



Středoškolská technika 2017

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

MODEL LODĚ S PARNÍM POHONEM

David Benda

Střední průmyslová škola a Vyšší odborná škola Brno, Sokolská, příspěvková organizace
Sokolská 1, 602 00 Brno

ÚVOD

Doba parních strojů je již dávno minulá, nicméně stále najdeme nadšence, kteří na tento systém pohonu nedají dopustit. Tyto stroje mě začaly zajímat na začátku studia střední školy po návštěvě Technického muzea v Brně. Na trhu lze sice najít nepřeberné množství modelů parních strojů v různých cenových relacích, například od firem Merkur nebo Regner, ale stavba vlastního zařízení mě lákala mnohem více. Již v minulém roce jsem testoval stroje s různými systémy přepouštění vodní páry, a proto jsem se v letošním roce rozhodl navrhnout a sestavit model loď s parním pohonem.

Celá loď byla před konstrukcí navržena v návrhovém programu SolidWorks od společnosti Dassault Systèmes a jeho dalších nástavbách (PhotoView 360, SolidWorks Simulation). Hlavním úkolem celé práce bylo sestavit dřevěnou loď s pohonem parního stroje, který bude napájen pomocí vodní páry z parního kotle roztápným prostřednictvím plynového hořáku umístěného uvnitř parního kotle.

