

KONSTRUKCE MOSTU S MOŽNOSTÍ POČÍTAČOVÉHO MĚŘENÍ STAVU NAPĚTÍ TENZOMETRY

BRIDGE CONSTRUCTION WITH POSSIBILITY OF COMPUTER MEASUREMENT OF STRAIN USING STRAIN GAUGES"

Jan KRÁL, Jan FADRHONC

Resumé

Výrobkem je demonstrační model příhradové mostní konstrukce. Konstrukce mostu je kovová a je doplněna o dřevěné desky tvořící „podlahu“ mostu. Spojovacím materiálem jsou šrouby. Ke konstrukci jsou připojeny také čtyři tenzometry určené k měření tlakových či tahových sil působících na nosníky. Na modelu lze demonstrovat různé způsoby namáhání mostní konstrukce a síly, jakými jsou tato konstrukce a její jednotlivé části namáhány.

Abstract

This product is demonstrative scale model truss bridge construction. Main frame of the bridge is made of steel and is supplemented by wood boards which creates floor of the bridge. Screws are used as joints. The construction is supplemented by four strain gauges for measuring the pressure or tension forces acting on the girders. The model can demonstrate various ways of stresses and forces by which this construction and its parts are affected.

ÚVOD

Každý učitel se po celou svoji praxi potýká se zásadním problémem, jak přimět žáky, aby dávali pozor, jak je zaujmout, jak je motivovat a nadchnout pro právě probíranou látku. Jedním z našich nástrojů jsou různé pomůcky a praktické ukázky. V této práci Vám představím jednu takovou pomůcku vhodnou do hodiny fyziky i technické výchovy.

POPIS

Pomůckou je demonstrační model příhradové mostní konstrukce. Konstrukce mostu je kovová a je doplněna o dřevěné desky tvořící „podlahu“ mostu. Spojovacím materiálem jsou šrouby. Konstrukce je doplněna o čtyři tenzometry určené k měření tlakových či tahových sil působících na nosníky.

VYUŽITÍ

Model mostu lze využít jako pomůcku ve výuce, jako demonstrační a především interaktivní model, který vyučující může ve své hodině použít. Model lze využít v hodinách fyziky i v technických předmětech. Účelem modelu je demonstrace sil, které působí na jednotlivé části mostní konstrukce.

Velký důraz je zde kladen na interaktivitu. Žáci si mohou sami zkusit zatížit jednotlivé části mostu a na grafech pozorovat, jak se mění síly působící na jednotlivé nosníky. Žáci vyšších ročníků by měli být také schopni určit, na základě výsledků, jenž jim simulace vrací, jaké na most působí síly a co se následně s mostem děje a to i bez většího zásahu vyučujícího.

Je nutné zdůraznit, že se jedná pouze o demonstrační model, nikoliv o simulační. Není tedy možné provádět na základě naměřených hodnot výpočty, které by nám dávaly hodnověrné výsledky.

POUŽITÍ V PRAXI

Demonstrační model byl již v praxi vyzkoušen. Nebyl sice využit při konkrétní výuce ve škole, ale sloužil jako exponát při akcích Noc Vědců 2013 a Dny vědy a techniky v Plzni 2013. Na obou akcích byl tento exponát doprovázen výkladem a setkal se s pozitivním ohlasem.

TVORBA

ČÁSTI

Celý model můžeme rozdělit na základní konstrukci plus další prvky, kterými je „podlaha“ mostu, tenzometry a další elektronika.

Konstrukce mostu je tvořena dvěma prvky. Prvním je takzvaný „ježek“ (Obr. 1), který slouží jako uzel spojující jednotlivé nosníky mostní konstrukce. Ježek se skládá ze dvou částí. První část je podobná šesticípé hvězdě. Principiálně se jedná o 3 ramena položená přes sebe, která jsou vůči sobě pootočena o 60°. Uvnitř takto tvořené hvězdy je otvor o rozměrech 10 x 13 mm. Druhou částí je jedno rameno, které je zalisováno do otvoru ve výše popsané hvězdě. Ježek je tvořen jako univerzální díl, proto ve výsledné konstrukci zůstávají některé konce ježka volné.

Druhým prvkem jsou nosníky (spojovací díly) (Obr. 2), které by v reálu byly vlastními nosníky mostu. Ty jsou tvořeny čtvercovými trubkami o síle stěny 1,5 mm. Všechny nosníky mají stejné rozměry. Výjimku tvoří pouze osm speciálních nosníků, na kterých jsou připevněny tenzometry. Konstrukce se sestavuje tak, že se ježci zasunují do nosníků.

