

NÁVRH OCELOVÉ KONSTRUKCE MĚŘÍCIHO PRACOVISTĚ PRO ŘÍZENÍ ROZBĚHU JEŘÁBOVÉ KOČKY

DESIGN OF STEEL CONSTRUCTION OF THE MEASUREMENT ASSEMBLY FOR STEPLESS SPEED CONTROL OF AN ELECTRIC HOIST

Pavel Vraník¹

Anotace: Příspěvek popisuje návrh ocelové konstrukce měřicího pracoviště pro řízení rozběhu jeřábové kočky, resp. ověření teorie popisující kývání břemene při rozjezdu jeřábové kočky. Důraz je kladen na návrh mechanické části měřicího pracoviště, tj. nosné ocelové konstrukce.

Klíčová slova: měřicí pracoviště, jeřábová kočka, ocelová konstrukce, hlavní nosník

Summary: This contribution describes a design of steel construction of the measurement assembly for a stepless speed control of an electric hoist, or the checking of theory describing the swinging of a load during its start-up. The emphasis is placed on the design of the steel construction.

Key words: measurement assembly, electric hoist, steel construction, main girder

ÚVOD

Měřicí pracoviště je nezbytným prvkem pro realizaci praktické části disertační práce, tj. ověření dané teorie či problematiky a provedení technického experimentu, apod.

Vzhledem k tomu, že měřicí pracoviště do jisté míry nahrazuje reálné zařízení či skutečné provozní podmínky (v tomto případě rozjíždějící se mostový jeřáb), je nutné se při jeho návrhu co nejvíce přiblížit reálnému provozu, aby byly získané výsledky věrohodné a zároveň užitečné.

1. NÁVRH MĚŘÍCIHO PRACOVISTĚ

1.1 Podmínky a omezení ovlivňující umístění měřicího pracoviště

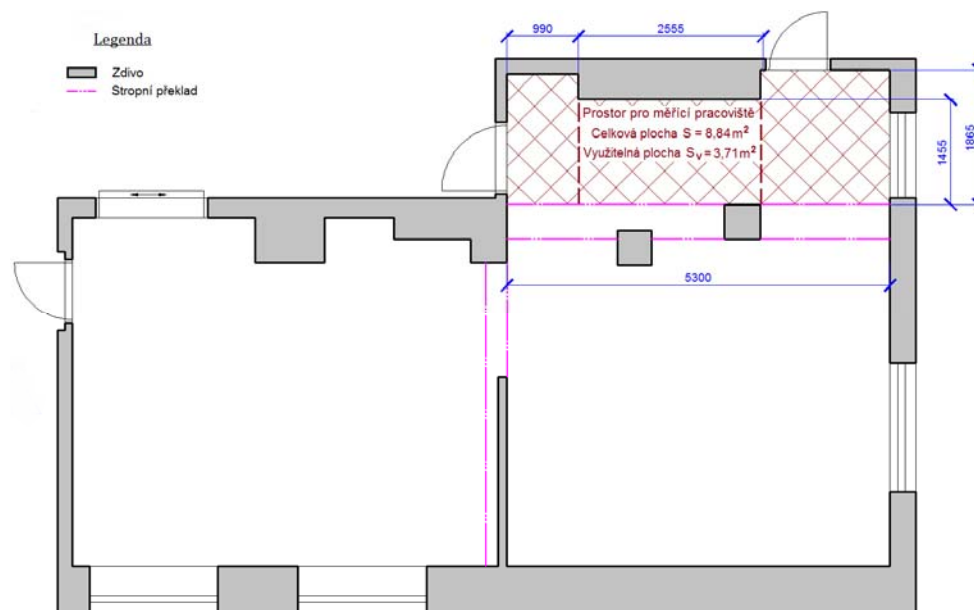
Základní podmínkou pro měřicí pracoviště sloužící k simulaci stavu kývání břemene při rozjezdu podvěsné jeřábové kočky je maximální možná výška pracoviště a tedy co největší délka odvinutého lana, na jehož konci bude zavěšeno břemeno.

V souladu s tímto požadavkem je tedy nutno najít v laboratoři, v níž má být ocelová konstrukce měřicího pracoviště umístěna, plochu s odpovídající výškou a samozřejmě i dostatečnou šířkou.

