

Portálový jeřáb pro experimentální měření

Bc. Marek Pětník

Vedoucí práce : Ing. Jaroslav Kříčka Ph.D.

Abstrakt

Projekt portálového jeřábu pro experimentální měření v laboratořích Fakulty strojní ČVUT v Praze. Práce zahrnuje vývoj stavebnicové konstrukce, parametrický 3D model a MKP analýzu vybraných dílů. Fyzicky realizovaný model je připraven k tenzometrickému měření. Stavebnicová konstrukce jeřábu umožňuje změny konfigurace zkoušených dílů a svými parametry je koncipovaná pro budoucí měření a experimenty. Ty by se měly zabývat namáháním hlavního nosníku, příhradové konstrukce, pohonem a ovládáním jeřábové kočky a také stykem pojezdových kol kočky s dráhou.

Klíčová slova

portálový jeřáb, konstrukce jeřábů, jeřábový nosník, stavebnicová konstrukce, tvarový zámek, zkušební stand, experimentální měření, MKP, 3D parametrický CAD model

1. Úvod

Realizovaný model jeřábu bude sloužit jako studijní pomůcka pro studenty i jako zkušební stand pro experimentální měření. Hlavní funkce jeřábu, tedy zvedání a manipulace s břemenem, je zde zachována i když nosnost jeřábu bude v řádu stovek kilogramů. Cílem projektu je postihnout všechny hlavní aspekty konstrukce jeřábu a ty zakomponovat do výsledného modelu a vytvořit tím univerzální stand, který bude připravený pro budoucí experimentální měření svými uživatelsky přívětivými vlastnostmi.

2. Parametry jeřábu

2.1. Typ

Z hlediska omezeného rozpočtu a výrobních možností by konstrukce jeřábu měla být jednoduchá a snadno vyrobitelná. Z běžně používaných jeřábů můžeme proto označit automobilový a s pásovým podvozkem jako nevhodný pro daný projekt. I věžový typ se jeví jako nevhodný. Poloportálové, mostové a konzolové typy jsou náročné na zastavěné místo díky potřebné pojezdové dráze. Výstavba dráhy pro jeřáb vyžaduje zásah do konstrukce budovy a to je v případě školních laboratoří nepřípustné. Zbývající typy jsou sloupové, portálové, lanové a speciální. Sloupový jeřáb vyžaduje upevnění do základů, respektive podlahy budovy a to je opět nevhodné. Speciální jeřáby jsou okrajovou skupinou a tvořit jejich zkušební model pro experimentální měření se jeví jako nepraktické. Z posledních dvou typů se jako výhodnější jeví portálový, viz *Obr. 1*. Jeho konstrukce je dostatečně jednoduchá na výrobu a zároveň umožňuje použití klasické jeřábové kočky, oproti lanovému. Jeho konstrukce také poskytuje vhodná místa pro tenzometrická měření. Při kombinaci s pojezdovými koly (pogumovanými) navíc celá konstrukce bude disponovat relativně dobrou manipulovatelností.

- zvolný typ: portálový

pozn.: jeřábová kočka - lanový nebo řetězový kladkostroj s pojezdem



Obr. 1 ukázka portálové konstrukce - jeřáb JASS [1]

2.2. Nosnost

Pro projekt experimentálního jeřábu postačí zařízení o malé nosnosti, a to z důvodů lepší manipulace, nižších nákladů (méně materiálu) a především snadněji simulovatelného zatížení a měření. Konstrukce jeřábu s větší nosností bude mohutnější a například tenzometrické měření bude vyžadovat adekvátně těžší břemeno k dosažení měřitelných hodnot. Naopak konstrukce s příliš malou nosností nebude kompatibilní se sériově vyráběnými díly, například jeřábovou kočkou, která má daný minimální rozměr profilu nosníku. Konkrétně byla zvolena nosnost jeřábu 1 tuna. Od této hodnoty se odvíjí volba jeřábové kočky, následně rozměry hlavního nosníku a dimenzování celé konstrukce.

- zvolená nosnost: 1tuna

3. Konstrukce

3.1. Koncepce uspořádání

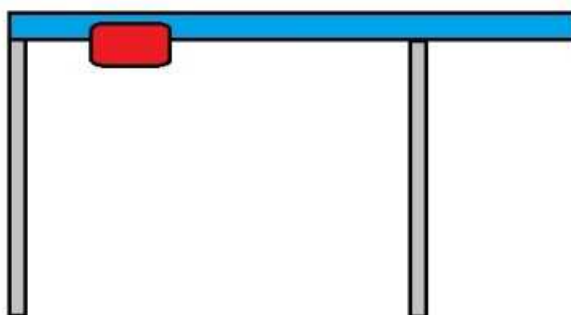
Portálová konstrukce jeřábu by měla být navržena jako stavebnice s následujícími vlastnostmi:

- *opakovatelná rozebíratelnost*
- *nastavitelná výška*
- *vyměnitelný hlavní nosník*
- *pojezd kočky s převislým koncem*
- *snadná manipulovatelnost*
- *malá zastavěná plocha*

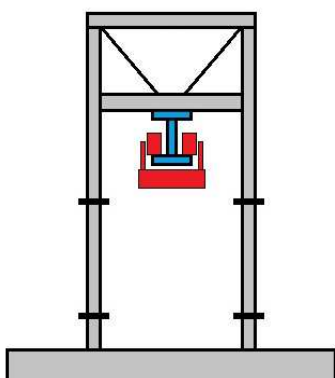
Díky svému určení pro experimentální měření musí být hlavní nosník a kočka dobře přístupné pro obsluhující personál. Proto je důležitý požadavek na výškovou stavitelnost. Jednotlivé díly by mělo být také možno vyměnit a tím zajistit univerzálnost pro různá měření. Navrhnutá portálová konstrukce disponuje jedním převislým koncem a jednoduchými portály, viz *Obr. 2*. Stavebnicová koncepce umožňuje přestavbu uspořádání, například pro použití příhradové konstrukce, viz *Obr. 3*, *Obr. 4* a *Obr. 5*. Jeřábová kočka je zvolena s motorizovaným pojezdem po I-profilu a řetězovým kladkostrojem.

legenda k obrázkům 2,3,4 a 5:

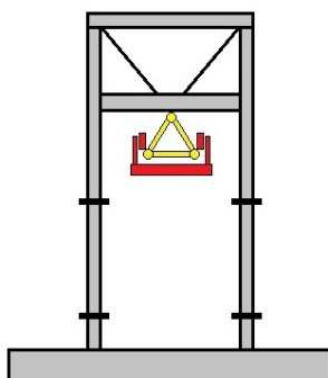
modrá - hlavní nosník / žlutá - příhradovina / šedá - portály / červená - jeřábová kočka



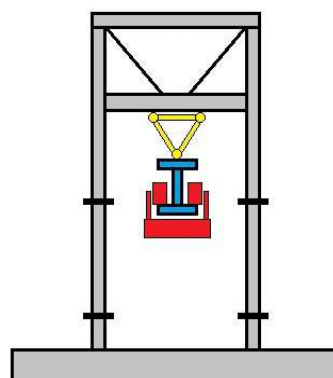
Obr. 2 čelní pohled - hlavní nosník s převislým koncem a dvěma jednoduchými portály



Obr. 3 boční pohled - hlavní nosník I-profilu s jeřábovou kočkou



Obr. 4 boční pohled - příhradová konstrukce s jeřábovou kočkou



Obr. 5 boční pohled - příhradová konstrukce s podvěšeným nosníkem I-profilu a jeřábovou kočkou

3.2. Základní rozměry

Charakteristické rozměry konstrukce jsou stanoveny s ohledem na omezené prostory laboratoře ústavu, kde se jeřáb bude nacházet, a také pro snadnou obsluhu při měření.

délka hlavního jeřábového nosníku:	6 000 mm
rozteč portálů:	4 000 mm
délka převislého konce:	2 000 mm
šířka portálů:	1 000 mm
stavitelná výška hl. j. nosníku:	2600 / 1600 mm

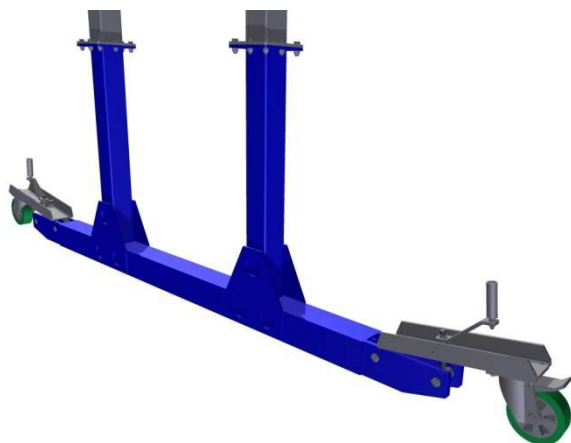
Tyto a další vybrané rozměry jsou v 3D parametrickém CAD modelu snadno a rychle nastavitelné pomocí řídicí tabulky v MS Excel, viz sekce 4.

3.3. Konstrukční řešení



Obr. 6 ISO pohled - kompletní model portálového jeřábu pro experimentální měření

Základem konstrukce jsou ocelové profily I a U společně s uzavřenými profily (jekly). Další díly jsou vyrobeny z plechů jako výpalky nebo z běžného délkového materiálu. Sestava je rozdělena na podsestavy, které jsou tvořeny svařenci, spoje jsou pak realizovány pomocí šroubů. Odlitky, výkovky nebo CNC obrobky jsou výrobně náročné, proto bylo snahou se takovýmto dílům vyhnout. Výsledkem je konstrukce zobrazená na obrázku 6, která umožňuje změnu konfigurace, snadnou montáž a manipulaci, i nenáročnou výrobu.