Tenzometry jsou připevněny ke dvěma krátkým nosníkům tak, aby celá část byla stejně dlouhá jako ostatní nosníky a zároveň aby byla mezi dvěma krátkými nosníky mezera překlenutá tenzometrem.

V ježcích i nosnících jsou vyvrtány otvory pro šrouby. Šrouby jsou zde jako spojovací materiál a zajišťují konstrukci požadovanou pevnost.

Jako „podlaha“ mostu (Obr. 3) slouží desky vyrobené z MDF materiálu. Tyto původně čtvercové desky jsou oříznuty tak, aby je bylo možné snadno montovat a demontovat z konstrukce.

Poslední součástí celého modelu je elektronika, dodávaná spolu s tenzometry, která převádí signály z tenzometrů do počítače. Pro měření je nutné připojit počítač s programem Pasco Data studio určeným pro zpracování dat od tenzometrů.

MATERIÁL

Ježci jsou vyrobeni z běžné konstrukční oceli, která poskytuje víc než dostatečnou mechanickou odolnost. Materiálem nosníků je hliník. Hliník sice neposkytuje tak vysokou pevnost, ale zato poskytuje nižší hmotnost celé konstrukce. „Podlahové“ desky mostu jsou z MDF desek.

Materiál, jenž byl použit, vycházel především z dostupnosti. Bylo by možné na jednotlivé části použít vhodnější materiály, ale získání materiálu, či vytvoření jednotlivých částí, by pak bylo náročnější a nákladnější.

POSTUP VÝROBY

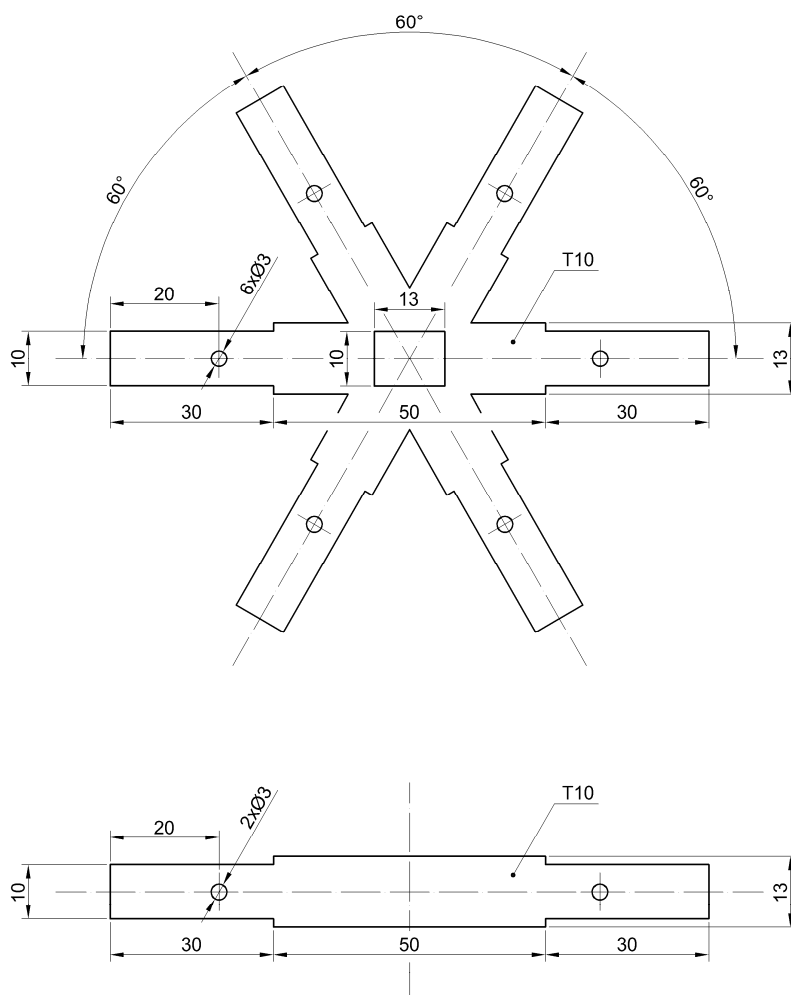
Ježek: Ježci byli vytvořeni metodou laserového vypalování. Následovalo hrubé opracování, a dále se pak horizontální rameno zalisovalo do hvězdice. Nakonec bylo nutné vyvrtat pomocí šablony do jednotlivých ramen díry pro šroubové spoje a celou práci začistit.