Při hledání této plochy byla jako nejvhodnější vybrána plocha zvýrazněná na níže uvedené půdorysné dispozici laboratoře (obr. 1), která jednak vyhovuje výškově, jednak je

¹ Ing. Pavel Vraník, VŠB-TU Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, Ústav dopravních a procesních zařízení, 17. listopadu 15/2172, 708 33 Ostrava – Poruba, Tel.: +420 597 321 719, E-mail: pavel.vranik@vsb.cz

ohraničena sloupy a zejména stropními železobetonovými překlady, které umožňují příčné ukotvení ocelové konstrukce měřicího pracoviště.



Zdroj: Autor

Obr. 1 - Půdorys laboratoře s vyznačením plochy pro umístění měřicího pracoviště

Jak vyplývá z obr. 1, prostor pro měřicí pracoviště je umístěno v místě, ke kterému je ergonomicky dostatečný přístup z několika stran, což však na druhé straně nedovoluje plné využití půdorysné plochy. Nicméně, vzhledem k výšce stropu v tomto prostoru, která činí $h_s = 3,35$ m a je tedy přesně o 0,25 m vyšší než jinde v laboratoři, se jedná o nejpříjemnější variantu, a tudíž je možno přistoupit k vlastnímu návrhu měřicího pracoviště, resp. ocelové konstrukce.

S ohledem na předpokládanou nosnost konstrukce, její vlastní hmotnost a rovněž hmotnost jeřábové kočky bylo nutno provést znalecký posudek, který potvrdil, že únosnost podlah je dostačující.

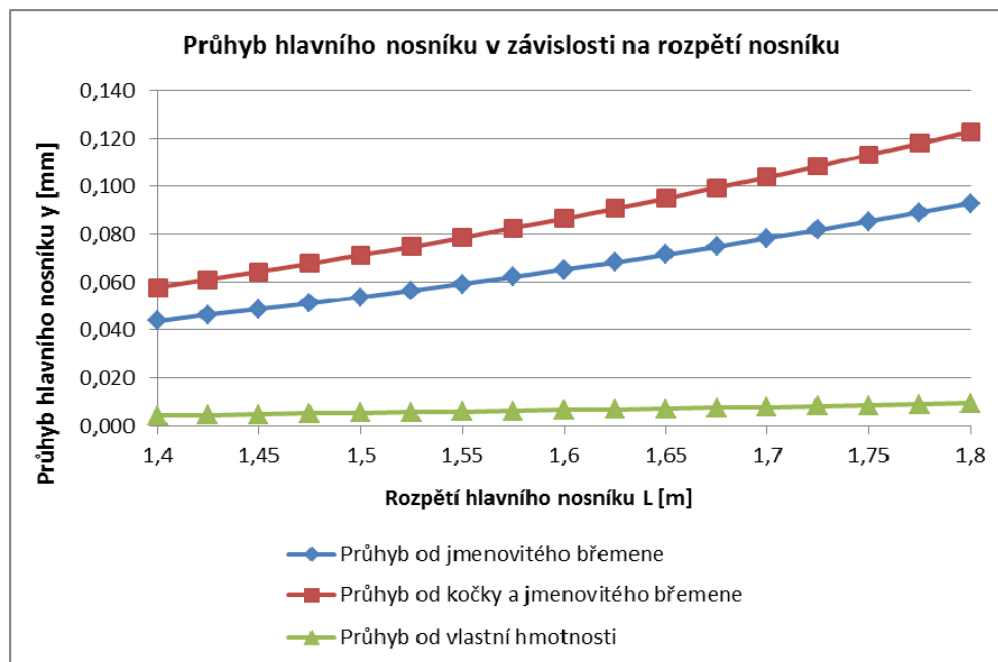
1.2 Podmínky a omezení ovlivňující návrh ocelové konstrukce

Při návrhu ocelové konstrukce je vycházeno jednak z již zmíněné maximální možné výšky konstrukce dané výškou stropu, jednak z dovolené šířky. Ta musí být nanejvýše takové hodnoty, aby ocelová konstrukce měřicího pracoviště nezasahovala do vstupních prostor místnosti a byl tak zaručen bezproblémový přístup ke dveřím.