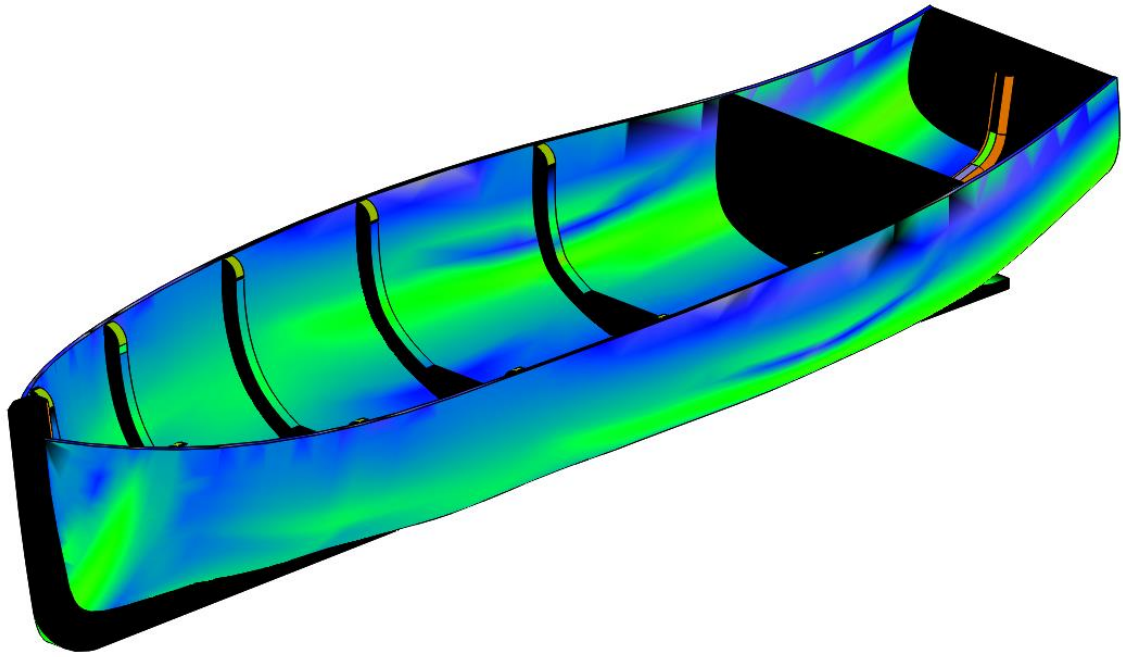
1. Lodní konstrukce

Celé konstrukci předcházela podrobný návrh v návrhovém programu SolidWorks. Nejprve byla vymodelována žebra loď a následně bylo vytvořeno opláštění, které bylo podrobeno zkouškám křivosti tak, aby byla výroba bez jediných problémů. Počet žebířů a jejich množství se neustále měnilo v závislosti na délce a tvaru loď, dokud nebyla vyřešena celková stabilita. Po dokončení návrhu bylo nutné vyřešit podpůrné nosníky, které se po vyrobení loď odstranily. Dle návrhu v programu SolidWorks bylo vyřezáno a následně opilováno všech sedm žebířů z překližkové desky o tloušťce 5 mm. Následně bylo nutné všechna žebra nalepit na desku, která sloužila pouze pro uchycení při samotné výrobě. Všechna žebra byla spojena pomocí kýlu loď vyřezaného z překližkové desky o tloušťce 10 mm.

Opláštění loď bylo řešeno ze dvou různých velikostí smrkových nosníků o rozměrech 10 x 1 mm a 5 x 1 mm. Tyto nosníky byly postupně lepeny od kýlu loď po poslední žebro. Pro lepení bylo použito vteřinové lepidlo zajišťující rychlé vytvrzení. Některé nosníky byly ještě před nalepením ponořeny do teplé vody, kde změkly, aby s nimi byla lepší manipulace, a to zvláště v nejkřivějších místech loď. Po nalepení obou dvou stran trupu loď bylo zapotřebí obrousit nežádoucí výstupky a výčnělky. Vzniklé mezery byly zatmeleny pomocí tmelu na balsu od výrobce Great Planes a po dvou hodinách, kdy již byl tmel vytvrzen, byla celá loď obroušena. Tento cyklus byl pětkrát opakován, dokud nebylo zajištěno hladkosti a nepropustnosti povrchu celého trupu loď.

Na závěr bylo nutné zajistit, aby dřevo nenasakovalo vodu. Pro absolutní nepropustnost byla loď natřena čtyřmi nátěry polyesterovou pryskyřicí (Lamit 109), která vytvořila nepropustný skelet. Před natřením byla na loď vystřížena skelná tkanina zajišťující důležitou pevnost celého trupu. Jelikož je tkanina celá průhledná, není možné ji spatřit bez důkladného zkoumání trupu loď. Po zaschnutí byla odstraněna deska, na kterou byla v prvopočátku nalepena žebra loď, včetně podpůrných částí. Následně byla loď natřena pryskyřicí i z vnitřní strany.

Testování loď proběhlo úspěšně, celá loď zatížená třemi kilogramy váhy nepropustila za tři dny vůbec žádnou vodu. Těžiště loď přesně odpovídá návrhu v programu SolidWorks. Ze spodní části kýlu byl vyvrtán otvor sloužící pro vsunutí pouzdra hřídele lodního šroubu. Pouzdro bylo v otvoru nalepeno, aby bylo zajištěno nepropustnosti.



Obrázek 1: Analýza křivosti lodě v programu SolidWorks.



