocel ČSN 11 523. Je to konstrukční ocel s obvyklou jakostí zaručující svařitelnost vhodná na mostní a jiné svařované konstrukce.

Obr. 7 Mostový jeřáb běžný s děleným příčníkem

4 Výpočet

4.1 Předběžný výpočet

4.1.1 Určení velikosti síly působící na příčník



Obr. 7 Působení síly

$$F_1 = \frac{G_H}{2} \cdot g \qquad (1)$$

$$F_1 = \frac{10000}{2} \cdot 9{,}81 = 49050$$

$$F_1 = 49050 \ \text{N}$$

$$F_2 = \left(\frac{Q + G_K}{2} \right) \cdot \frac{(l - d)}{l} \cdot g \qquad (2)$$

$$F_2 = \left(\frac{36000 + 5800}{2} \right) \cdot \frac{(23{,}1 - 1{,}5)}{23{,}1} \cdot g = 191715{,}4$$

$$F_2 = 191715{,}4 \ \text{N}$$

$$F = F_1 + F_2 \qquad (3)$$

$$F = 49050 + 191715{,}4 = 240765{,}4$$

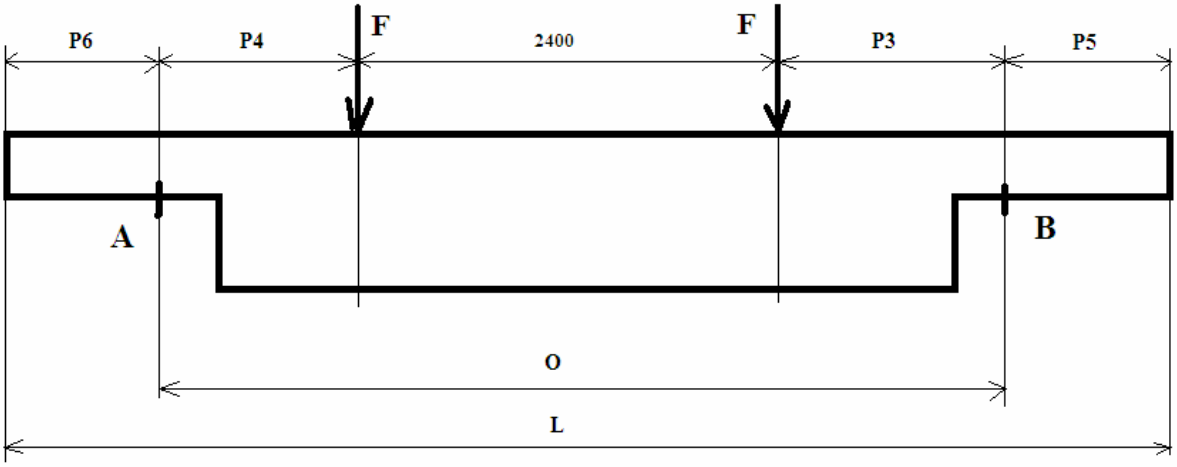
$$F = 240765{,}4 \ \text{N}$$

4.1.2 Návrh rozměrů příčníku

Průřez příčníku:

- vnitřní výška $h = 364\,mm$
- vnitřní šířka $b = 280\,mm$
- tloušťka stěny horního a dolního pásu příčníku $c_1, c_2 = 8\,mm$
- tloušťka stěny bočních pásu příčníku $t = 10\,mm$
- vnější výška $H = 380\,mm$
- vnější šířka $B = 300\,mm$

Rozměry příčníku:



Obr.8 Navržené rozměry

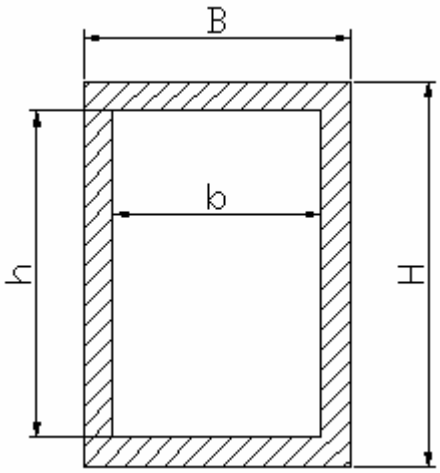
- délky: $P_3 = 1000\,mm$
  $P_4 = 800\,mm$
  $P_5 = 400\,mm$
  $P_6 = 300\,mm$
  $L = 4900\,mm$
  $O = 4200\,mm$