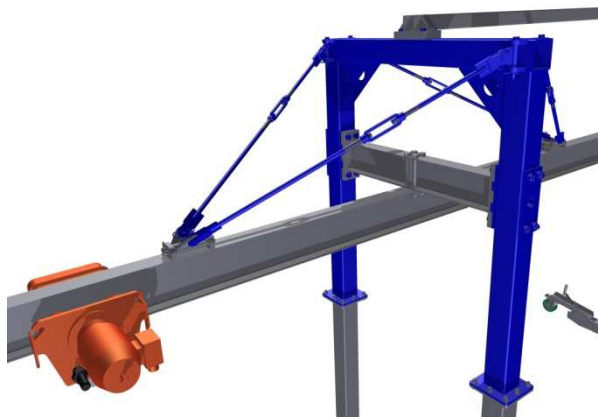
Obr. 7 ISO pohled - spodní díl portálu (modře zvýrazněný) s manipulačním podvozkem

Střední díl (viz Obr. 8) je vyjímatelný a slouží k nastavení výšky jeřábu, konkrétně o 1 000 mm. Jedná se o čtyři jekly s navařenými přírubami na koncích.

Spodní díl portálů (viz Obr. 7) slouží jako základna, na které jeřáb stojí. Horizontální část je tvořena dvěma nosíky U-profilu svařenými do uzavřeného profilu a to z důvodu pevnosti. Vertikální část tvoří dva jekly s navařenými přírubami. Kola připevněná na koncích slouží k manipulaci s jeřábem, díky šroubovému mechanismu se mohou spouštět a zvedat.



Obr. 8 ISO pohled - střední díl (modře zvýrazněný)

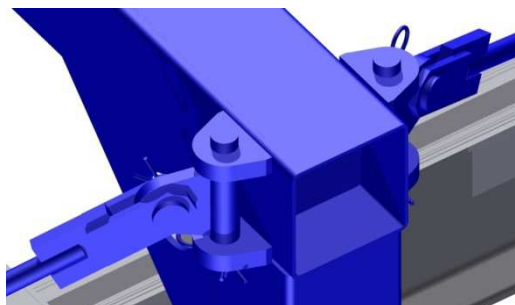


Obr. 9 ISO pohled - horní díl (modře zvýrazněný) s táhly a tvarovým zámkem

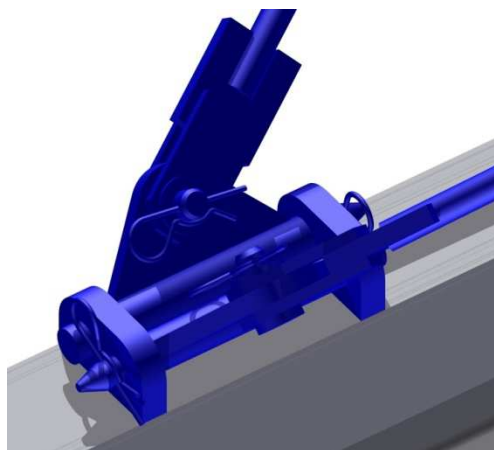
Horní díl portálu s převislým koncem (viz Obr. 9) obsahuje tvarové zámkové prvky pro upevnění příčného nosníku a panty výztužných táhel. Je tvořen jekly a výpalky z plechů.

Horní díl portálu bez převislého konce je shodný, pouze neobsahuje výztužná táhla a panty táhel.

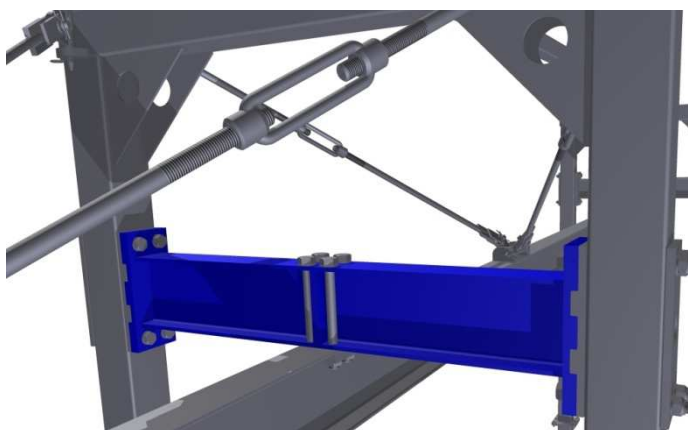
Výztužná táhla s panty (viz Obr. 10 a Obr. 11) slouží k přenosu namáhání jeřábového nosníku (nebo i příhradové konstrukce) na rám portálu. Otáčení ve dvou osách pantu umožňuje eliminaci ohybového namáhání táhel, která tím pádem přenášejí pouze tahové napětí. Panty také dovolují změnu uspořádání konstrukce a polohu táhel. Sestava pantu a táhel je tvořena výpalky z plechu, tyčí kruhového profilu, trubkou a pojistnými závlačkami. Předepínání se realizuje napínací maticí.