Další omezující podmínkou je tuhost ocelové konstrukce. Při rozběhu jeřábové kočky a následném kývání břemene, stejně jako za klidového stavu by ocelová konstrukce měla mít pouze minimální průhyb, aby nedošlo k ovlivnění měření vlivem nerovnosti (sklonu) jeřábové dráhy. Kompromisem je tedy volba rozpětí hlavního nosníku - na jedné straně by mělo být co možná nejdelší, aby byl zabezpečen bezproblémový rozjezd kočky na jmenovitou rychlost pojezdu, na druhé straně je rozpětí ve vztahu (2) pro průhyb nosníku ve třetí mocnině, což znamená výrazný nárůst průhybu při sebemenším zvýšení rozpětí jeřábu (viz obr. 2 níže).

S ohledem na výše uvedený graf volím rozpětí hlavního nosníku $L = 1,665$ m, které

svou velikostí zaručuje jednak bezproblémový rozjezd kočky na požadovanou rychlost za požadovaný čas, jednak by nemělo výrazně ovlivnit tuhost konstrukce.



Zdroj: Autor

Obr. 2 - Průhyb hlavního nosníku v závislosti na zvoleném rozpětí nosníku L m

Poslední omezující podmínkou je požadavek, aby ocelová konstrukce, především tedy stojiny, byly se základním profilem ukotveným do podlahy spojeny rozebíratelným spojením a to zejména z důvodu snazších přepravních podmínek ocelové konstrukce.

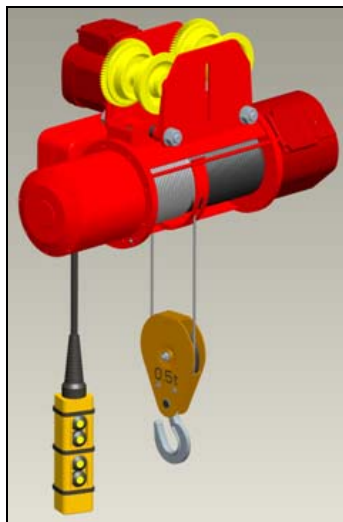
1.3 Volba jeřábové kočky

S ohledem na řešenou problematiku volím elektrický lanový kladkostroj bulharské společnosti Balkancar, model 13T 10236 M A (viz obr. 3), jehož vlastnosti jsou uvedeny v tabulce níže.

Tab. 1 - Vlastnosti zvolené jeřábové kočky

Jmenovitá nosnost	500	[kg]	Výkon motoru zdvihu	0,15/0,75	[kW]
Zdvih	12	[m]	Výkon motoru pojezdu	0,1	[kW]
Rychlost mikrozdvihu	1,4	[m.min ⁻¹]	Kmitočet	50	[Hz]
Rychlost zdvihu	8	[m.min ⁻¹]	Napětí	380	[V]
Rychlost pojezdu	20	[m.min ⁻¹]	Průměr lana	6	[mm]
Vlastní hmotnost	163	[kg]	Rok výroby	1991	

Zdroj: Autor



Zdroj: Autor

Obr. 3 - 3D model zvolené jeřábové kočky Balkancar

Zvolená jeřábová kočka bude napájena z měniče kmitočtu Meiden Thyfrec VT200S, prostřednictvím kterého bude regulována rychlost a zrychlení pohonu pojezdu jeřábové kočky a zkoumány závislosti mezi zmíněnými veličinami a kmitáním břemene.

1.4 Návrh ocelové konstrukce

Dle (1), přílohy VIII., nemá maximální povolený průhyb pro jednonosíkové mostové jeřáby s elektrickým kladkostrojem překročit hodnotu danou vztahem

$$y = \frac{L}{500} \text{ [mm]} \quad (1)$$

Vztah pro průhyb nosníku zatíženého osamělou silou uprostřed nosníku je dle (2)

$$y = \frac{(Q + m_K) \cdot g \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I_x} \text{ [mm]} \quad (2)$$