4.1.3 Výpočet průřezového modulu příčníku

$$W_O = \frac{B \cdot H^3 - b \cdot h^3}{6H} \tag{4}$$

$$W_O = \frac{300 \cdot 380^3 - 280 \cdot 364^3}{6 \cdot 380} = 1297196{,}35$$

$$W_O = 1297196{,}35 \text{ mm}^3$$



Obr. 9 Okótovaný průřez

4.1.4 Výpočet reakcí v podporách

$$\sum F_X = 0: \quad F_{RAx} = 0 \Rightarrow F_{RBx} = 0$$

$$\sum F_Y = 0: \quad -F_{RAy} + F + F - F_{RBy} = 0$$

$$\sum M_A = 0: \quad F \cdot P_4 + F \cdot (O - P_3) - F_{RBy} \cdot O = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \quad F_{RBy} = \frac{F \cdot P_4 + F \cdot (O - P_3)}{O} \tag{5}$$

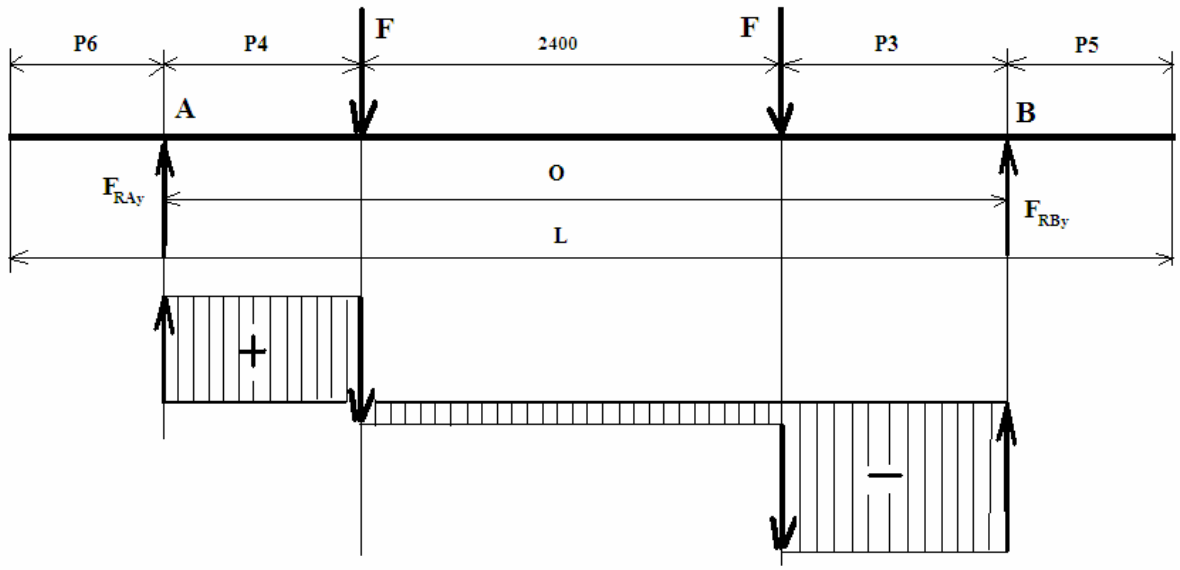
$$F_{RBy} = \frac{240765{,}4 \cdot 800 + 240765{,}4 \cdot (4200 - 800)}{4200} = 229300{,}4$$

$$F_{RBy} = 229300{,}4 \text{ N}$$

$$F_{RAy} = F + F - F_{RBy} \tag{6}$$

$$F_{RAy} = 240765{,}4 + 240765{,}4 - 229300{,}4 = 252230{,}4$$

$$F_{RAy} = 252230{,}4 \text{ N}$$



Obr. 10 Reakce

4.1.5 Výpočet ohybových momentů

Moment od reakce $F_{RAy} = 252230{,}4\,\text{N}$:

$$M_{F_A} = F_{RAy} \cdot P_3 \tag{7}$$

$$M_{F_A} = 252230{,}4 \cdot 800 = 201784320$$

$$M_{F_A} = 201784320\,\text{N.mm}$$

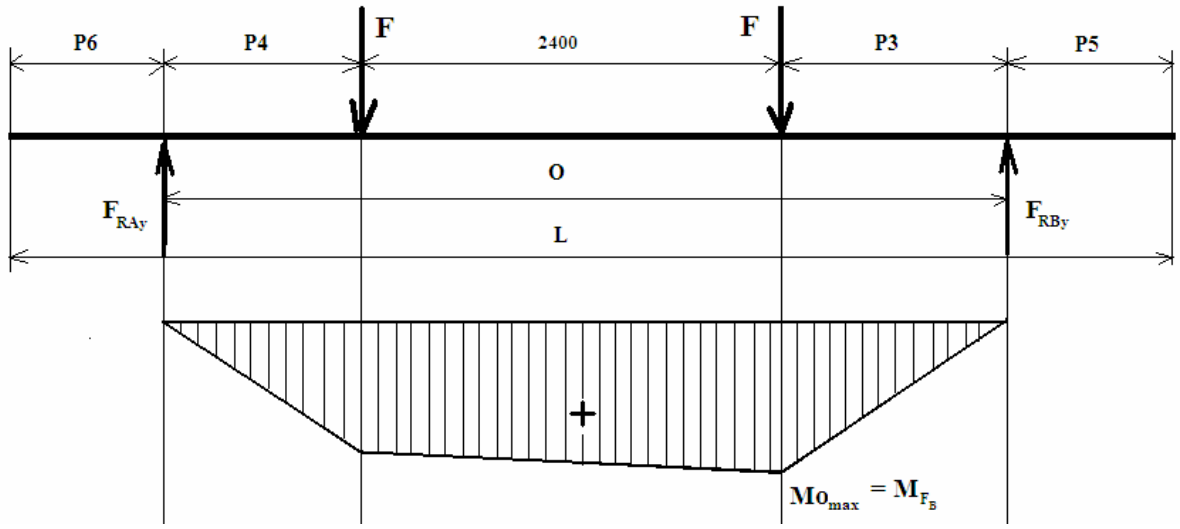
Moment od reakce $F_{RBy} = 229300{,}4\,\text{N}$:

$$M_{F_B} = F_{RBy} \cdot P_4 \tag{8}$$

$$M_{F_B} = 229300{,}4 \cdot 1000 = 229300400$$

$$M_{F_B} = 229300400\,\text{N.mm}$$

Větší ohybový moment je M_{F_B}, takže tento moment použijeme při kontrole průřezu příčníku.



Obr. 11 Momenty

4.2 Kontrolní výpočet

Velikost napětí v ohybu příčníku:

$$\sigma_O = \frac{M_{F_B}}{W_O} \tag{9}$$

$$\sigma_O = \frac{229300400}{1297196{,}35} = 176{,}77$$

$$\sigma_O = 176{,}8\,\text{MPa}$$

Dle materiálu 11 523 je rozsah velikosti meze kluzu $\sigma_t = R_e = (284 \div 490)\,\text{MPa}$. Proto volím $\sigma_t = R_e = 350\,\text{MPa}$.

Výpočet bezpečnost

$$\sigma_{D_O} = \frac{\sigma_t}{k} \Rightarrow k = \frac{\sigma_t}{\sigma_O} \tag{10}$$

$$k = \frac{350}{176{,}8} = 1{,}979$$

$$k = 1{,}98$$

Podle normy ČSN 27 0310 je rozsah velikosti bezpečnosti pro ocel $k = (1{,}7 \div 2)$. Při porovnání s hodnotou, která vyšla jsem zjistil, že příčník vyhovuje.

5 Závěr

Podařilo se navrhnout příčník mostu jeřábu, který svými parametry splňuje požadavky zadání. Během vypracovávání práce nedošlo k větším komplikacím, takže můžu konstatovat, že jsem se svým výsledkem spokojen. Nejtěžší asi bylo při zpracování správné určení velikosti působící síly na příčník. Tento základní návrh příčníku je dostačující k dalšímu použití při návrzích ostatních částí mostového jeřábu. Příčníky patří mezi jednu z hlavních částí mostových jeřábů a mostové jeřáby běžné dnes patří mezi nejpoužívanější jeřáby tohoto typu a použití. Přednosti jeřábu jsou v konstrukční jednoduchosti, v tuhé konstrukci a nevyžadují vysoký průjezdový profil, takže náklady na budovy a zařízení jsou nižší.