Obr. 10 ISO pohled - horní pant výztužných táhel



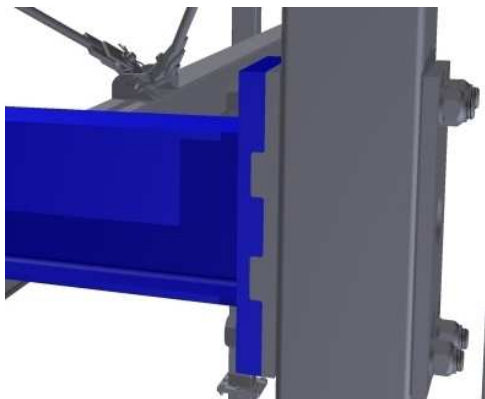
Obr. 11 ISO pohled - spodní pant výztužných táhel



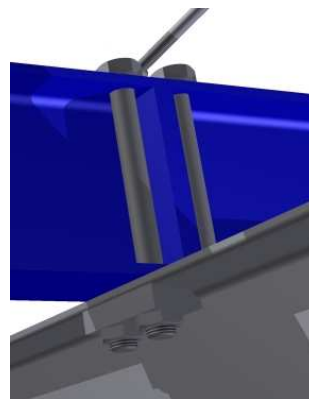
Obr. 12 ISO pohled - příčný nosník (modře zvýrazněný) s tvarovým zámkem

Příčný nosník (viz Obr. 12) drží hlavní jeřábový nosník v rámu portálu. Je tvořen nosníkem I-profilu s navařenými plechy tvarového zámkového prvku na koncích. Díky tvarovému zámku je výměna příčného nosníku snadná a relativně rychlá. V případě více variant hlavního nosníku může mít příčný nosník ze spodní a horní strany jiné úchyty a změna konfigurace se provede pouhým otočením kolem horizontální osy.

Přenos dominantního vertikálního zatížení z jeřábového nosníku na rám portálu se uskutečňuje pomocí tvarového profilu zámku (viz Obr. 13). Případné horizontální zatížení ve směru pohybu jeřábové kočky je zachyceno třením ve svěrném spoji mezi styčnými plochami tvarového zámku, kde je potřebný svěrný tlak zajištěn pomocí předepnutých šroubů. Tyto šrouby jsou tedy namáhány pouze na tah a nikoliv na stříh.



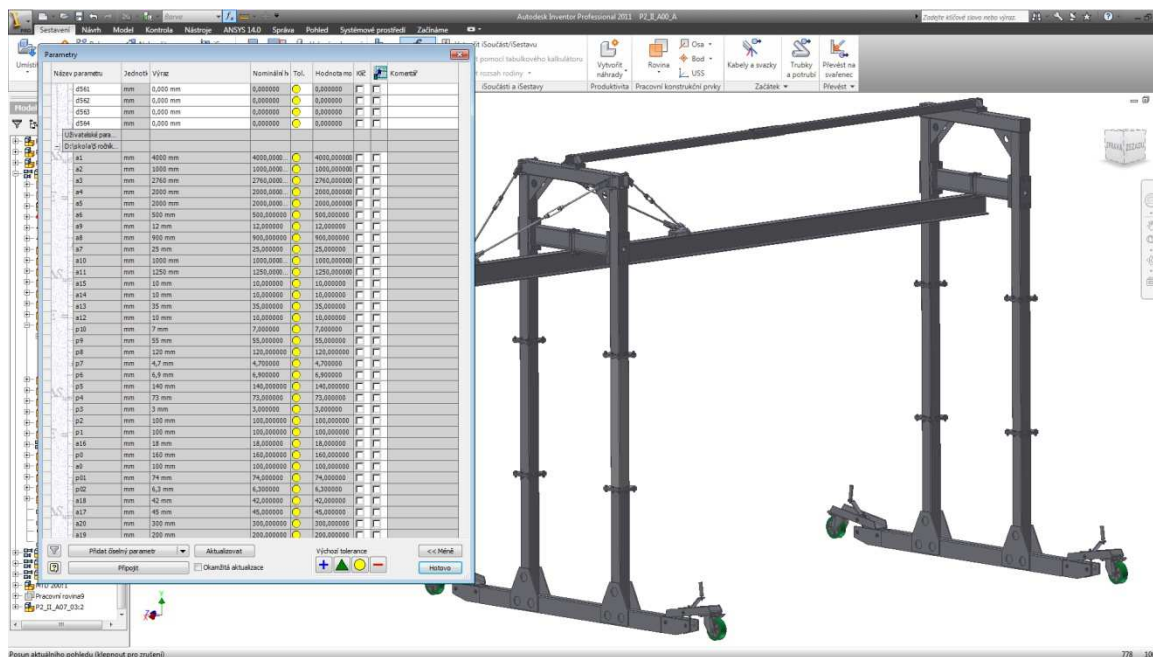
Obr. 13 ISO pohled - detail tvarového zámku