kde: L - rozpětí hlavního nosníku (viz obr. 2), L = 1,665 m

Q - jmenovitá hmotnost břemene (nosnost), Q = 500 kg

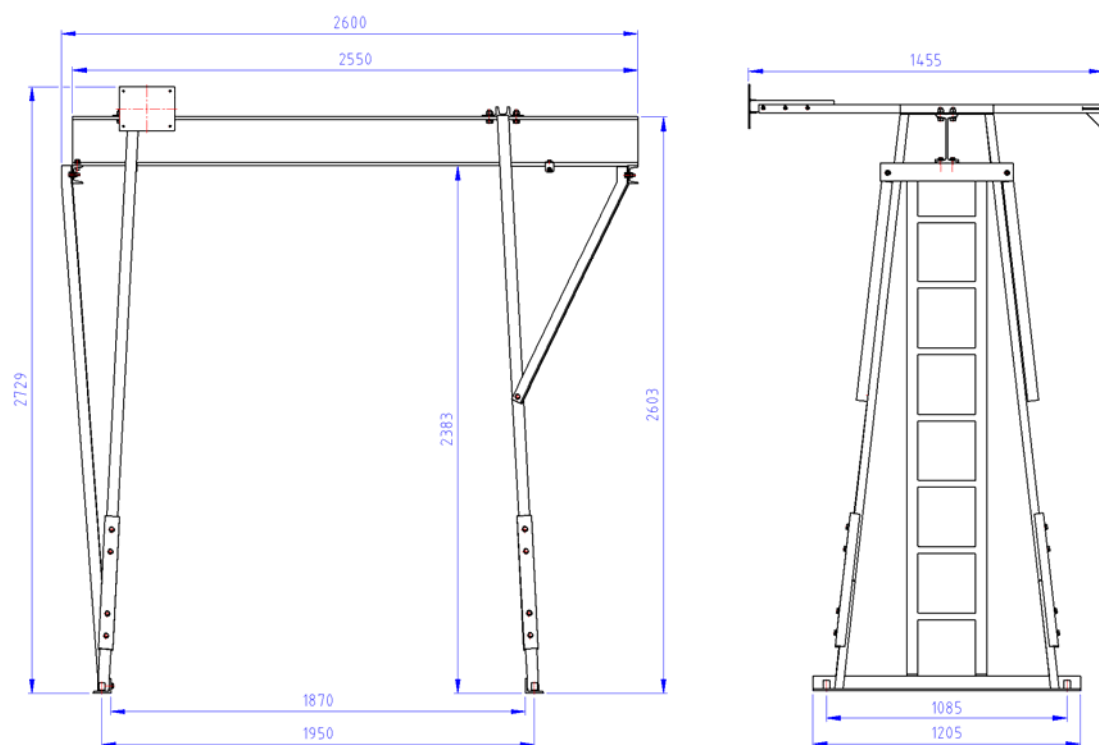
m_K - hmotnost jeřábové kočky, $m_K = 163$ kg

E - Youngův modul, pro ocel E = $2,1 \cdot 10^{11}$ Pa

Dosazením výše uvedené podmínky (1) do vztahu (2) za průhyb získám potřebný moment setrvačnosti I_x :

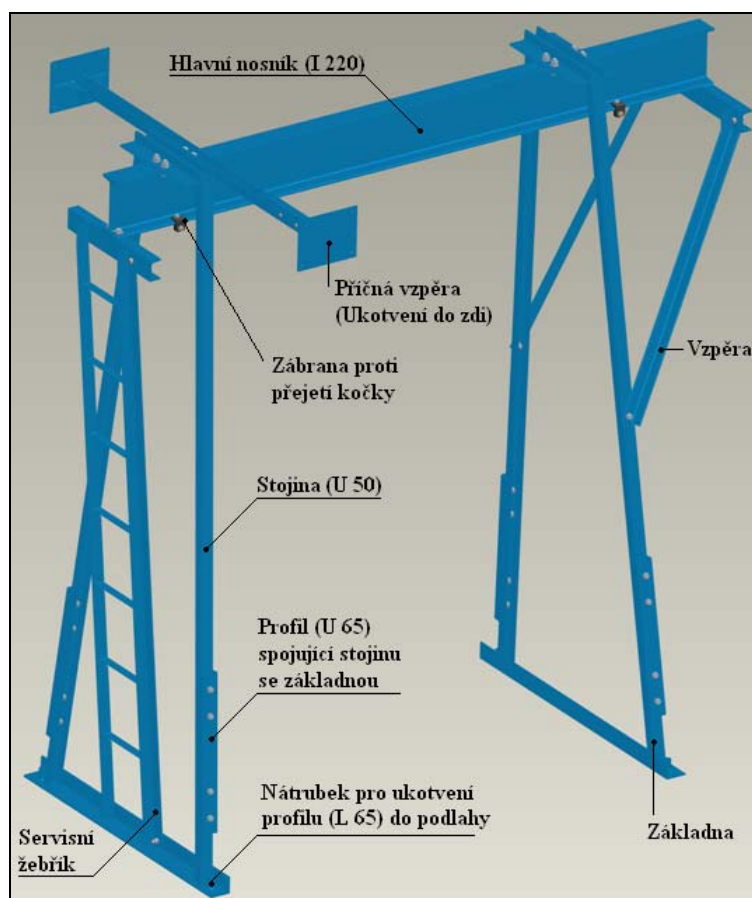
$$I_x = \frac{500 \cdot (Q + m_K) \cdot g \cdot L^2}{48 \cdot E} = \frac{500 \cdot (500 + 163) \cdot 9,81 \cdot 1,665^2}{48 \cdot 2,1 \cdot 10^{11}} = \underline{8,94 \cdot 10^{-7}} \text{ m}^4 \quad (3)$$