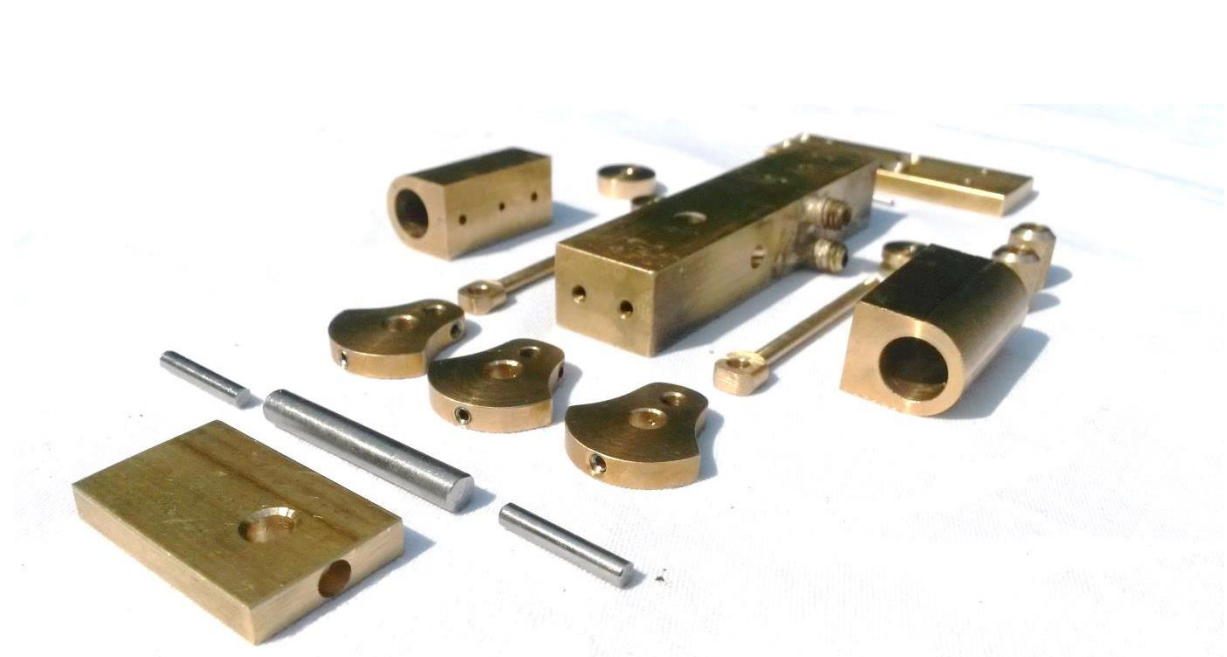
Obrázek 2: Žebrování lodě.

2. Parní strojovna

Parní válce byly vytvořeny z mosazné kulatiny o průměru 22 mm, do které byl nejprve vyvrtán otvor na soustruhu o průměru 9,8 mm. Následně byl otvor vystružen pomocí výstružníku o průměru 10 H7 a celkově zaleštěn pomocí leštícího písku. Takto připravená kulatina dále pokračovala na tříosou frézku, kde byla ofrézována do nynějšího tvaru. Velmi důležité bylo při frézování zajistit sousostí otvoru pro píst a hlavní dosedové plochy na základní desku, aby bylo zamezeno úniku vodní páry. Poté se do parních válců vyvrtaly vstupní i výstupní otvory o průměru 1,8 mm pro vodní páru. Pro dokončení bylo zapotřebí již jen vyvrtat otvory, do kterých se vyřezal závit M2 sloužící pro uchycení vrchních i spodních vík. Návrh ojnice spočíval ve výpočtu na tah a tlak, jestli navržený průměr 3 mm vydrží pozdější namáhání od tlaku vodní páry.

Průměr byl dimenzován na tlak 12 barů, který je dvojnásobně větší než pracovní tlak nacházející se v parním válci. Po dlouhém navrhování přišel na řadu postup výroby. Již v počátečních výpočtech bylo zvažováno, jestli se ojnice má vyrobit z nerezové kulatiny, která má o 250 MPa větší pevnost než mosaz. Nakonec byla zvolena mosaz pro kvalitnější tření mezi dalšími komponenty parního stroje. Ojnice byla téměř celá vyrobena na soustruhu z kulatiny o průměru 5 mm. Větší část kulatiny, která vstupuje do parního válce, byla osoustružena na průměr 3 mm. Na konci byl ještě vyřezán závit M3 sloužící pro uchycení pístu. Zbývající průměr kulatiny 5 mm byl zpilován na plošku, aby bylo zajištěno lepší uchycení celé ojnice ke klikové hřídeli.