Obr. 14 ISO pohled - detail spoje příčného nosníku s hlavním jeřábovým nosníkem

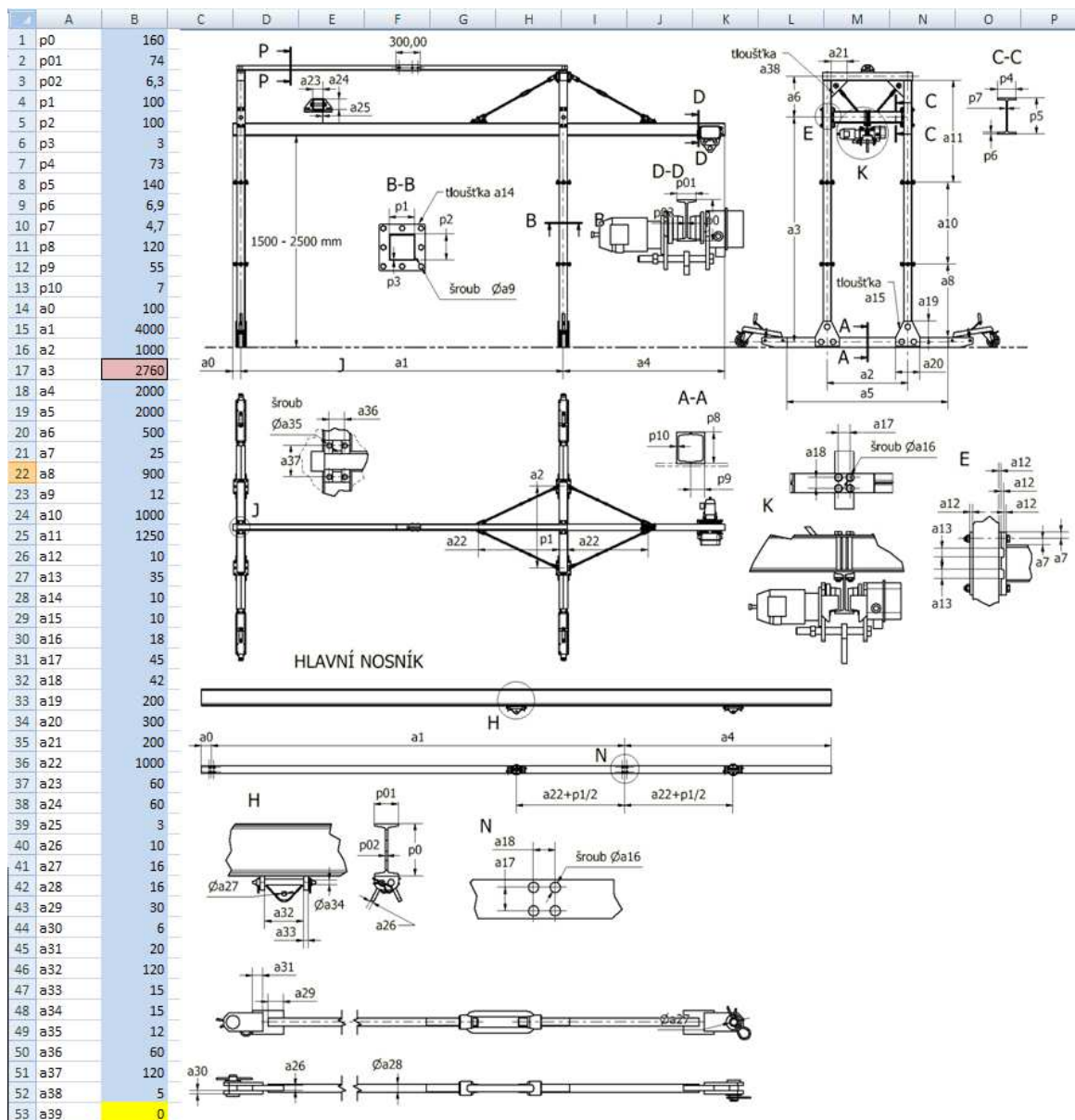
Spoj hlavního jeřábového nosníku a příčného nosníku je realizován opět pomocí předepnutých šroubů. Detail tohoto spoje viz Obr. 14. Pojezdy jeřábových koček jsou obvykle konstruovány pro profily I, které mají vnitřní stranu pásnice skloněnou o 8°. Proto jsou pod maticemi šroubů speciální podložky, které tento sklon kompenzují. Šrouby jsou díky tomu namáhány pouze na tah.