Vypočtený, minimální moment setrvačnosti je poměrně nízké hodnoty, nicméně podmínka dovoleného průhybu definovaná vztahem (1) nezaručuje námi požadovanou tuhost konstrukce. Proto s ohledem na požadovanou vysokou tuhost konstrukce volím jako hlavní nosník symetrický válcovaný profil I 220 a jako stojiny volím válcované profily U 50.



Zdroj: Autor

Obr. 4 - Rozměry ocelové konstrukce měřicího pracoviště



Zdroj: Autor

Obr. 5 - 3D model ocelové konstrukce měřicího pracoviště

Hlavní nosník je připojen ke stojinám prostřednictvím osmi vysokopevnostních šroubů M16x60 pevnostní třídy 8.8, zatímco spojení stojiny se základnou je realizováno rovněž vysokopevnostními šrouby stejné pevnostní třídy, avšak rozměru M 12x50.

Veškerá šroubová spojení jsou navržena s vysokou bezpečností, opět z důvodu požadavku na vysokou tuhost a to nejen konstrukce samotné, nýbrž i spojení.

Materiálem obou profilů je ocel 11 373.0 se zaručenou svařitelností, která má dle (3) výpočtovou pevnost $R_d = 210$ MPa.

Tuhost konstrukce dále zvyšují vzpěry a servisní žebřík, příčné vzpěry zakotvené celkem osmi šrouby do zdi a do stropního překladu zachycují vodorovné boční síly od zrychlujícího kladkostroje.

O vysoké tuhosti navržené ocelové konstrukce nejlépe vypovídá výpočet pomocí MKP uvedený v následující kapitole.

