

## DESIGN OF MODULAR DEVICE FOR RAPID-PROTOTYPING AND ITS APPLICATIONS

**Durkáč M., Mareček J.**

Department of Agriculture, Food and Environmental Engineering, Faculty of Agronomy, Mendel University in Brno, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Czech Republic

E-mail: [michal.durkac@mendelu.cz](mailto:michal.durkac@mendelu.cz)

---

### ABSTRACT

This article is describing our FDM Rapid-prototyping machine, methods, which were used for its designing, and application of this technology. Related topic with this machine is using Bioplastic material, concretely PLA polymers based on biodegradable polymer-blend based on cellulose acetate (CA) in wire form.

**Key words:** rapid-prototyping, bioplastics, CAD, polymers, FDM

**Acknowledgement:** Project team RAPI 3D, Domino cubes s.r.o., Brno, Czech Republic, prof. Ing. Jan Mareček, DrSc.

## ÚVOD

Projekt zařízení RAPI 3D započal na podzim v roce 2010, kdy jsme ve společnosti Domino cubes s.r.o. dokončili průzkum trhu pro naši potřebu a učinili rozhodnutí, že má význam se do zmiňovaného projektu pustit. Projekt byl odstartován s cílem vyvinout zařízení, které by z plastického materiálu bylo schopno vrstvením vytvořit 3dimensionální model, s běžnou přesností užívanou v konstrukční praxi (0,01 i s opakovatelností). Důležitým měřítkem, které nás vedlo k tomuto projektu bylo i finanční hledisko, protože stávající zařízení na trhu jsou pro mnoho konstrukčních kanceláří a další potenciální uživatele příliš nákladné a tím nedostupné (250 000,- až 1 500 000,-). Naším cílem je a od začátku bylo postavit zařízení, které bude cenově dostupné (cena základního modelu je 120 000,- s DPH) a bude možné jej rozšířit o různé další moduly a nadstavby tak, aby zařízení bylo možné použít i pro případnou malosériovou výrobu (10tky kusů) plastových dílců, případně na dílce z jiného materiálu dotisknout plastovou část.

Jak vyplývá z předchozích vět, zařízení pracuje s polymerním materiálem, který pomocí nanášecí hlavy klade ve vrstvách na sebe do požadovaného tvaru. Výsledný výtisk pak má tvar finální součásti, ale pevnostně je na úrovni materiálu, ze kterého je vyroben, takže výtisky jsou například vhodné k aerodynamickým a hydrodynamickým zkouškám. Co je však největším přínosem, že se díky takto vyhotoveným dílcům dá kontrolovat sestavitelnost a kinematická funkčnost různých mechanismů, strojních celků apod. za malé náklady oproti nákladným prototypům z finálního materiálu a za poměrně velmi krátký čas (řádově 10tky minut, vše závisí na složitosti).

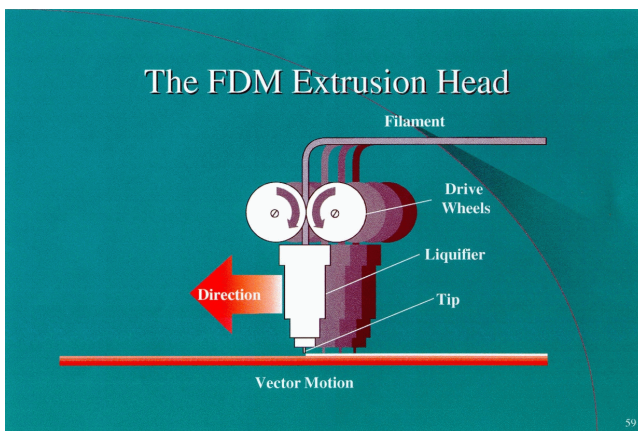
Konstrukce zařízení je modulová a je možné kdykoliv změnit koncepci zařízení a doplnit o další prvky, které napomohou k vyšší produktivitě (pásový dopravník, robotický manipulátor). Dále je počítáno již nyní s možnostmi třískového obrábění měkkých materiálů (plastů, neželezných kovů nižší tvrdosti – měď, mosaz, hliník). Pro možnosti obrábění, ale i snímání tvarů je také ve vývoji zařízení pro oměřování ve formě výměnné hlavy. Tato hlava by pak měla umět snímat body, ze kterých poté ve 3D softwaru nainstalovaném v počítači budeme moci vytvořit povrchy, nebo i přímo objemové objekty. Tímto rozšíříme možnosti zařízení o reverse-engineering.