Nosník: Nosníky byly vyráběny tak, že se nejprve nařezaly třímetrové čtvercové hliníkové trubky na díly o něco málo větší, než je požadovaný rozměr. Následně se tyto díly zarovnaly z jedné strany a pak z druhé zakrátily a zarovnaly na požadovaný rozměr. Pak bylo ještě nutné trubky začistit a opracovat a podle šablon vyvrtat díry pro šroubové spoje.

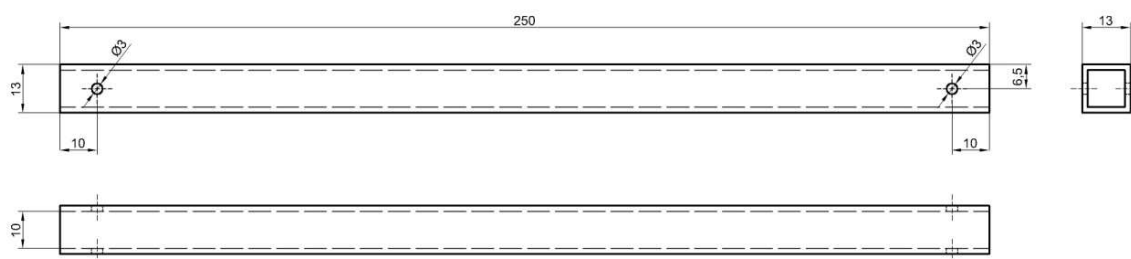
Podlahové desky: Pro tvorbu podlahových desek bylo nutné nejprve nařezat z MDF desky čtverce o velikosti 30 x 30 cm. Pak čtverce pomocí frézky a ruční pily obrobili do požadovaného tvaru.

Tenzometry: Tenzometry jsou součástí stavebnice Pasco. Pro umístění do modelu mostu musely být lehce upraveny a to tak, že byl předělán původní závit na metrický, protože na původní závit nebyly dostupné příslušné šrouby. Tenzometr je přišroubován ke dvěma zkráceným nosníkům. Výroba těchto zkrácených nosníků je prakticky totožná jako u běžných nosníků s tím rozdílem, že délka jednoho dílu je 12,3 cm místo 25 cm. Tenzometr není přišroubován skrz celý spojovací díl, ale pouze k jedné jeho straně.