4. 3D parametrický CAD model



Obr. 15 3D parametrický CAD model v programu Autodesk Inventor 2011

Pro jednoduchou změnu vybraných rozměrů byl CAD model (viz *Obr. 15*) provázán s tabulkou kót (*Obr. 16*). To znamená, že kóty běžně zadávané ručně při tvorbě dílů nebo skládání sestav jsou řízeny hodnotami ve zmíněné tabulce. Proto je možné model vytvořit před pevnostními výpočty, na základě kterých pak můžou být rozměry upraveny relativně snadno a rychle.



Obr. 16 řídicí tabulka v programu Microsoft Excel 2007

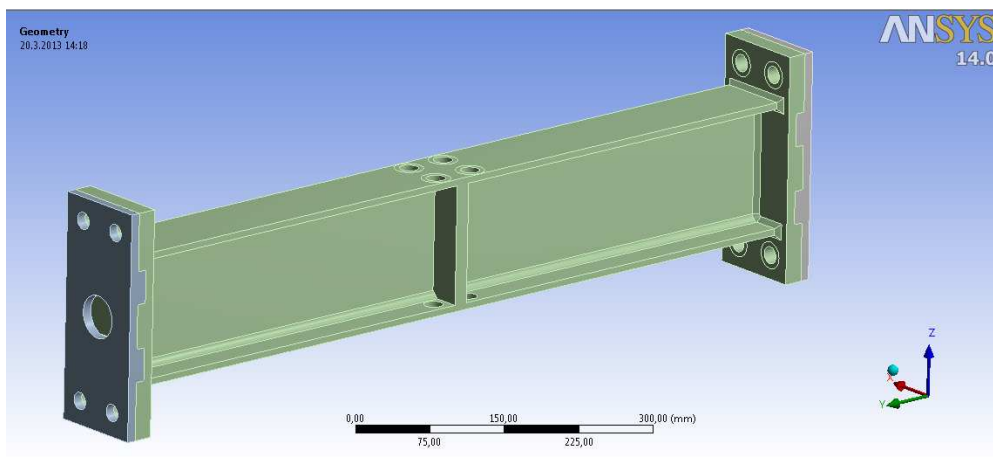
Na obrázku 16 je část řídicí tabulky parametrického modelu, kterou tvoří dva hlavní sloupce hodnot. V prvním jsou názvy kót zvolené libovolně, v tomto případě písmeno a číslo. Ve druhém je konkrétní hodnota kóty zadaná v milimetrech, respektive v jednotkách určených CAD programem. Okótovaný náčrt je do tabulky vložen (jako JPEG obrázek) pouze pro lepší orientaci při změnách rozměrů.

5. MKP analýza

Moderní metoda simulace zatížení a určení namáhání MKP je použita i zde a to na vybraných dílech. I když se jedná o velice účinný nástroj při pevnostních analýzách, je náročný na přípravu, čas a také hardwarové vlastnosti použitého počítače. Je proto důležité stanovit, které díly budou MKP analýze podrobeny. U modelu jeřábu byl vybrán příčný nosník s tvarovým zámkem, viz *Obr. 12* a *Obr. 13*.

MKP analýza se skládá z několika základních kroků, ty jsou následující:

➤ úpravy CAD modelu



Obr. 17 importovaný CAD model z programu Autodesk Inventor 2011 do programu ANSYS 14.0

Pro MKP analýzy se modely zjednodušují aby se šetřil výpočtový čas vzhledem k výkonu počítače. Od jednodušších modelů, kde výpočet proběhl úspěšně, se pak může postupovat ke složitějším. Na obrázku 17 je model příčného nosníku zjednodušený na 3 součásti, který byl importován z programu Autodesk Inventor do programu ANSYS.

➤ nastavení kontaktů a interakcí

Díly sestavy jsou mezi sebou svázány kinematickými vazbami, které ovšem neudávají povahu a místo kontaktů. Tyto parametry se definují pro každou kontaktní dvojici ploch zvlášť. Nastavování kontaktů patří k nejtěžším krokům v MKP.