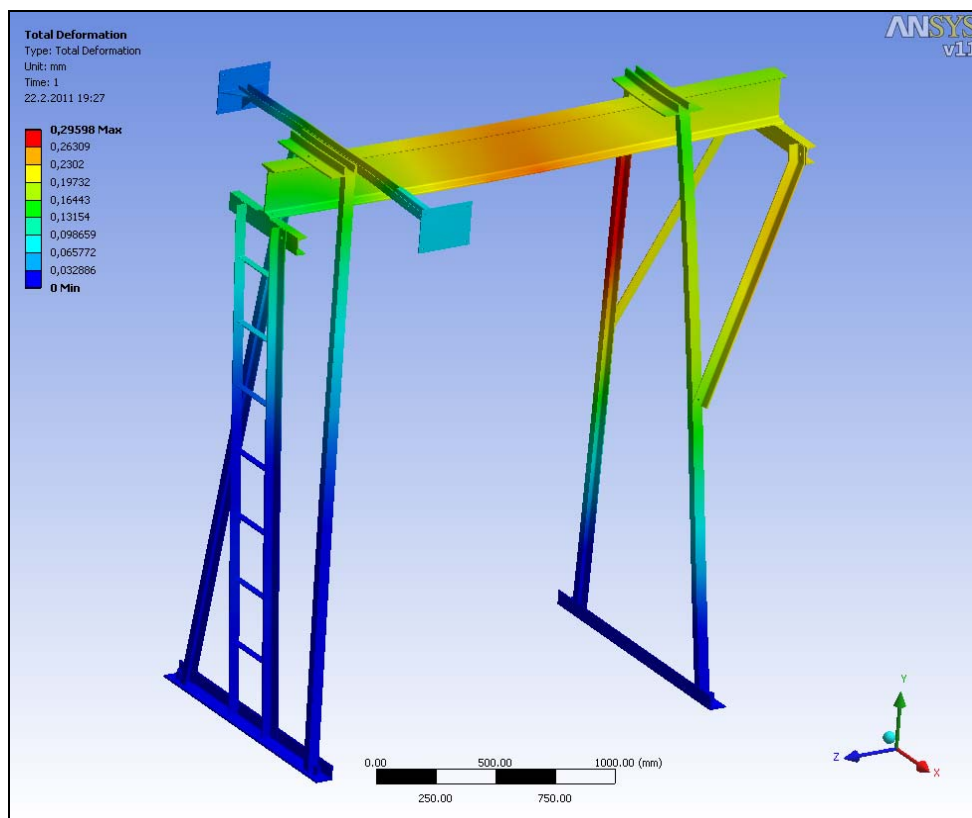
1.5 Výpočet ocelové konstrukce pomocí MKP

Ocelová konstrukce byla navržena ve 3D parametrickém CAD systému Pro/ENGINEER, který umožňuje pomocí funkce *Surface Region* v režimu Pro/MECHANICA vytvořit dílčí plochy (regiony), na něž budou zadány okrajové podmínky, konkrétně kolové tlaky jeřábové kočky - vzhledem k tomu, že pojezdová kola elektrického podvěsného kladkostroje jsou kónická, jedná se o přímkový dotyk. Je vhodné podotknout, že právě zadávání okrajových podmínek bez zjednodušujících předpokladů je nutností pro dosažení správných a věrohodných výsledků.

Výpočet ocelové konstrukce prostřednictvím MKP je proveden v programu ANSYS Workbench, přičemž bylo využito exportu z prostředí již zmíněného programu Pro/ENGINEER.

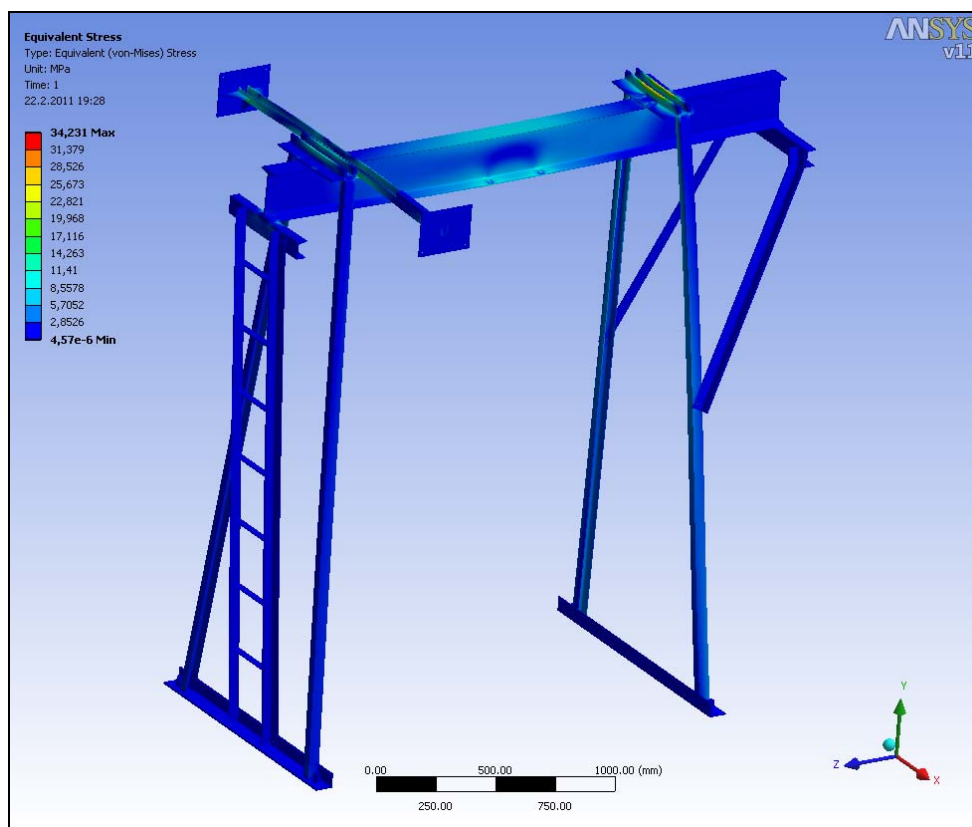
Z obr. 6 uvedeného na následující straně vyplývá hodnota průhybu (zahrnující jak hmotnost břemene a jeřábové kočky, tak vlastní hmotnost konstrukce) $y_c = 0,296$ mm svědčí o již zmíněné vysoké tuhosti navržené ocelové konstrukce. Tím je splněn primární požadavek kladený na ocelovou konstrukci.

