

Středoškolská odborná činnost

Obor 09 - strojírenství, hutnictví, doprava a průmyslový design

Vertikální navíjecí stroj řízený počítačem

Jan Mareš

Jan Paták

Martin Ron

Sušice 2009
Plzeňský kraj

Středoškolská odborná činnost

Obor 09 - strojírenství, hutnictví, doprava a průmyslový design

Vertikální navíjecí stroj řízený počítačem

Computer controlled vertical filament winding machine

Autoři:	Jan Mareš Jan Paták Martin Ron
Škola:	Gymnázium Sušice Fr. Procházky 342 16 Sušice
Obor:	Gymnázium – všeobecné
Zadavatel:	CompoTech PLUS, spol. s.r.o.
Vedoucí práce:	Ing. Ondřej Uher, Ph.D.
Konzultanti:	Ing. Vít Šprdlík Luděk Keltner

Sušice 2009
Plzeňský kraj

Prohlášení

Prohlašujeme, že jsme svou práci vypracovali samostatně pod vedením vedoucího práce a uvedených odborných konzultantů a použili jsme pouze podklady (literaturu, SW) uvedené v příloženém seznamu.

Nemáme závažný důvod proti zpřístupnění této práce v souladu se zákonem č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění.

V Sušici dne

podpisy

Poděkování

Děkujeme všem, kteří přispěli ke vzniku této práce. Především bychom chtěli poděkovat Ing. Ondřeji Uhrovi, Ph.D., Ing. Vítu Šprdlíkovi, Ludřkovi Keltnerovi a Ing. Robinu Paulovi z firmy CompoTech PLUS za obětavou pomoc a odbornou konzultaci, kterou nám během práce poskytovali.

Dále děkujeme firmě CompoTech PLUS za sponzorování tohoto projektu.

Anotace

Návrh a stavba počítačem řízeného laboratorního modelu stroje na vertikální navíjení trubek z uhlíkových vláken. Cílem projektu je praktické ověření metody svislého navíjení karbonových trubek. Od svislého navíjení lze očekávat lepší propínání vlákna při kladení podélných vláken pod nulovým úhlem, menší průhyb rotujícího trnu a snížení prostorových nároků stroje. Možnými komplikacemi při průmyslové výrobě je ztížená manipulace s trny a stékání pryskyřice. Testovací model umožní další vývoj technologie vertikálního navíjení (optimalizace zavěšení trnu, návrh nových řídicích algoritmů, systémy dopínání vlákna...).

Klíčová slova:

vertikální navíjení, karbonové trubky, laboratorní model stroje, karbonové vlákno

Annotation

Design and construction of a prototype of a computer-controlled machine for vertical carbon fibre winding. The goal of this project is to verify vertical winding technology. The vertical winding should improve the fibre stretch in zero degree axial fibre laying, as well as reducing mandrel flexure and space requirements for the winding machine. There are some expected complications in the tube manufacturing, namely more difficult mandrel manipulation and resin run-down. The prototype also provides opportunities for further development of the technology, e.g. optimisation of mandrel suspension, design of new control algorithms, fibre stretch systems.

Key words:

vertical filament winding, carbon tubes, machine prototype, carbon fibre

Obsah

Prohlášení.....	3
Poděkování.....	4
Anotace.....	6
Klíčová slova:.....	6
Annotation.....	6
Key words:.....	6
Úvod.....	8
Navíjení vlákna.....	8
Nevýhody horizontálního navíjení.....	10
Cíl projektu.....	10
Teoretické předpoklady vertikálního navíjení.....	11
Výrobní proces.....	11
Uchycení trnu.....	11
Další manipulace.....	11
Nosná konstrukce.....	11
Konstrukce laboratorního modelu stroje.....	13
Dostupné díly a součástky.....	13
Postup vývoje.....	14
1. Řízení krokových motorů z počítače.....	14
Řídící karta Advantech PCL-839+.....	14
SD13 - koncový stupeň JMF.....	14
Kabelová redukce.....	14
Krokové motory.....	15
2. Řídící software.....	15
Uživatelské rozhraní (UI).....	15
Číselný model trubky.....	16
Řídící program v jazyce C.....	16
Základní funkce karty PCL-839+.....	17
Funkce vytvořené pro navíjecí stroj.....	17
Soubor s číselným modelem vrstvy.....	17
3. 3D návrh stroje.....	17
Nosná konstrukce.....	18
Vozík.....	19
Vztahy pro zrychlení vozíku při rozjezdu vozíku směrem nahoru.....	19
Přibližná kalkulace hmotnosti.....	19
Krokový motor pro posuv vozíku.....	20
Krokový motor pro rotaci trnu.....	20
Uchycení trnu.....	21
Koník.....	22
4. Výrobní výkresy.....	22
Netradiční koncepce vertikálního navíjecího stroje s využitím mechatronické tuhosti.....	23
Mechatronická tuhost.....	23
Model mechatronického zavěšení.....	24
Software.....	24
Konstrukce modelu.....	24
Zhodnocení koncepce.....	24
Závěr.....	26
Použitá literatura a zdroje.....	27
Použitý software.....	27
Seznam obrázků.....	28
Seznam příloh.....	29

Úvod

Trubky z kompozitových materiálů jsou nejčastěji vyráběny navíjením vlákna na rotující trn. Vozík s tryskou, do které je přivedeno vlákno namočené do pryskyřice, projíždí kolem rotujícího trnu. (Trn tak otáčením odvíjí vlákno z cívky na svůj povrch.) Různými kombinacemi rychlostí otáčení trnu a vozíku lze docílit různých úhlů navinutí vlákna na trn. Na obr. 1 jsou popsány základní části navíjecího stroje.



Obr. 1: Horizontální navíjecí stroj

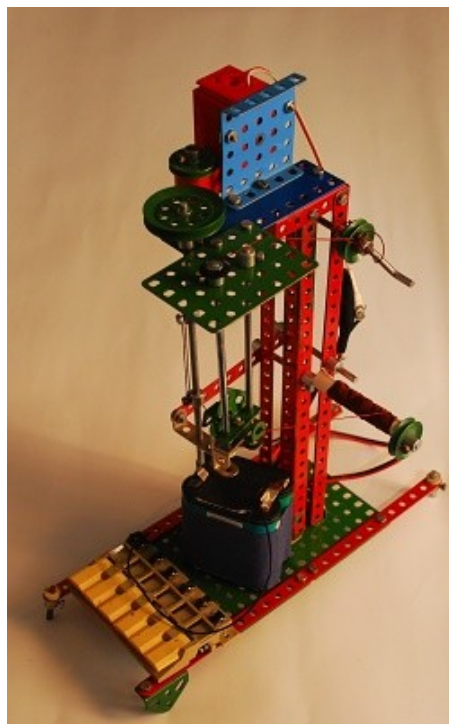
Navíjení vlákna

Na modelu navíjecího stroje, který jsme sestavili ze stavebnice Merkur (obr 2), si můžeme snadno demonstrovat základní způsoby navíjení vlákna. Rotace trnu je na modelu řízena elektromotorem a pojezd vozíku ručně klikou.