Materiál 11 523 se ukázal jako vyhovující z hlediska dostačující meze kluzu, která byla jednou s prvků při výpočtu velikosti bezpečnosti průřezu příčníku. Polotovar pro konstrukci příčníku je široká ocel válcovaná za tepla s označením ČSN 42 5524. Široká ocel se dodává s okujeným povrchem a v délkách od 3 m do 12 m. Potřebné tvary z polotovaru pro svařování se docílí buď řezáním kyslíkem nebo laserem. Řezání laserem je samozřejmě dražší než kyslíkem, ale zato rychlejší a přesnější. Přesto bude dostačující, když se použije řezání kyslíkem. Poté se jen zabrousí hrany k lepšímu dosednutí dvou svařovaných částí. Povrchová úprava je minimální. Po svaření je konstrukce jeřábu opatřena nátěrovou vrstvou barvy. A barva pracuje jako konzervační prostředek.

6 Seznam použitých zdrojů

LITERATURA

1. REMTA, F. a KUPKA, L.: *Jeřáby II. díl*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1958. 392 s. L 29-E1-4-III./2276

2. REMTA, F. a KUPKA, L.: *Jeřáby I. díl*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1956. 620 s. L 29-E1-4-II

3. LEINVEBER, J., ŘASA, Jar., VÁVRA, P.: *Strojnické tabulky*. 3. vyd. Praha: Scientia, spol. s.r.o., pedagogické nakladatelství, 2000. 985 s. ISBN 80-7183-164-6

OSTATNÍ ZDROJE

Obr. 1 Mostový jeřáb běžný
http://www.nopo.cz

Obr. 2 Mostový jeřáb běžný a Obr. 3 Mostový jeřáb podvěsný
http://www.iteco.cz

Obr. 7 Mostový jeřáb běžný s děleným příčníkem
http://www.jass.cz/wp-content/uploads

Oficiální stránky Fakulty strojního inženýrství
http://www.fme.vutbr.cz

7 Seznam použitých symbolů

B	vnější šířka	[mm]
b	vnitřní šířka	[mm]
c_1	tloušťka stěny horního pásu	[mm]
c_2	tloušťka stěny dolního pásu	[mm]
d	dojezd kočky	[m]
F	celková síla působící na příčník	[N]
F_1	síla od hlavního příčníku	[N]
F_2	síla od hmotnosti kočky a břemene	[N]
F_{RAx}	silová reakce působící na bod *A* v ose *x*	[N]
F_{RAy}	silová reakce působící na bod *A* v ose *y*	[N]
F_{RBx}	silová reakce působící na bod *B* v ose *x*	[N]
F_{RBx}	silová reakce působící na bod *B* v ose *y*	[N]
G_H	hmotnost hlavního nosníku	[kg]
G_K	hmotnost kočky	[kg]
g	gravitační zrychlení	$[m/s^2]$
H	vnější výška	[mm]
h	vnitřní výška	[mm]
k	bezpečnost materiálu	[-]
L	celková délka příčníku	[mm]
l	rozpětí mostu	[m]
M_{F_A}	ohybový moment od reakce F_{RAy}	[N.mm]
M_{F_B}	ohybový moment od reakce F_{RBy}	[N.mm]
O	osová vzdálenost mezi koly	[mm]
P_3	vzdálenost od působiště síly *F* k bodu *B*	[mm]
P_4	vzdálenost od působiště síly *F* k bodu *A*	[mm]
P_5	vzdálenost od bodu *B* na konec příčníku	[mm]
P_6	vzdálenost od bodu *A* na konec příčníku	[mm]
Q	hmotnost břemene	[kg]
t	tloušťka stěny bočních pásu	[mm]
W_O	průřezový modul v ohybu	$[mm^3]$
σ_O	ohybové napětí	[MPa]
σ_t	mez kluzu materiálu	[MPa]

8 Seznam příloh

Příloha 1 Sestavný výkres příčníku

Příloha 2 Výkres – Boční pás 1

Příloha 3 Výkres – Boční pás 2

Příloha 4 Výkres – Spojovací deska horní

Přílohy jsou přiloženy v deskách bakalářské práce.