Maximální dosažené ekvivalentní napětí o hodnotě 34,23 MPa je rovněž vzhledem k hodnotě výpočtové pevnosti poměrně nízké. Na obr. 7 je možné vidět průběh napětí v I profilu vlivem působení kolových tlaků jeřábové kočky. Pro úplnost uvedme, že osová vzdálenost pojezdových kol, tj. rozvor má hodnotu $e = 250$ mm.



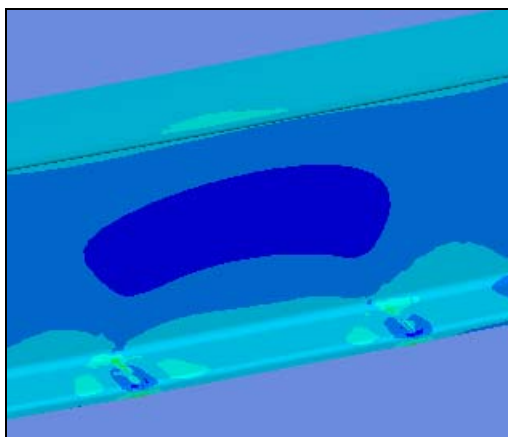
Zdroj: Autor

Obr. 6 - Průhyb navržené ocelové konstrukce



Zdroj: Autor

Obr. 7 - Průběh ekvivalentního napětí v navržené ocelové konstrukci



Zdroj: Autor

Obr. 8 – Detail průběhu napětí pod pojezdovými koly jeřábové kočky

1.6 Posouzení hlavního nosníku na druhý mezní stav

Dle (1) má amplituda rozkmitaného jeřábového mostu (v tomto případě hlavního nosníku) vzniklá odložením břemene klesnout nejpozději za čas $t_{t1} = 15$ s na hodnotu max. $a_{mp} = 0,5$ mm.

- Statický průhyb od jmenovitého břemene

$$y_{ST} = \frac{Q \cdot g \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I_{xI220}} = \frac{500 \cdot 9,81 \cdot 1,665^3}{48 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 3,06 \cdot 10^{-5}} \cong 0,073 \text{ mm} \quad (4)$$

- Tuhost hlavního nosníku

$$c_0 = \frac{Q \cdot g}{y_{ST}} = \frac{500 \cdot 9,81}{0,073} = 6,683 \cdot 10^4 \text{ N/mm} \quad (5)$$

- Redukovaná hmotnost hlavního nosníku a kočky:

$$m_{red} = \frac{17}{35} \cdot m_n \cdot L + m_K = \frac{17}{35} \cdot 31,1 \cdot 1,665 + 163 = 188,15 \text{ kg} \quad (6)$$

kde: m_n [kg/m] - délková hmotnost hlavního nosníku, pro I 220 je $m_n = 31,1$ kg/m.