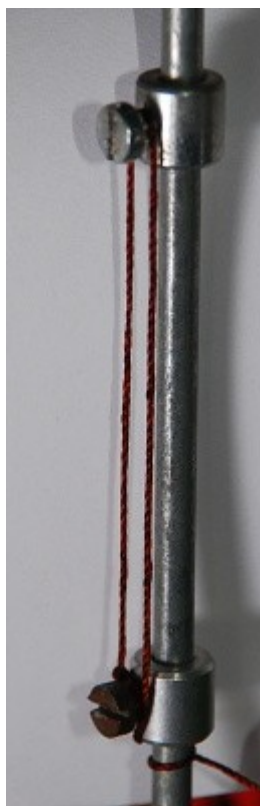
Pokud vypneme elektromotor a vlákno zahákneme vždy na koncích trnu, docílíme tím navinutí vlákna pod nulovým úhlem, tzv. *podélné navíjení* (obr. 3). Podélná vlákna zvyšují odolnost trubky v tahu a ohybu.

Dále s vozíkem projedeme střední rychlostí podél rotujícího trnu a vlákno je navinuto pod úhlem přibližně 45° , tzv. *napříč* (obr. 4). Současně jsme tak upevnili podélná vlákna v první vrstvě. Vlákna pod úhlem 45° jsou důležitá pro odolnost trubky v krutu.

Nakonec s vozíkem pomalu projedeme kolem rotujícího trnu a navineme vlákno pod úhlem téměř 90° , tzv. *těsně* (obr. 5). Těsná vlákna určují pevnost trubky v tlaku.



Obr. 2: Model navíjecího stroje sestavený z Merkuru



Obr. 3: Podélné navíjení – úhel 0°



Obr. 4: Těsné navíjení - úhel 90°



Obr. 5: Navíjení „napříč“ - úhel 45°

V současnosti je navíjení karbonového vlákna realizováno téměř výhradně na strojích s vodorovným uchycením navíjecího trnu (např. stroje firem Mikrosam a McClean Anderson). Svislé uchycení trnu je rozšířené pouze u strojů určených na výrobu velkoobjemových nádrží s průměrem 4-8 metrů.

Nevýhody horizontálního navíjení

Při horizontálním navíjení je trn uchycen ve vodorovné poloze, z čehož plynou některé nevýhody:

- průhyb delších tenkých trnů (obr. 6)
- prověšení vlákna s nulovým úhlem (obr. 7)



Obr. 6: Průhyb trnu



Obr. 7: Průhyb podélného vlákna (zdůrazněn nízkou napínací silou)

Svislé umístění trnu by umožnilo zdokonalit kladení podélných vláken s nulovým úhlem, neboť by zabránilo prověšení vlákna u delších trubek. Rovněž by omezilo prohýbání delších trnů způsobené tíhovou silou. Na vertikálním stroji by tudíž mělo být možné používat méně tuhé trny, které by byly levnější, nebo se stejně tuhými trny zrychlit výrobní proces.

Cíl projektu

Cílem našeho projektu je sestavit funkční laboratorní model vertikálního navíjecího stroje, který by umožnil ověření teoretických předpokladů vertikálního navíjení v praxi. V ideálním případě se na modelu podaří optimalizovat technologii vertikálního navíjení.

Teoretické předpoklady vertikálního navíjení

Technologie horizontálního navíjení neumožňuje vyrobit tenkou trubku delší než cca 8 metrů. Potřebný trn by se totiž při navíjení příliš prohýbal. Výroba trubek delších než 8 m se v současné době řeší vyrobením dvou kratších trubek a následným spojením, což pochopitelně není pro funkčnost výrobku optimální. Navíjení právě takovýchto trubek v kuse je jedním z hlavních důvodů pro vytvoření vertikálního stroje.

Firma Compotech se rozhodla vyvinout dvanáctimetrový vertikální navíjecí stroj, který by nebyl zatížen nevýhodami horizontálního navíjení. Tato technologie však může přinést také řadu nových problémů, které je třeba prodiskutovat a vyřešit. Na druhou stranu nabízí velké množství nových možností.

Laboratorní model navíjecího stroje pomůže vytvořit lepší představu o problémech a výhodách vertikálního navíjení.

Výrobní proces

Připravený trn je upevněn do stroje. Svazek vláken prosycený pryskyřicí je v několika vrstvách navinut na trn. Struktura vrstev je navržena tak, aby výrobek co nejlépe odolával předpokládanému zatížení (tah, krut, ohyb...). Během navíjení je někdy nutné z trubky stírat přebytečnou pryskyřici.

Trn s navinutými vlákny je přesunut do speciální pece, ve které dojde k vytvrzení pryskyřice. Posledními výrobními kroky je vytažení trnu z trubky na vytahovače a převinutí PE páskou.

Uchycení trnu

Ve svislé pozici může být trn zavěšen nebo podepřen. Zavěšený trn se díky své vlastní hmotnosti narovná, což také teoreticky umožňuje použití trnů složených z menších částí, to by pak u těžších trnů usnadnilo manipulaci. Z hlediska deformací je naopak pro těžší trny výhodnější podepření. Došli jsme k závěru, že je výhodnější vyrobit masivní uchycení trnu a využít výhod zavěšení.

Velký stroj bude muset být zkonstruován tak, aby se kratší trubky nemusely navíjet ve velké výšce, což by vyžadovalo nastavitelné horní uchycení.

Při konstrukci modelu stroje jsme se rozhodli pro variantu se zavěšeným trnem. Se zavěšením nelze manipulovat a stroj se přizpůsobí délce trnu pojízdným koníkem. Tato varianta byla konstrukčně nejsnazší.

Další manipulace

Trubka navinutá na vertikálním stroji bude muset zůstat ve svislé pozici až do vytvrzení v peci. Proto bude nutné uzpůsobit celou výrobní linku předávání trnu ve vertikální orientaci.

Na modelu stroje nemusíme tento problém řešit, protože na něm nebudou navíjeny tak dlouhé trubky a trny budou muset být stejně vytvrzovány v současných horizontálních pecích – vertikální pece ještě nemáme k dispozici.

Nosná konstrukce

Základním typem nosné konstrukce je jeden velký nosník, na nějž se upevňují všechny ostatní části stroje (pojezd, uchycení trnu...). Nevýhodou této konstrukce je nedostatek místa pro

lineární vedení, která pak musí být nainstalována blízko u sebe a navíc jsou exponována odstříkující pryskyřici. Další komplikací je namáhání v ohybu závěsného ramena, což by vyžadovalo masivnější konstrukci.

Pokročilejším typem je konstrukce za použití dvou nosníků a závěsného ramene uspořádaných do tvaru písmene H. Výhodou je, že by se samotné svíslé nosníky mohly použít místo lineárního vedení vozíku, což by umožnilo vytvořit mnohem vyšší stroj.

V závěru práce jsme se v samostatné kapitole pokusili nastínit ještě jedno nekonvenční řešení konstrukce s využitím mechatronické tuhosti; toto řešení jsme ověřili na jednoduchém modelu.

Konstrukce laboratorního modelu stroje

Ke stavbě stroje jsme se snažili využít snadno dostupné materiály, starší vyřazené díly a součástky, které ještě mohou nějakou dobu sloužit, ale z výrobního procesu byly již staženy. Konstrukce stroje měla být co nejjednodušší a snadno modifikovatelná pro další vývoj.

Dostupné díly a součástky

- 2 karbonové nosníky 120 × 120 × 2500 mm
- PC karta pro řízení krokových motorů Advantech PCL-839+
- starší PC
- 2 krokové motory s aktivním rotorem ZSE MEZ Náchod, typ Z42VV141
- SD13 - koncový stupeň pro řízení krokových motorů firmy JMF
- vodící tyče lineárního vedení, průměr 20mm
- ložiskové jednotky pro lineární vedení
- ozubený klínový řemen
- řemenice

Při stavbě stroje jsme použili všechny uvedené součástky, ale některé díly jsme museli dokoupit nebo nechat vyrobit. Zejména se jedná o díly zmíněné v kapitole „3d návrh stroje“.