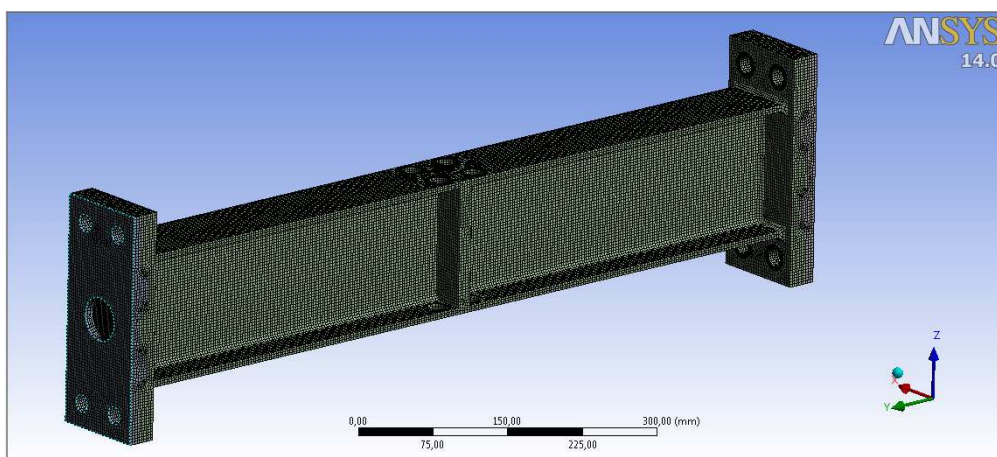
V modelu na obrázku 17 jsou čela tvarových zámků (šedivá barva) nastaveny jako pevné tam, kde budou přivařeny na rám portálu. V místě kontaktu ploch tvarových zámků jsou nastaveny třecí vazby.

➤ nastavení zatížení

Gravitační účinky, vnější silové zatížení nebo zatížení ze zrychlení se zde opět definuje samostatně a vychází z pracovních stavů zkoumané součásti. Do programu se při statické analýze vkládají hodnoty zatížení většinou jako konstanty, které je nutné určit výpočtem nebo volbou jako vstupní veličiny analýzy.

V případě příčného nosníku se zatížení přenáší přes spojovací šrouby. Vstupní veličina je tlak, jehož hodnota se spočítá z působící síly (předpětí a zatížení) a stykové plochy dané rozměrem hlavy šroubu, respektive podložky.

➤ nastavení a tvorba sítě



Obr. 18 takzvaně vysítovaný model v programu ANSYS 14.0

Přesnost výsledků MKP je především ovlivněna kvalitou sítě a proto je její správné nakonfigurování velmi důležité. Takzvané síťování patří společně s nastavením kontaktů k nejobtížnějším částem v MKP.

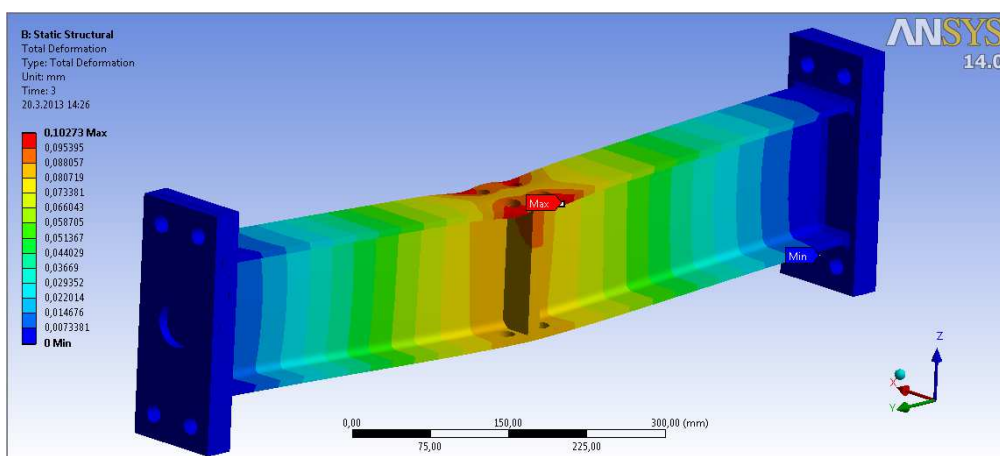
➤ volba požadovaných veličin výsledků

U většiny MKP programů si volíme, které veličiny chceme sledovat. V případě zkoumaného příčného nosníku byly zvoleny následující: celková deformace (*Obr. 19*), poměrná deformace (*Obr. 20*) a napětí (*Obr. 21*).