- Frekvence vlastního kmitání mostu

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{c_0}{m_{red}}} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{6,683 \cdot 10^4 \cdot 10^3}{188,15}} = 94,85 \text{ [s}^{-1}] \quad (7)$$

- Čas t_{t1} [s], během kterého klesne amplituda $y_{ST} = 0,073$ mm na hodnotu 0,5 mm.

$$t_{t1} = \frac{\ln(2 \cdot y_{ST})}{f \cdot \nu} = \frac{\ln(2 \cdot 0,073)}{94,85 \cdot 0,1} \cong 0,202 \text{ s} \quad (8)$$

kde: ν – logaritmičtý dekrement útlumu kmitání, dle (1), VII. přílohy, odpovídá

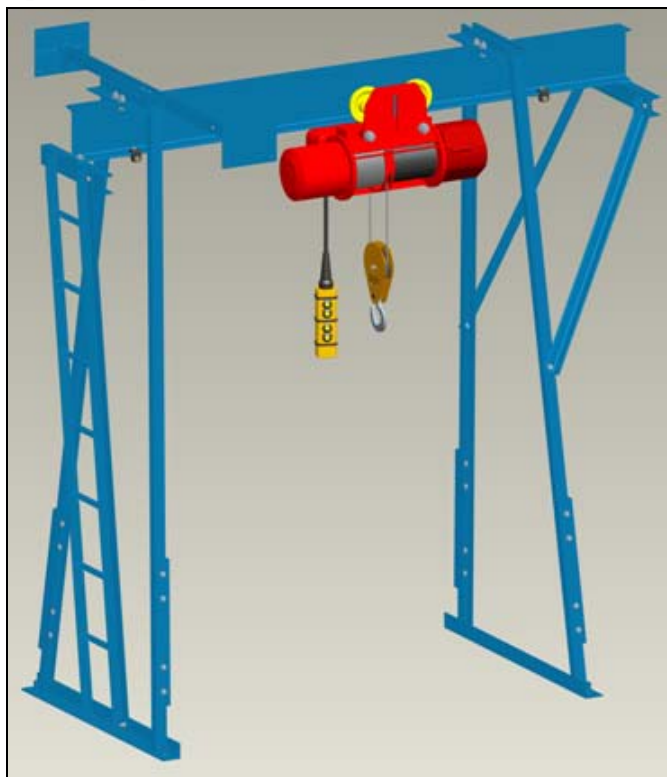
poměru $\frac{h}{L} = \frac{220}{1665} = 0,132 \approx \frac{1}{8}$ logaritmičtý dekrement útlumu $\nu = 0,1$ [-].

Je zřejmé, že tuhost ocelové konstrukce je opravdu vysoká, o čemž svědčí jak průhyb od jmenovitého břemene, tak i průhyb od břemene a jeřábové kočky, stejně jako minimální hodnota času útlumu.

Nosník na druhý mezní stav vyhovuje.

1.7 Vizualizace navržené ocelové konstrukce měřicího pracoviště

Vizualizace navržené ocelové konstrukce je konečnou fází návrhu, kdy je možné v rámci sestavy ve 3D prostředí jednak naposledy zkontrolovat jednotlivé prvky a jejich spojení a zároveň tyto prvky např. barevně sladit.



Zdroj: Autor

Obr. 9 - 3D model navržené ocelové konstrukce měřicího pracoviště

ZÁVĚR

Dle požadavků byla navržena ocelová konstrukce měřicího pracoviště, která bude podle tohoto návrhu v nejbližší době vyrobena. Konstrukce vyhovuje jak na první, tak na druhý mezní stav, má vysokou tuhost a v neposlední řadě poměrně nízkou vlastní hmotnost. Celá konstrukce byla zkontrolována pomocí MKP.

Po vyrobení a následně sestavení této ocelové konstrukce a po montáži jeřábové kočky bude toto měřicí pracoviště sloužit již zmíněnému účelu měření kývání břemene při rozjezdu jeřábové kočky. Řešení elektrifikace části měřicího pracoviště a zabezpečení vlastního měření není tématem tohoto článku, a tudíž zde není ani uváděno.

POUŽITÁ LITERATURA

- (1) ČSN 27 0103. *Navrhování ocelových konstrukcí jeřábů. Výpočet podle mezních stavů.* Praha: Federální úřad pro normalizaci a měření, 1981. 68 s.
- (2) LEINVEBER, J., VÁVRA, P. *Strojnické tabulky.* Praha: Albra, 2003. 865 s. ISBN 80-86490-74-2.
- (3) ČSN 73 1401. *Navrhování ocelových konstrukcí.* Praha: Český normalizační institut, 1998. 148 s.