Postup vývoje

1. realizace řízení krokových motorů z počítače - propojení počítače, řídicí karty PCL-839+, koncového stupně SD13 a zapojení krokových motorů
2. naprogramování řídicího softwaru v programovacím jazyku ANSI C
3. 3D návrh stroje v programu Google SketchUp
4. výrobní výkresy v programu AutoCAD LT 2009
5. sestavení stroje

1. Řízení krokových motorů z počítače

Krokové motory jsou řízeny rozšiřující PC kartou Advantech PCL-839+, která převede instrukce řídicího software na TTL pulsy. Karta je kabelem spojena s koncovým stupněm SD13, který TTL pulsy zpracuje a napájí krokové motory.

Řídicí karta Advantech PCL-839+

Tato karta je určena pro řízení až tří krokových motorů. Instaluje se do ISA sběrnice počítače. Generuje pulsy v TTL logice. Výstup je realizován 37-pinovým Female CN3 konektorem. Ke kartě byla k dispozici i knihovna základních funkcí pro práci s motory. Tyto funkce jsme upravili pro použití pouze se dvěma motory.

SD13 - koncový stupeň JMF

Koncový stupeň pro řízení krokových motorů zpracovává TTL signál z počítače, řídí a napájí krokové motory. Zapojuje se do elektrické sítě 230V. Pro připojení řídicího signálu slouží zásuvka DIN 2 × 32 pinů.

Kabelová redukce

Pro spojení řídicí karty a koncového stupně jsme vyrobili kabelovou redukci s 37-pinovým Male CN3 konektorem a vidlicí DIN 2x32 pinů.

Kabel jsme vyrobili pouze pro používaný první a třetí kanál.

Male CN3	Vidlice DIN 2x32 pin
1 - DIR1	16A - CW/C1k
2 - +5V (in)	31A - +5V (out)
7 - DIR3	15A - CW/C3k
8 - +5V (in)	31A - +5V (out)
20 - PULS1	12B - CLK1K
21 - COM1 (GND)	32B - GND
26 - PULS3	11B - CLK3K
27 - COM3 (GND)	32B - GND

Tabulka 1: Propojení konektorů kabelu pro přenos TTL signálu

Dále jsme propojili konektory 10B, 10A, 15B, 14B, 31A a 31B (+5V out a anody optočlenů SD13).

Krokové motory

Krokové motory ZSE MEZ Náchod, typu Z42VV141 jsou šesti vývodové. Do SD13 se připojují čtyř žilovým stíněným kabelem pouze středem a koncem vinutí.

Krokový motor	Stíněný kabel	konektor SD13
rudý		
černý	zelenožlutý	A
bílý	hnědý	B
rudý	modrý	C
hnědý	černý	D
bílý		
	stínění	G

Tabulka 2: Použitá varianta zapojení krokových motorů

2. Řídicí software

Softwarové vybavení modelu navíjecího stroje se skládá ze dvou částí (uživatelské rozhraní a řídicí program v jazyce C) propojených přes soubor modelu navíjené trubky.

Jádrem je řídicí program napsaný v programovacím jazyce C; díky tomu bylo možné obejít obvyklý problém kompatibility ovladačů se starším operačním systémem Windows 98. V jazyce C bylo možné napsat program běžící rovnou na základně DOSu, který nevyžaduje žádné zvláštní ovladače. V kódu stačí zadat pouze fyzickou adresu řídicí karty PCL-839+.

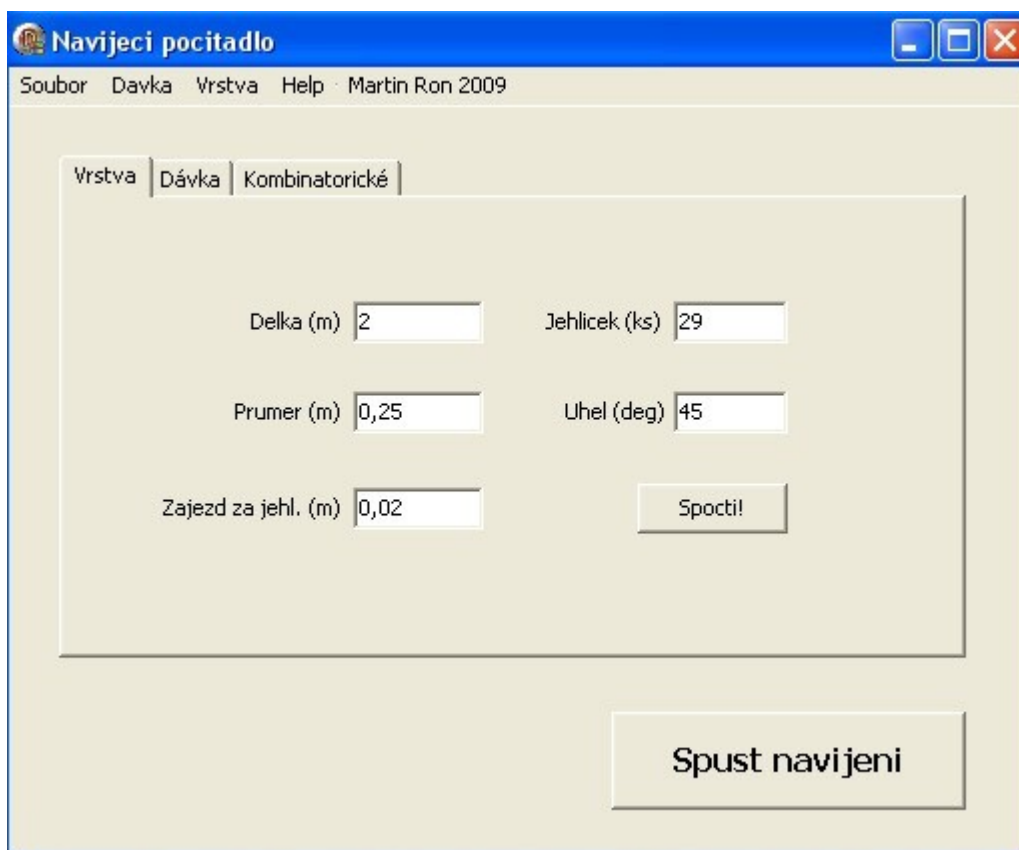
Nástavbou na řídicí program je uživatelské rozhraní s výpočtovým programem pro snadný návrh jak jednotlivých vrstev, tak i jejich posloupností. Je napsáno ve vývojovém prostředí Delphi 2006, které je pro navrhování uživatelsky přívětivého rozhraní vhodnější než jazyk C.

Spojovacím článkem obou částí softwaru je textový soubor. Díky tomu je možné převést do tohoto systému již existující programy na navíjení trubek na horizontálním stroji.

Ručním zásahem do souboru vrstvy je možné vytvořit i model pro výrobu netradičně profilovaných karbonových výrobků (např. hranol, eliptický válec apod.).

Uživatelské rozhraní (UI)

Uživatelské rozhraní (obr. 8) bylo napsáno v Delphi 2006. Jeho úkolem je jednoduché převedení parametrů dané trubky na číselný model.