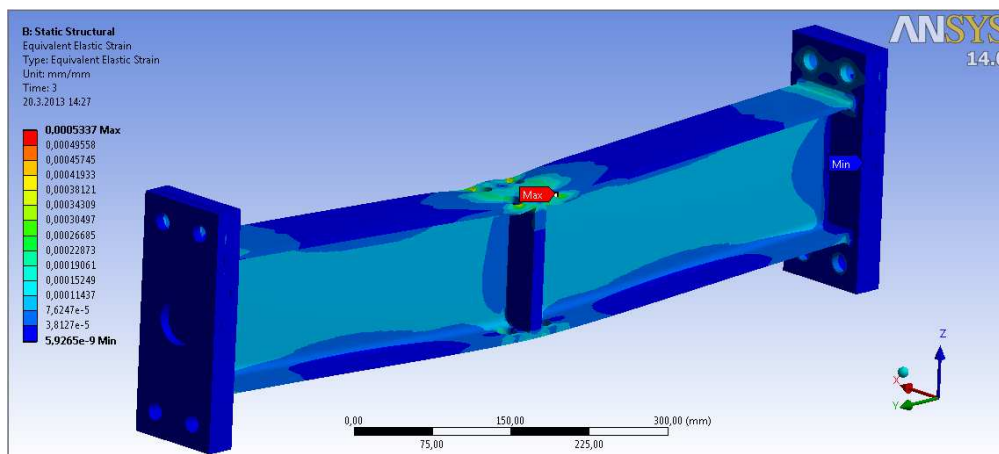
➤ vlastní výpočet a výsledky

Pokud jsou všechny předešlé body splněny, může se spustit výpočet. V závislosti na výkonu počítače a složitosti modelu se odvíjí doba trvání výpočtu, která se může pohybovat od desítek minut až po několik dní u velmi složitých modelů.

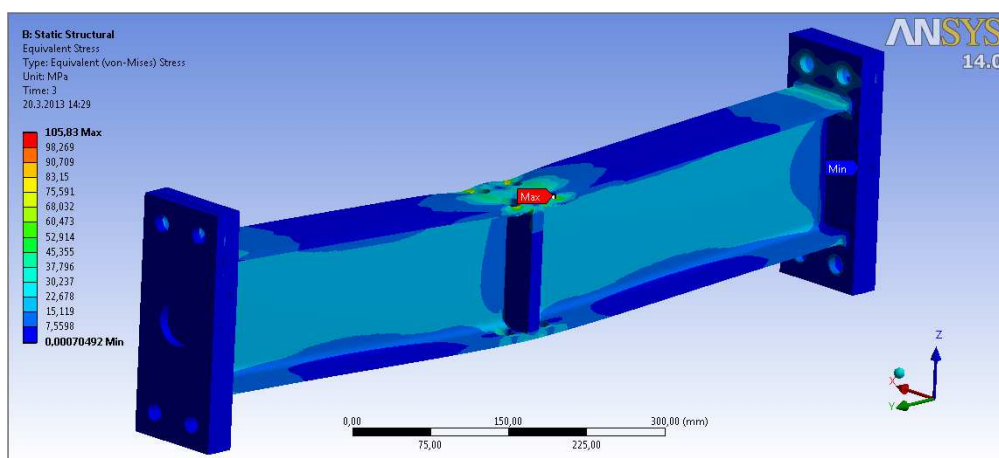
Výsledky jsou reprezentovány barevnou mapou pokrývající model a legendou. Dále většina programů poskytuje několik způsobů zpracování výsledků, například lokace maxima a minima, libovolně umístitelnou sondu nebo zobrazení izoploch.



Obr. 19 grafické znázornění výsledné celkové deformace



Obr. 20 grafické znázornění výsledné poměrné deformace



Obr. 21 grafické znázornění výsledného napětí (von Mises)

6. Závěr

Výsledkem projektu je konstrukční návrh portálového jeřábu s nosností 1 tuna, hmotností 750 kg a řetězovým kladkostrojem s elektrickým pojezdem. Jeřáb je určen pro experimentální měření namáhání konstrukce a experimenty s jeřábovou kočkou. Stavebnicová konstrukce umožňuje jednoduchou přestavbu uspořádání, výměnu jeřábového nosníku za příhradovou konstrukci a snadnou rozebíratelnost. Nastavitelná výška poskytuje uživatelsky příjemné vlastnosti při měření a výškově stavitelná pojezdová kola zajišťují dobrou manipulovatelnost celého jeřábu.

Výstupem práce je 3D parametrický CAD model jeřábu (Autodesk Inventor) provázaný s řídicí tabulkou rozměrů (Microsoft Excel). CAD model lze podrobit dalším MKP analýzám a řídicí tabulka se dá snadno napojit na další výpočtové programy.

Seznam použitých zdrojů

- [1] www.jass.cz
- [2] ŘEZNÍČEK, Jan. Pružnost a Pevnost I Podklady pro přednášky. Praha, 2010. 170s. Dostupné na <http://www.pruznost.unas.cz>
- [3] LEINVEBER, Jan; VÁVRA, Pavel. Strojnické Tabulky. Úvaly: pedagogické nakladatelství Albra, 2006. 914 s. ISBN 80-7361-033-7