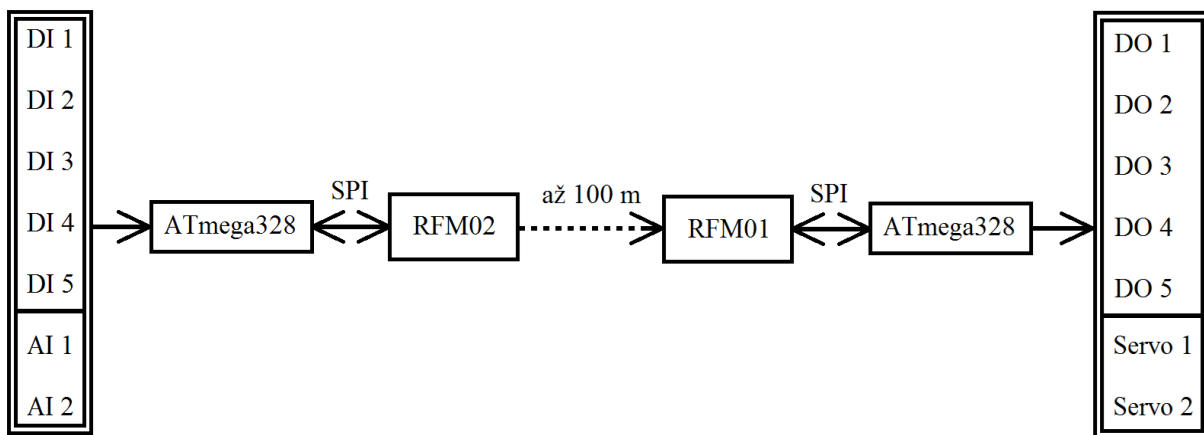
Návrh pístů spočíval jen v ustanovení výšky pístu, jelikož vnější průměr byl dán vystruženým otvorem v parním válci. Celý píst byl opět vytvořen na soustruhu z mosazné kulatiny o průměru 12 mm, která byla následně osoustružena na průměr 10 h6. Na celkové přesnosti bude záležet celkový chod stroje, a proto byl píst několikrát přeměřen pomocí mikrometru a drsnoměru. Pro plynulý běh stroje je ale zapotřebí počátečního záběhu, který spočívá v otáčení klikové hřídele rychlostí 600 otáček za minutu. Doba záběhu je přibližně dvě až tři hodiny chodu stroje. Před dokončením práce na pístu byl v jeho středu vyřezán závit M3 sloužící pro uchycení ojnice.



Obrázek 3: Pohled na jednotlivé díly celé strojovny.

3. Koncepce dálkového ovládání

Blokové zapojení dálkového ovládání je uvedeno pod textem (Obrázek 4). O řízení komunikace na straně vysílače i přijímače se stará dvojice mikrokontrolérů firmy Atmel z řady AVR konkrétně typ ATmega328 [1]. Pro bezdrátovou komunikaci byly zvoleny moduly RFM01 [2] (přijímač) a RFM02 [3] (vysílač) od firmy HopeFR komunikující v pásmu 433 MHz. Tyto moduly komunikují s nadřazeným kontrolérem po sériové sběrnici SPI. Během návrhu vysílače a přijímače byly uvažovány dva kanály určené pro řízení modelářských servo motorů (vstupy označené jako AI 1 a AI 2, výstupy označené jako Servo 1 a Servo 2) a pětice digitálních kanálů (vstupy DI 1 až 5, výstupy DO 1 až 5) určená například pro již zmíněné osvětlení modelu.



Obrázek 4: Blokové zapojení vysílače a přijímače.

4. Vysílač

Úkolem vysílače, respektive řídicího mikrokontroléru (ATmega328) vysílače je neustálá kontrola a zpracování hodnot získaných z digitálních a analogových vstupů. Nashromážděná data jsou následně zpracována, normalizována, validována a posílána prostřednictvím SPI sběrnice do vysílacího modulu RFM02. Vstupní hodnota pro analogové kanály se získá pomocí potenciometru zapojeného mezi +5 V a GND. Jezdec potenciometru je připojen k příslušnému analogovému vstupu řídicímu kontroléru. Vzhledem k rozlišení AD převodníku mikrokontroléru ATmega328 (10 bitů) získáváme dostačující informaci pro následné natočení modelářského servo motoru na straně přijímače, tj. otočení potenciometru má za následek natočení serva. Pro získání stavů digitálních vstupů se využívá připojování napěťové úrovně GND (0 V) prostřednictvím tlačítek k nakonfigurovaným pinům kontroléru ATmega328.