Obr. 8: Prostředí uživatelského rozhraní

Číselný model trubky

- navíjená délka trnu <celé číslo>
- otočení trnu při pokládání jedné cesty vlákna - tam nebo zpět
- korekční otočení na konci trnu - opraví periodu, s níž tryska zajíždí do mezer mezi jehličkami, aby nebyla při navíjení vynechána žádná mezera
- šířka jehliček včetně šířky trysky <celé číslo>
- počet jehliček <celé číslo>
- počet opakování pokladu vlákna na jedné cestě - tam nebo zpět <celé číslo>

Uživatelské rozhraní dále umožňuje určit pořadí vrstev podle toho, jak budou pokládány na sebe, spuštění řídicího programu krokových motorů a vygenerování datového souboru s číselným modelem vrstvy. V datovém souboru je uloženo:

- délka trnu mezi jehličkami (v metrech)
- průměr trnu (v metrech)
- počet jehliček
- úhel pokladu vlákna - úhel mezi vláknem a průmětem osy trnu na rozvinutém plášti trnu

Řídicí program v jazyce C

Samostatně zpracovává posloupnost vrstev podle dávkového souboru a navíjí jednotlivé vrstvy. Ovládá přímo řídicí kartu krokových motorů v počítači, přičemž používá několik základních funkcí karty a funkce napsané přímo pro navijecí stroj.

Základní funkce karty PCL-839+

- `int waitrdy(int CH);` //čeká dokud se neuvolní zadané kanály
- `int set_speed(int CH, int speed_low, int speed_high, int acc)`
// nastavení rychlosti pro kanál
- `int pmove(int CH, int dir1, int FH, int x, int dir2, FH, int y)` //pohyb motorů o zadaný počet kroků

Funkce vytvořené pro navíjecí stroj

- `int xline(int dirx,int x,int diry,int y,int vx,int ax)`//stejně dlouho zrychluje oba kanály, rychlost rotoru se dopočte dle zadané rychlosti pojezdu, stejně tak zrychlení rotoru se dopočte dle zadaného zrychlení pojezdu
- `int zamot_za_jehlicky(int dirx,int diry,int vx,int vy,int a,int zajezdZaJehlicky, float dilatace)`//zahákne vlákno za jehličku a nastaví trysku na novou výchozí pozici v mezeře.

Soubor s číselným modelem vrstvy

Řídicí program pracuje se vstupními hodnotami vygenerovanými buďto pomocí uživatelského rozhraní, nebo číselně zadanými - je možné spočítat číselný model trubky a zapsat jej do souboru. Rovněž je možné upravit ručně (tedy bez použití uživatelského rozhraní) posloupnost navíjených vrstev.

Ukázka souboru s číselným modelem vrstvy:

```
5245
586.69
82.3
25
15
```

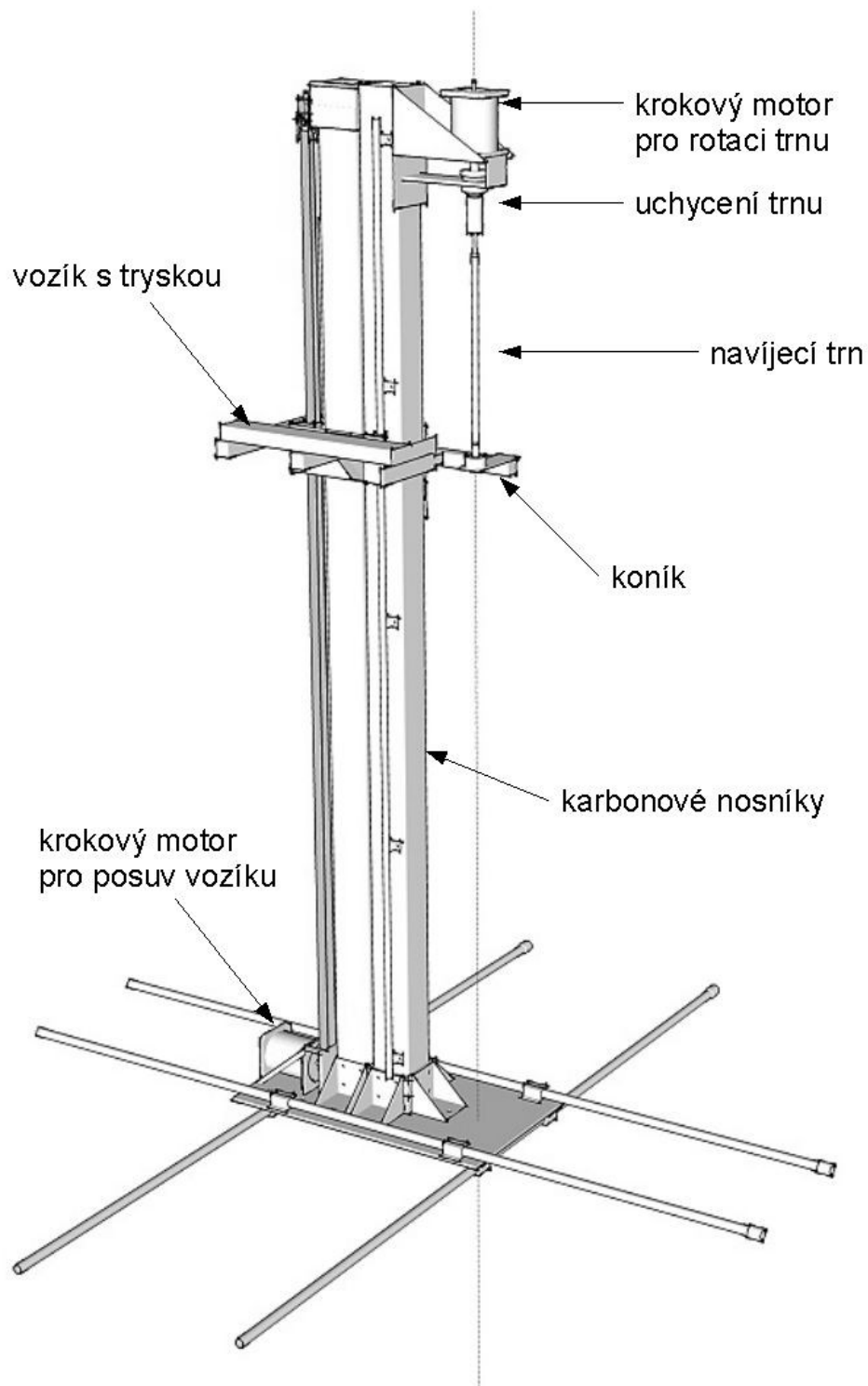
Komentář k jednotlivým hodnotám:

- Délka trnu mezi jehličkami
- Otočení rotoru na jedné cestě (tam nebo zpět)
- Dilatace otočení za jehličkami
- Délka zajetí pojezdu za jehličky (šířka trysky je již zahrnuta)
- Počet opakování jedné cesty

Parametry týkající se rotace trnu lze zadávat reálnými čísly, protože na velkém počtu opakování by se chyba způsobená zaokrouhlením významně zvětšila a mohlo by dojít ke kolizi trysky s jehličkami. Řídicí program pak zaokrouhluje počet kroků pro dané otočení na konkrétní optimální hodnotu a vždy, když desetinné zbytky ze zaokrouhlování vydají na celý krok, započte se do následujícího otočení, čímž se chyba ze zaokrouhlování minimalizuje.

3. 3D návrh stroje

Pro tvorbu 3D modelu stroje jsme použili program Google SketchUp. Prostorový model nám umožnil podrobně promyslet uspořádání již existujících částí stroje i návrh dílů, které bylo třeba vyrobit.