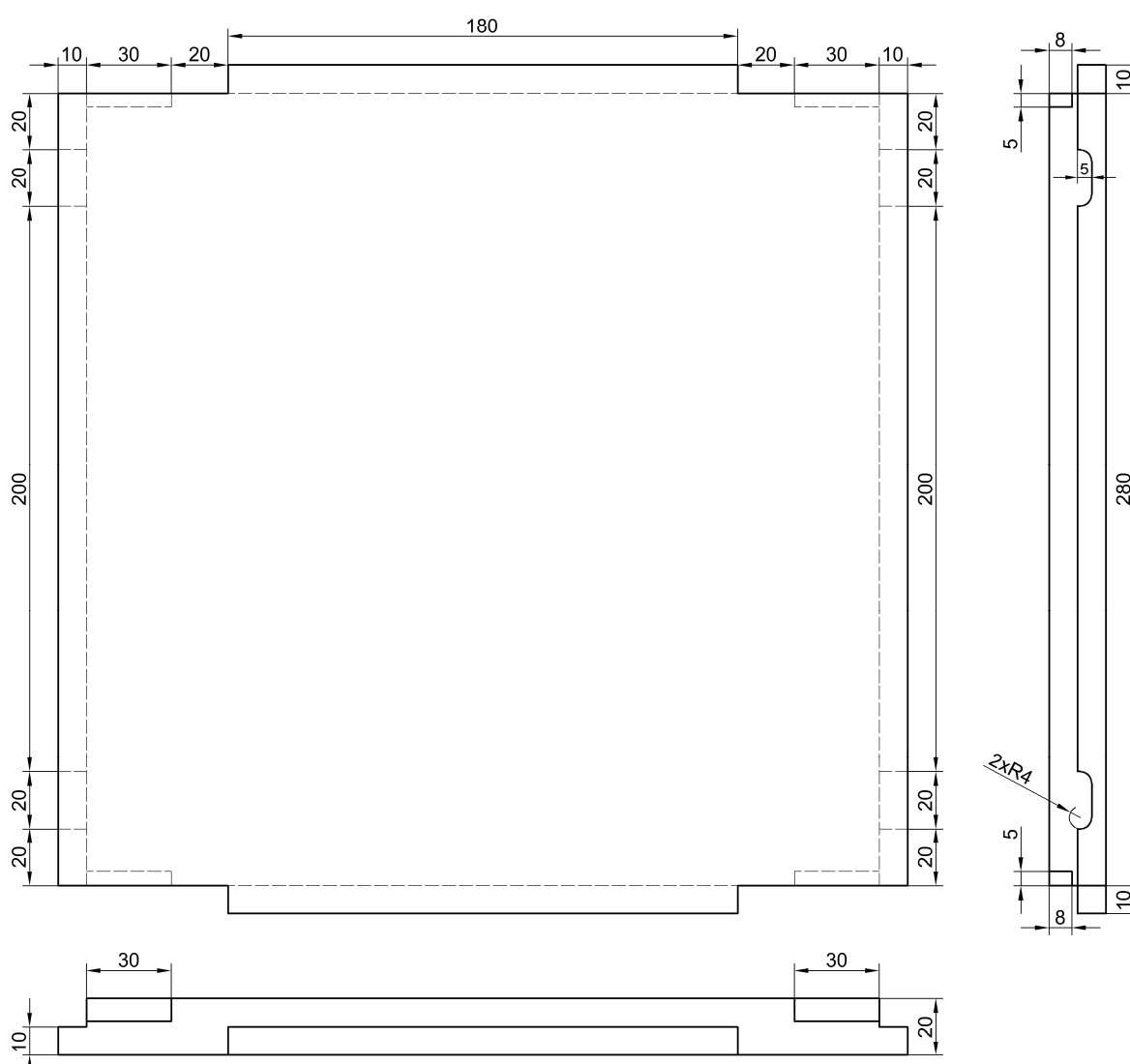
NÁKRES



Obr. 1 – Ježek



Obr. 2 – Nosník (Spojovací díl)



Obr. 3 – Podlahová deska

KONSTRUKČNÍ PROBLÉMY

Jedním ze zásadních konstrukčních problémů je samotné sestavování modelu. Konstrukce mostu se skládá z rovnoramenných trojúhelníků. Pokud ale takovýto trojúhelník chceme sestavit, musíme do sebe zasouvat všechny ježky a spojovací díly najednou, což je velice komplikované. Pokud bychom například sestavili dvě strany trojúhelníku, už by nebylo možné do ježků zasunout poslední stranu, tedy poslední nosník. Ve výsledku to znamená, že se celá jedna strana modelu mostní konstrukce musí sestavovat najednou. A pokud potřebujeme vyměnit jeden díl, musíme opět celou konstrukci rozebrat. Řešení problému je popsáno níže v části Modifikace.

Další problém se týká tenzometrů. Aby nám tenzometry byly schopny vracet viditelné a dobře čitelné údaje, museli jsme v konstrukci přistoupit k tomu, že spojovací díl, na kterém je umístěn tenzometr, je uprostřed přerušen a přerušeni je překlenuto tenzometrem. Pokud by tomu tak nebylo, síly, které by tenzometr zaznamenával, by byly velice malé až neznatelné. Takto dochází k drobnému snížení pevnosti nosníků s tenzometry a ke zkreslení hodnot, jež tenzometry zaznamenávají. Na druhou stranu jsou hodnoty, které z měření vychází, vizuálně názorné a pro demonstrační účely modelu naprosto vyhovující.

Na měření má také vliv pružnost materiálů a především vůle, kterým jsme se při konstrukci nedokázali zcela vyhnout. Z tohoto důvodu byly zvoleny šroubové spoje pro zpevnění konstrukce a snížení vůlí mezi jednotlivými díly. Ve výsledku je dosaženo velké pevnosti a malých vůlí, ale za cenu náročnějšího sestavování modelu.

NASTAVENÍ SNÍMÁNÍ TENZOMETRŮ

Po zapnutí simulace je patrné, že na tenzometry působí již v klidovém stavu bez zatížení určité konstantní síly. Ty jsou způsobené vlastní vahou celé konstrukce modelu a závisí bohužel i na dalších věcech, jako je upevnění modelu. Pro práci s modelem a názornou ukázkou jsou ale pro nás nežádoucí. Řešení je zabudováno již v elektronice dodávané k tenzometrům. Je zde možnost si prakticky kdykoliv vyresetovat nastavení tenzometrů na nulovou hodnotu.