Tlačítka jsou navíc softwarově ošetřena proti zakmitávání. Aby bylo možné kontrolovat, zda jsou proměnné získané z digitálních vstupů nastaveny do logické 0, respektive logické 1, tak byly na desku vysílače umístěny ještě signalizační LED diody korespondující s aktuálně nastaveným (přijatým) stavem digitálních výstupů na straně přijímače. Celý vysílač byl nejprve navržen na nepájivém poli a následně osazen na dvouvrstvou desku plošných spojů.

5. Přijímač

Obdobně jako v případě vysílače, je i v přijímači pro řízení použit mikrokontrolér ATmega328. Bezdrátovou správu zde zprostředkovává komunikační modul RFM01. Komunikace mezi modulem RFM01 a kontrolérem ATmega328 opět probíhá po sběrnici SPI. Digitální výstupy řídí unipolární tranzistory, takže je možné připojit na každý digitální výstupní kanál větší zátěž, než v situaci, kdy by byla zátěž připojena přímo na výstupu řídicího kontroléru. Nejdůležitějšími prvky, které jsou prostřednictvím přijímače řízeny, jsou modelářské servo motory. Řízení těchto pohonů probíhá prostřednictvím pulsně šířkové modulace (PWM). Frekvence opakování těchto pulsů je nastavena interním časovačem ATmega328 na frekvenci 50 Hz. Modelářský servo motor se natáčí v úhlu 0° až 90°, respektive 0° až 180° v závislosti na typu a výrobci. Pro rozsah úhlu natočení 0° až 90° odpovídá změna šířky pulsu v rozsahu 1 až 2 ms a rozsah 0° až 180° odpovídá šířce pulsu 0,5 až 2,5 ms. Obě varianty jsou v navrhované aplikaci reflektovány a změnu nastavení lze provést prostřednictvím jednoduché úpravy programu nahraného v kontroléru ATmega328.

Na straně přijímače neprobíhají již žádné výpočty pro natočení motoru, ale získané hodnoty z vysílače jsou pouze předávány internímu časovači v PWM režimu, který vytváří korektní pulsy pro řízení natočení serva. Přijímač byl obdobně jako vysílač nejprve navržen a testován na nepájivém poli a následně osazen na dvouvrstvou desku plošných spojů.

Závěr

Vytyčený cíl navrhnout a postavit model loď s parním pohonem, který bude mít vlastní pohonnou jednotku, byl splněn. Jelikož jsem nikdy před tímto projektem žádnou loď nestavěl, pochopil jsem, že nejdůležitější ze všeho je provést kvalitní návrh celé konstrukce modelu loď a až pak následuje bezchybné vyrábění jednotlivých dílů. Stavba celé loď včetně strojovny a parního kotle mi zabrala přibližně půl roku. Všechny součásti jsem si vyráběl vlastnoručně za odborné pomoci mého konzultanta. Cena za veškerý použitý materiál nepřesáhla 4500 Kč. Materiál na výrobu modelu jsem si financoval z vlastních zdrojů. Model je plně funkční bez jakýchkoli problémů, ale již nyní mám spoustu nápadů, jak zdokonalit jednotlivé jeho části.



Obrázek 5: Model loď včetně parní strojovny.

REFERENCE

- [1] ATMEL. Datasheet ATmega328 [online]. 2015. Dokument dostupný na: http://www.atmel.com/images/atmel-8271-8-bit-avr-microcontroller-atmega48a-48pa-88a-88pa-168a-168pa-328-328p_datasheet_complete.pdf. [cit. 2016-03-01].
- [2] HOPEFR. Datasheet RFM01 [online]. 2010. Dokument dostupný na: <http://www.hoperf.com/upload/rf/RFM01.pdf>. [cit. 2016-03-01].
- [3] HOPEFR. Datasheet RFM02 [online]. 2010. Dokument dostupný na: <http://www.hoperf.com/upload/rf/RFM02.pdf>. [cit. 2016-03-01].