Obr. 9: 3D návrh stroje s popisem základních částí

Nosná konstrukce

Jednotlivé díly jsme instalovali na dva pevně spojené karbonové nosníky, které jsou přišroubovány k podstavné ocelové desce. Podstava stroje je rozšířena čtyřmi

ocelovými čtverhrannými profily, které zvyšují stabilitu celé konstrukce. Nosníky jsou s podstavou spojeny pěticí L profilů a dílem pro uchycení krokového motoru.

Vozík

Do vozíku se upevňuje tryska pro vedení vlákna, která při pohybu vozíku projíždí kolem navíjecího trnu. Vozík je veden ložiskovými jednotkami na dvou tyčích lineárního vedení a je přichycen k ozubenému klínovému řemenu. Konstrukce vozíku je navržena tak, aby byla tryska ve velkém rozsahu posuvná. Tím je zajištěno optimální nastavení vzdálenosti trysky od trnů různých průměrů.

U tohoto stroje se vozík pohybuje vertikálně (na rozdíl od horizontálních strojů), což bude ztěžovat jeho rozjezdy a brzdění. Při pohybu nahoru bude pravděpodobně třeba delší rozjezdová a kratší brzdná dráha a při pohybu dolů naopak. Tento problém by bylo možno eliminovat protizávažím, které by zajistilo stejné rozjezdové a brzdné úseky v obou směrech, ale zvýšilo by celkovou hmotnost pohyblivé části stroje.

Vztahy pro zrychlení vozíku při rozjezdu vozíku směrem nahoru

bez protizávaží $a_1 = (F_{\text{motoru}} - F_g) / m$

s protizávažím $a_2 = F_{\text{motoru}} / 2m$

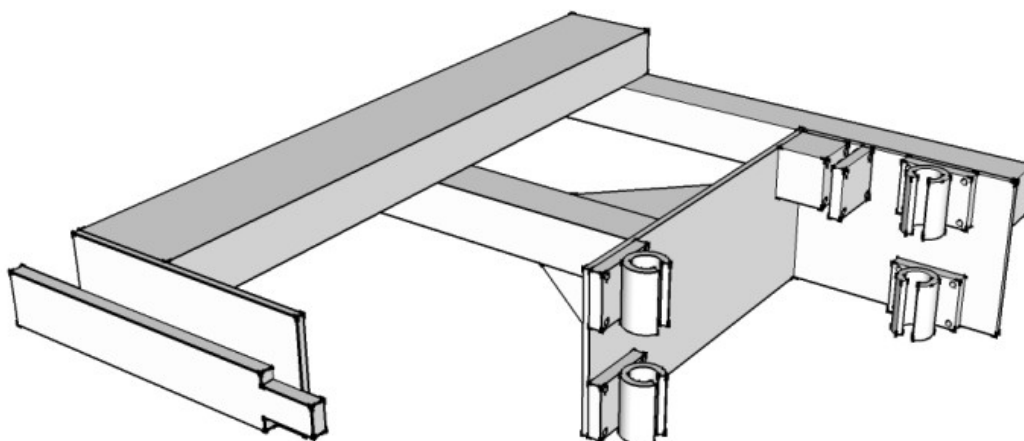
Z uvedených vztahů snadno zjistíme, že pokud platí $F_{\text{motoru}} > 2F_g$, pak je hodnota zrychlení větší bez protizávaží. V našem případě platí: $F_g = 57 \text{ N}$ (viz přibližná kalkulace hmotnosti vozíku) a $F_{\text{motoru}} = 330 \text{ N}$ (s nejnižším mezním kroutícím momentem motoru).

Je tedy výhodnější použít verzi bez protizávaží. Aby byla hmotnost vozíku co nejnižší, použili jsme na jeho konstrukci hliníkové item profily a duralové desky.

Přibližná kalkulace hmotnosti

- Item hliníkový profil $40 \times 40 \text{ mm}$ délky 450 a 270 mm, 1,74 kg/m
výsledná hmotnost 1,3 kg
- Item hliníkový profil $40 \times 80 \text{ mm}$ délky 550 mm 3,2 kg/m
výsledná hmotnost 1,8 kg
- desky $180 \times 130 \times 5 \text{ mm}$, $300 \times 130 \times 5 \text{ mm}$, $195 \times 80 \times 5 \text{ mm}$
výsledná hmotnost pro dural 1 kg
- ložisková jednotka lineárního vedení $4 \times 0,23 \text{ kg}$
výsledná hmotnost 0,9 kg
- úhel pro spojení item profilů $80 \times 80 \text{ mm}$ $2 \times 0,36 \text{ kg}$
výsledná hmotnost 0,72 kg

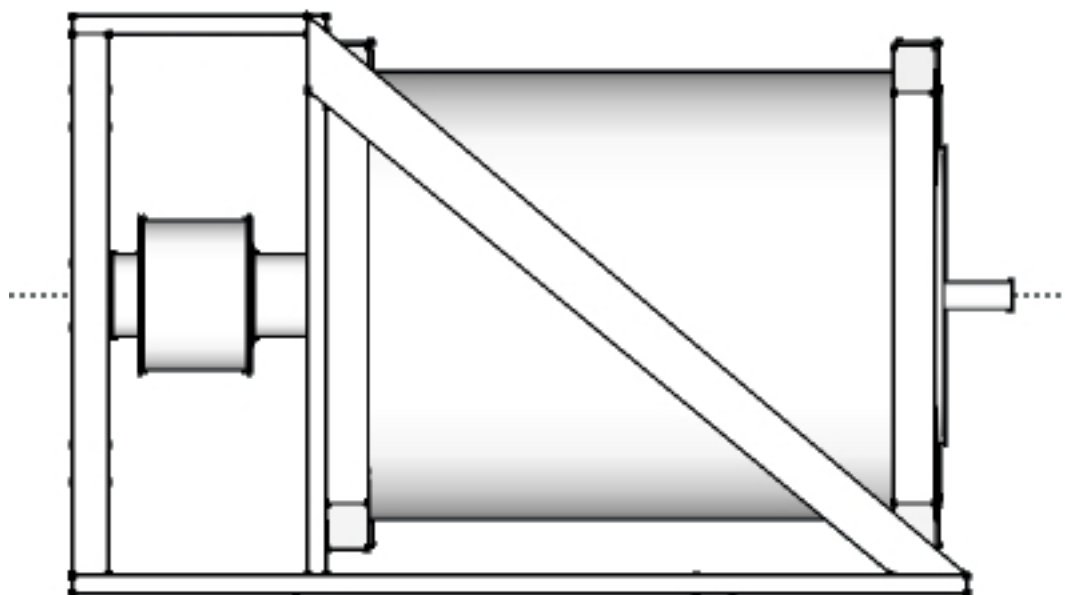
Celková hmotnost vozíku je přibližně 5,7 kg.



Obr. 10: Vozík s tryskou

Krokový motor pro posuv vozíku

Krokový motor je přírubou připevněn k základové desce. K hřídeli motoru je perem připojena osička s řemenicí. Druhý konec osy je upevněn v radiálním ložisku.