Další věc, kterou je nutno brát v potaz, je, že tenzometry jsou schopny snímat hodnoty pouze do 100 N. Vyšší hodnoty již zaznamenat nemohou. Pokud k tomu ještě vezmeme v úvahu konstantní zatížení modelu vlastní vahou, je vhodné zatěžovat tenzometry silou do 80 N. Tato síla ale není maximálním možným zatížením na určité místo konstrukce. Při zatížení celé konstrukce (např. závažím) se síla rozkládá a na jednotlivé nosníky tak nepůsobí plnou silou. Pokud nebudeme brát v úvahu měření tenzometry, je možné bez obav zatížit most konstantní silou 300 N.

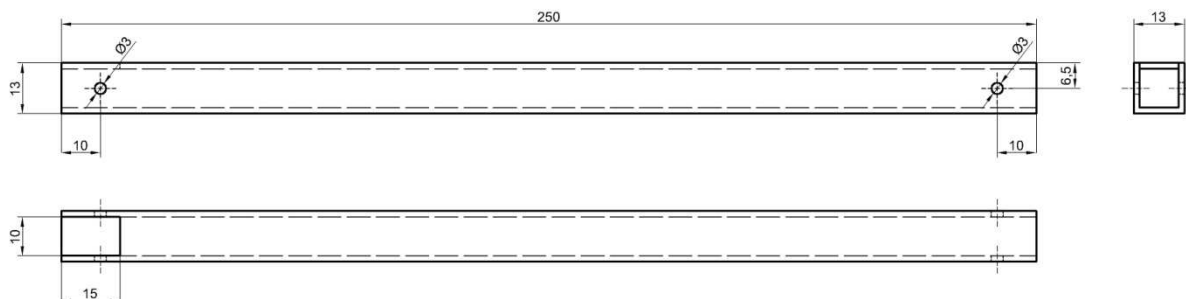
MODIFIKACE

Jednotlivé díly konstrukce jsou tvořeny s ohledem na univerzálnost. Je tedy možné stávající model dále velice snadno upravovat. Základní úhly konstrukce jsou pevně dány, ale je možné most rozšířit, zdvojit výšku konstrukce, či velice jednoduše most prodloužit.

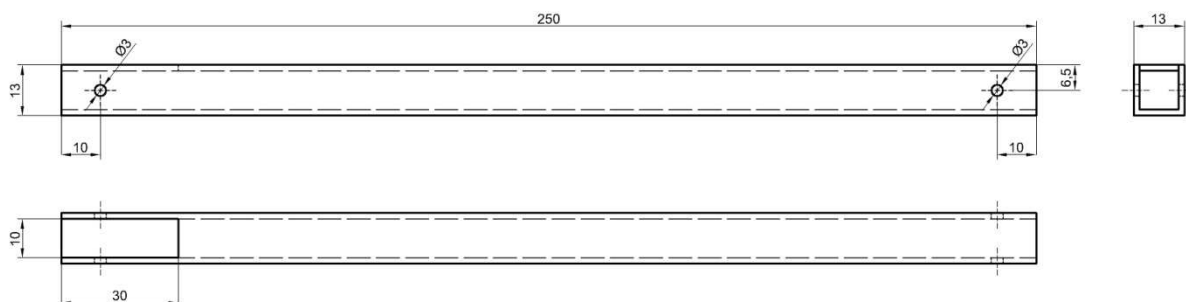
Dále je možné upravit „základní rozměr“ konstrukce tím, že nahradíme stávající nosníky jinými delšími či naopak kratšími díly. To samozřejmě bude mít také vliv na pevnost konstrukce a na obtížnost jejího sestavování.

Pokud bychom chtěli, aby most byl použitelný nejenom jako model, ale také jako stavebnice, bylo by nutné provést úpravu nosníků. Nosníky se musí upravit tak, aby samotné sestavování modelu bylo jednodušší. Zde máme na výběr dvě varianty. V první variantě

(Obr. 4) se jedna strana (horní či dolní, nikoliv boční) nosníku odřízne o 1,5 cm, což je polovina délky, do které se do sebe ježek a nosník zasunují. Takto upravené nosníky umožní snadnější sestavování modelu, ale sníží jeho pevnost. Ve druhé variantě (Obr. 5) se tato strana odřízne o 2 až 3 cm. Opět tedy dojde ke zjednodušení sestavování za cenu ještě rapidnějšího úbytku pevnosti.



Obr. 4 – Úprava nosníku – varianta 1



Obr. 5 – Úprava nosníku – varianta 2

Kontaktní adresa

Bc. Jan Král, ZČU KMT, kralj3@students.zcu.cz