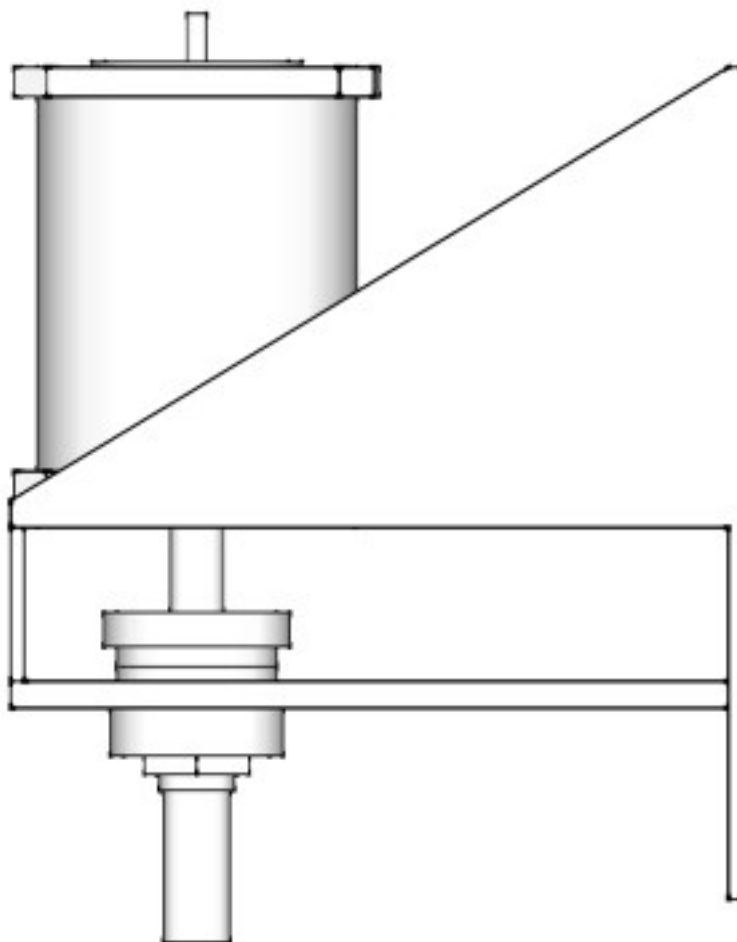


Obr. 11: Krokový motor pro posuv vozíku

Uchycení motoru zároveň slouží jako podpěra nosníku.

Krokový motor pro rotaci trnu

K motoru je perem připojen hřídel, který je uložen v jednom axiálním a dvou radiálních ložiscích. Uložení hřídele je zajištěno hřídelovou maticí. Konec hřídele má průměr 25 mm a je dlouhý 55 mm. K němu je možné připevnit různé typy mechanismů pro uchycení trnu.

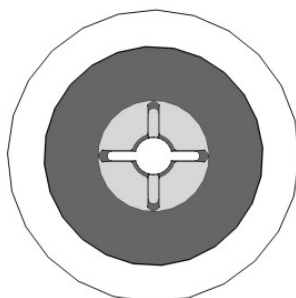


Obr. 12: Krokový motor pro rotaci trnu

Uchycení trnu

Uchycení trnu značně ovlivňuje náročnost obsluhy stroje. Výměna trnu by měla být snadná a měl by ji zvládnout jeden člověk. Navrhli jsme jednoduchý mechanismus. Konec trnu je opatřen čepem, který se zasune do drážky uchycení, trn se nadzdvihne a po pootočení zapadne do aretační drážky, kde může být zajištěn dalším čepem. Krut je přenášen čepem v konci trnu. Mechanismus je s hřídelem také spojen čepem.

Cílem dalšího vývoje je spolehlivý mechanismus, který by umožnil uchycení trnu pomocí jeřábu a byl by využitelný při výrobě velkých vertikálních navíjecích strojů.



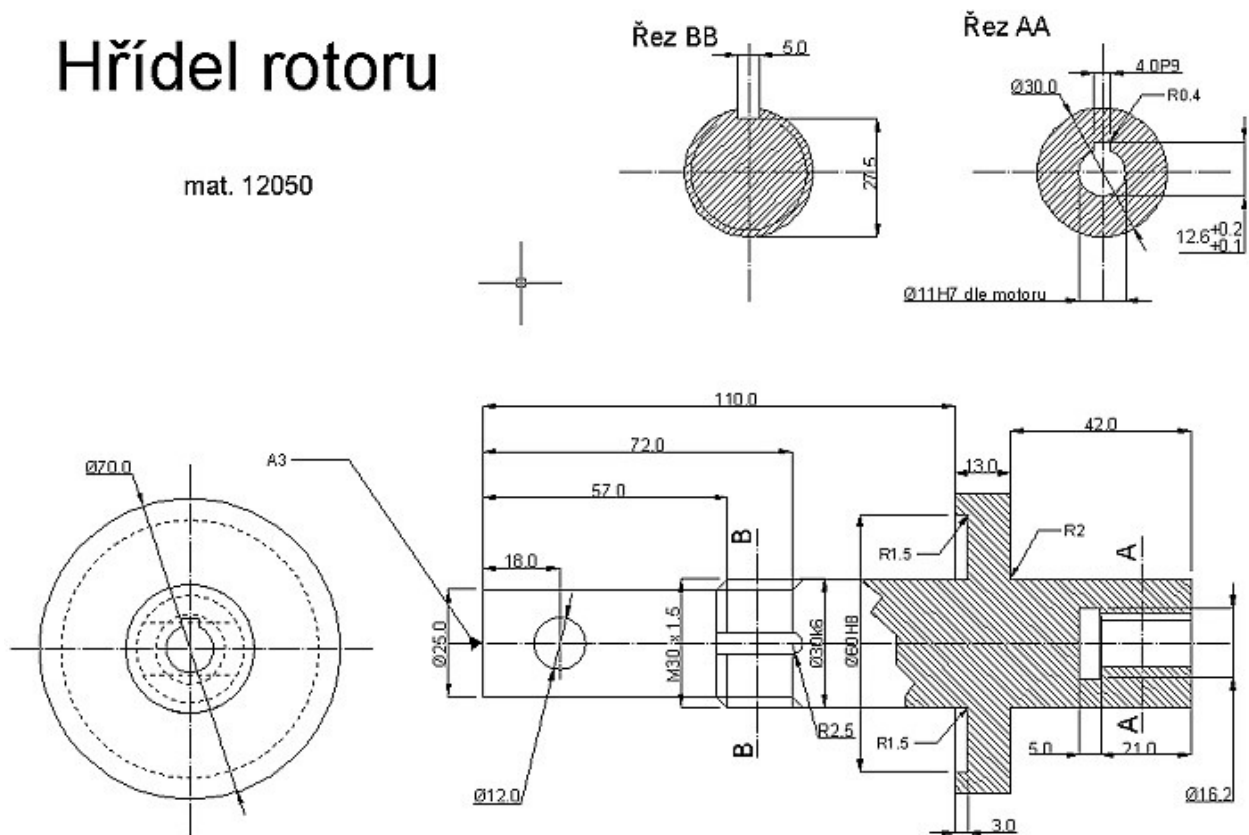
Obr. 13: Mechanismus uchycení trnu

Koník

Koník zajišťuje stabilizaci spodní části trnu. V podstatě se jedná o dvě radiální ložiska v ose navíjení, která se nasunou na konec trnu. Koník je posouván po dvou tyčích lineárního vedení. Místo ložisek jsme použili kluzná pouzdra, protože budou zatěžována pouze staticky a slouží jen k nastavení koníku na příslušnou délku trnu. V potřebné výšce je koník zajištěn rychloupínacím mechanismem, který přitlačí kluzná pouzdra k vodicím tyčím.

4. Výrobní výkresy

Pro vytvoření výrobních výkresů jsme použili program AutoCAD LT 2009. Jelikož je stroj téměř celý postaven z dostupných starších dílů, bylo třeba nakreslit jen několik specifických součástek (hřídel, uchycení motorů, mechanismus upínání trnů...). V AutoCADu jsme také vytvořili podklady pro vypálení jednotlivých plechových dílů laserem.



Obr. 14: Ukázka výrobního výkresu - hřídel

Netradiční koncepce vertikálního navíjecího stroje s využitím mechatronické tuhosti

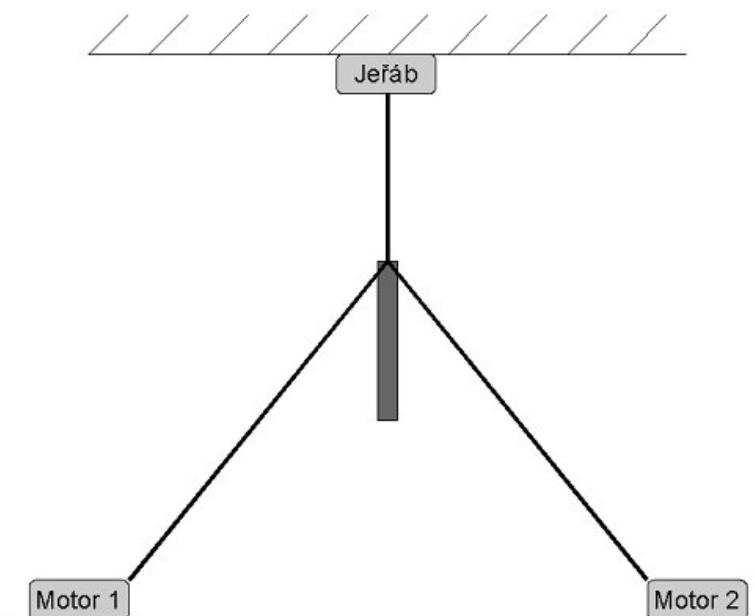
Při brainstormingu ve firmě Compotech vznikl nápad využít při konstrukci vertikálního navíjecího stroje místo pevného nosníku princip mechatronické tuhosti. V tradičním řešení stroje je pojízdný vozík připevněn na lineárním vedení, které je uchyceno na pevný nosník. Při plánované výšce vertikálního stroje 12m je však kombinace nosníku a lineárního vedení velmi nákladná a konstrukčně náročná. S využitím mechatronické tuhosti by byl pevný nosník nahrazen několika elektronicky řízenými lany, která by umožňovala jak zavěšení trny tak pojezd vozíku.

Tento nápad nás velmi zaujal, protože mechatronická konstrukce by mohla oproti klasické přinést řadu výhod (např. použití stroje také jako jeřábu pro manipulaci s trny). Rozhodli jsme se toto řešení demonstrovat na malém modelu.

Mechatronická tuhost

Mechatronický přístup vychází z kombinace mechaniky s elektronikou a řízením. Umožňuje vytvářet aktivní konstrukce, které reagují na změnu podmínek a svými vlastnostmi předčí pasivní materiály. Aktivní prvky nabízejí řadu zajímavých řešení – např. nekývající se jeřáb, poloaktivní pérování nákladního automobilu nebo tlumení vibrací ve strojích.¹

U vertikálního navíjecího stroje umožňuje mechatronické řešení zavěsit vozík na lana (obr. 15) a pomocí několika dalších lan korigovat servomotory a měřící technikou jeho polohu. Pokud měřící technika ukáže, že se zavěšený prvek vzdaluje, tak motor dotažením navijáku tuto výchylku dorovná. Všechna lana jsou namáhána pouze v tahu, ve kterém mají nejlepší mechanické vlastnosti.



Obr. 15: Mechatronické zavěšení

1 Mechatronický přístup vede k zajímavým výsledkům ve výzkumu [online]. 15. března 2009. Dostupné z URL: <http://www.cvut.cz/pracoviste/odbor-vnejsich-vztahu/stranky/cvut-v-mediich/2008/cervenec/mechatronicky-pristup-vede-k-zajimavym-vysledkum-ve-vyzkumu>

Model mechatronického zavěšení

Z lega NXT jsme sestrojili model mechatronického zavěšení a v NQC jsme naprogramovali řídicí software. Model neměří přímo polohu zavěšeného prvku, ale pouze sleduje natočení hřídelí servomotorů.

Software

Software byl naprogramován v jazyce Not Quite C. Nejdříve se 10 s navíjí kevlarová vlákna na všechny tři motory, čímž se vycentruje uchycený vozík. Poté se vynuluje čítač otočení všech motorů a dále již program pracuje ve čtyřech samostatných vláknech:

- Vlákno seřizující otočení 1. a 3. motoru
- Vlákno seřizující otočení 2. a 3. motoru.
- Vlákno pro uživatelský vstup – reaguje na stisk tlačítek NXT kostky navíjením/odvíjením vlákna na 3. motoru, a tím i zbylých dvou motorů (přes 1. a 2. vlákno)
- Vlákno pro výpis pootočení jednotlivých motorů na display NXT kostky

Konstrukce modelu

Z lega jsme postavili uchycení pro motory a navíjecí hřídele. Motory jsou drženy na místě rozloženým fotografickým stativem. Aby se stativ nesvíral, vyrobili jsme tříramennou hvězdici z karbonových trubiček, která drží nohy stativu ve stálé pozici.

Na stativ jsme kevlarovým vláknem přivázali model vozíku navíjecího stroje ze stavebnice Merkur, který jsme dále spojili s vlákny od motorů.

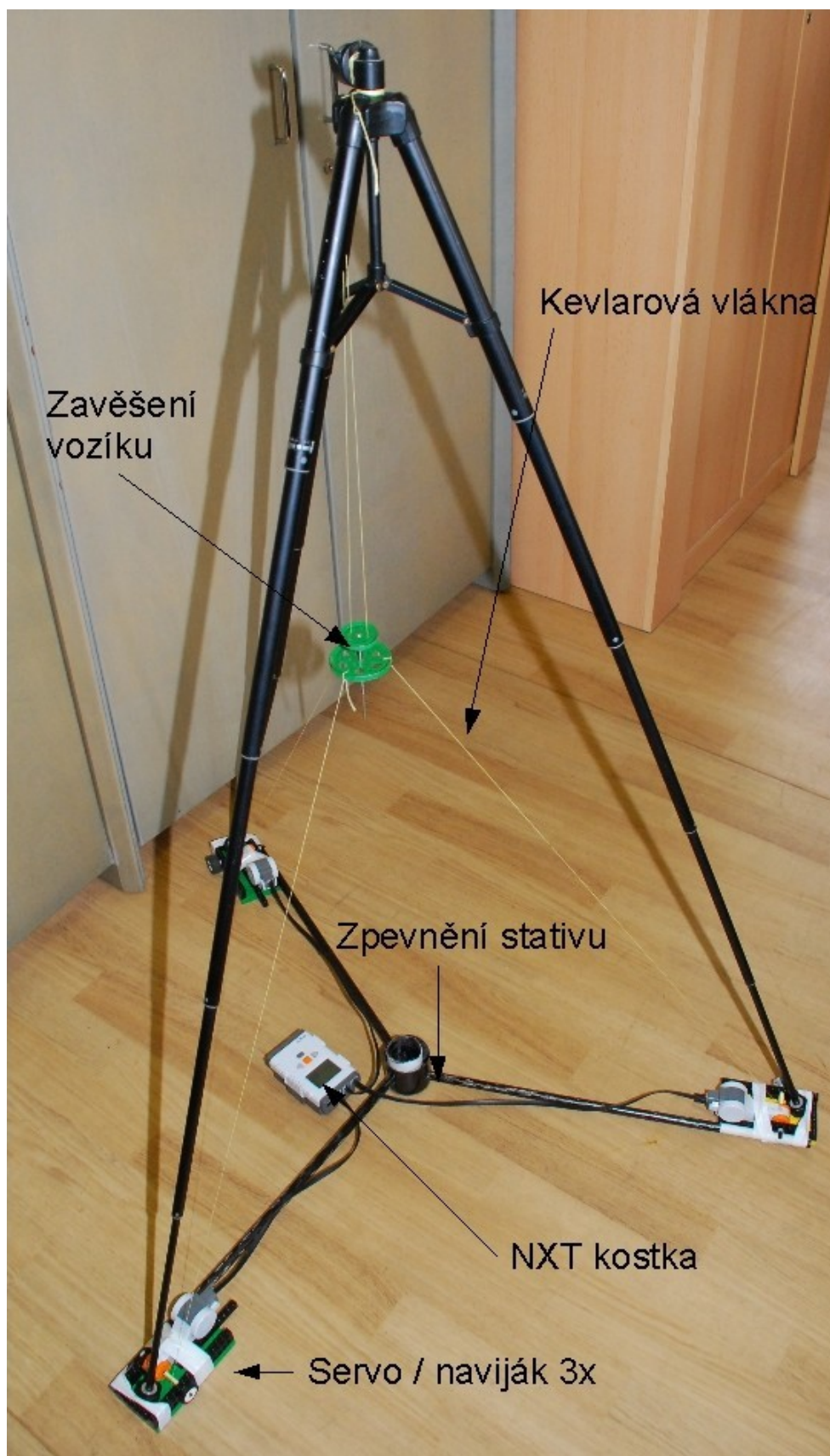
Stativ zde tedy figuruje pouze jako stavební prvek. U plánovaného 12 m stroje by byl vozík zavěšen na stropě výrobní haly a motory by byly pevně spojené s podlahou.

NXT kostka však nemůže nastavovat výškovou polohu vozíku, protože dokáže ovládat maximálně 3 motory najednou – výšková poloha je nastavitelná jen ručně. Při použití dvou propojených NXT kostek by bylo možné lépe demonstrovat výškový pojezd vozíku.

Zhodnocení koncepce

I přes jednoduché řešení modelu drží uchycená část poměrně pevně v dané pozici. Ve spojení s laserovým měřením polohy by bylo možné vyvinout skutečně použitelný systém využívající systém mechatronické tuhosti. Takový systém by se uplatnil při uchycení pojízdného vozíku, popř. také při uchycení trnu.

Předpokládáme, že tato koncepce bude firmou Compotech dále rozvíjena a mohla by se uplatnit při konstrukci velkých vertikálních navíjecích strojů.



Obr. 16: Model mechatronického zavěšení

Závěr

Podářilo se nám navrhnout laboratorní model stroje, který může být vyroben s minimálními náklady. Výrobní výkresy byly předány do výroby a sestavení stroje by mělo být dokončeno v březnu roku 2009. Hotový stroj bude sloužit k optimalizaci technologického procesu vertikálního navíjení.

Současně jsme se zabývali obecnými předpoklady technologie vertikálního navíjení a na jednoduchém modelu jsme demonstrovali koncepci netradičního stroje s využitím principu mechatronické tuhosti.

Součástí práce není řešení systému dopínání a namáčení vlákna, ale v rámci dalšího vývoje prototypu bude možná doplněno. Dočasně bude stroj používat externí zařízení pro práci s vláknem.

Použitá literatura a zdroje

- Bartoš, Josef. Strojnické tabulky pro střední průmyslové školy strojnické. Praha. Nakladatelství technické literatury. 1976
- Benedettelli, Danuele. Programming LEGO NXT Robots using NXC [online] 5. března 2009 Dostupné z URL: http://bricxcc.sourceforge.net/nqc/doc/NQC_Manual.pdf
- Eller, Frank. Delphi 6. München/Germany. Addison- Wesley Verlag. 2000; překlad: Bráza, Jiří. Delphi 6 příručka programátora. Praha. Grada Publishing. 2002
- Hansen, John. Not eXactly C (NXC) Programmer's Guide [online]. 5. března 2009. Dostupné z URL: http://bricxcc.sourceforge.net/nqc/doc/NQC_Guide.pdf
- Překlad: Salay, Ivan. Turbo C++. Mnichovice. Master distributor BORLAND; APRO spol. s r.o.. 1991
- HOOP Machines Oy - Products [online]. 27.února 2009. Dostupné z URL: <http://www.hoopmachines.fi/products.php>
- Programovací jazyk C Doplnkové skriptum [online]. 27. února 2009. Dostupné z URL: <http://www.fsid.cvut.cz/cz/U201/skrc.html>
- McClean Anderson - FILAMENT WINDING MACHINES [online]. 27.února 2009. Dostupné z URL: http://www.mccleananderson.com/products/filament_winders/filament_winders.htm
- Mechatronický přístup vede k zajímavým výsledkům ve výzkumu [online]. 15. března 2009. Dostupné z URL: <http://www.cvut.cz/pracoviste/odbor-vnejsich-vztahu/stranky/cvut-v-mediich/2008/cervenec/mechatronicky-pristup-vede-k-zajimavym-vysledkum-ve-vyzkumu>
- Mikrosam MK [online]. 27.února 2009. Dostupné z URL: <http://www.mikrosam.com/>
- Structural Composite Tubes > Technologie [online]. 27.února 2009. Dostupné z URL: <http://www.compotech.com/index.aspx?id=5>
- Dokumentace ke krokovým motorům MEZ Náchod, typ motoru Z42VV141
- Návod k obsluze koncového stupně SD13 firmy JMF
- User's Manual Advantech PCL-839+ 3-Axis Stepping Motor Control Card

Použitý software

- Google SketchUp. Version 7.0.8657
- AutoCAD LT 2009
- Borland C++ & Application Frameworks 3.1
- Borland Delphi for Microsoft Windows Version 10.0.2288.42451
- BricX Command Center Version 3.3

Seznam obrázků

Horizontální navíjecí stroj.....	8
Model navíjecího stroje sestavený z Merkuru.....	9
Podélné navíjení – úhel 0°.....	9
Těsné navíjení - úhel 90°.....	9
Navíjení „napříč“ - úhel 45°.....	9
Průhyb trnu.....	10
Průhyb podélného vlákna (zdůrazněn nízkou napínací silou).....	10
Prostředí uživatelského rozhraní.....	16
3D návrh stroje s popisem základních částí.....	18
Vozík s tryskou.....	20
Krokový motor pro posuv vozíku.....	20
Krokový motor pro rotaci trnu.....	21
Mechanismus uchycení trnu.....	21
Ukázka výrobního výkresu - hřídel.....	22
Mechatronické zavěšení.....	23
Model mechatronického zavěšení.....	25

Seznam příloh

- Výrobní výkresy novových dílů
 - Držák rotoru
 - Držák trysky
 - Hřídel řemenice
 - Detail konce hřídele řemenice
 - Hřídel rotoru
 - Uchycení ložiska koníku
 - Patka nosníku
 - Spodní příruba – přední a zadní pohled
 - Spodní příruba – nárys
 - Spodní příruba – pohled shora
 - Hnízda na vodící tyče
 - Uchycení trnu – část 1
 - Uchycení trnu – část 2
- Sestavy pro montáž stroje
 - Sestava - uchycení trnu
 - Sestava - řemenice
 - Celkový pohled na stroj
 - Celkový pohled na stroj – druhá strana
 - Řez základnou stroje
 - Pojezd s uchycením trysky
 - Koník
 - Uchycení kladky pro napnutí řemenu