Zařízení je využitelné pro konstrukční kanceláře (tisk prototypů...). Dále je možné tyto 3D tisky využít pro marketing – reklamní agentury (výroba reklamních předmětů). Výrobci součástí mohou využít možnosti vytisknutí částí z plastu ke kovovým a jiným součástem (Přímé dotisknutí distančních podložek apod.). Pro oblast slévání a hlavně formování by tato technologie mohla být velkým přínosem (vyhotovení modelu pro zaformování, bez nutnosti obrábění). Zařízení je vhodné i pro grafická studia a umělecké ateliéry (možnost vytisknutí zmenšených modelů při tvoření velkých uměleckých kusů) a filmová studia (výtisky součástí scény, figurek pro animované a loutkové filmy apod.).

Konstrukce jednotlivých částí stroje je popsán níže, včetně materiálových charakteristik polymerního materiálu pro vyhotovení výtisků.

## MATERIÁL A METODIKA

Z důvodu jednoduchosti celé technologie a bezproblémové dostupnosti materiálu pro tisk, byla zvolena koncepce metody Fused Deposition Modeling v kombinaci s tiskovým materiálem v podobě biopolymeru Biograde® C 9550 v podobě lanka které je v tiskové hlavě po ohřevu dále přetvářeno protlačením přes uzavíratelnou trysku. Biopolymer je na bázi acetátu celulosy s příslušnými aditivy. Materiál je biodegradabilní, takže proces vytváření prototypů negeneruje ekologické zátěže a lze jej nechat kompostovat, nebo při dalším zpracování depolymerizovat.



Obr. 1 Princip metody Fused Deposition Modeling<sup>2)</sup>

### Mechanické vlastnosti

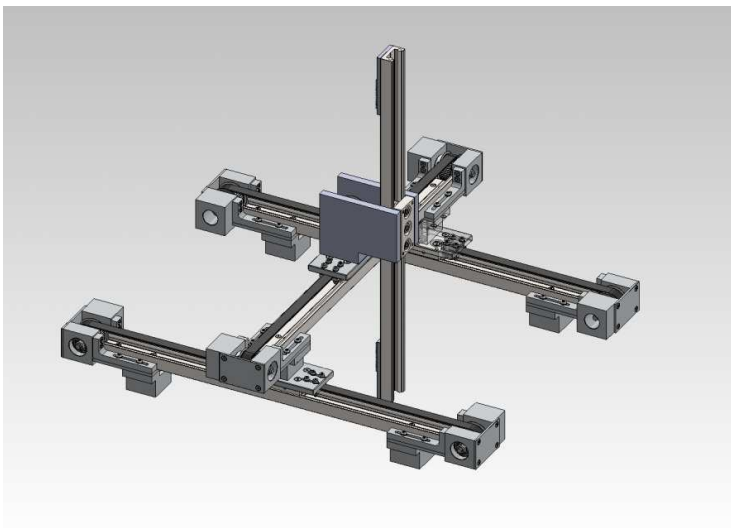
Modul pružnosti	4200	[MPa]	ISO 527
Pevnost v tahu	41	[MPa]	ISO 527
Poměrné prodloužení	6	[%]	ISO 527
Mez pevnosti v tahu	41	[MPa]	ISO 527
Poměrné prodloužení při meze pevnosti	6,5	[%]	ISO 527
Modul v ohybu	4050	[MPa]	ISO 178
Průhyb při meze v ohybu	7	[%]	ISO 178
Napětí v ohybu při 3.5 % průhybu	63	[MPa]	ISO 178
Vrubová houževnatost (Charpy), RT	2	[kJ/m <sup>2</sup> ]	ISO 179-1/1 eA
Rázová pevnost (Charpy), RT	37	[kJ/m <sup>2</sup> ]	ISO 179-1/1 eU
Shore D tvrdost	83	[-]	DIN 53505
Hustota	1.67	[g/cm <sup>3</sup> ]	ISO 1183
Objemová hmotnost	935	[kg/m <sup>3</sup> ]	ISO 60

### Termo-mechanické vlastnosti

Teplota tavení	> 180	°C	ISO 3146-C
Vicat A teplota plasticity	118	°C [cm <sup>3</sup> /10 min]	ISO 306

Tab. 1 Vlastnosti materiálu Biograde® C 9550

Zařízení je řešeno obdobnou koncepcí jako moderní CNC obráběcí centra. Jednotlivé pohybové osy řeší lineární moduly poháněné elektromotory s převodem ozubeným řemenem. Základní konstrukce je řešena hliníkovými profily, pospojovanými speciálními spojkami. Základní rám řeší jak nosnou, tak krycí funkci stroje. Koncepce je řešena z hlediska výsledného „výlisku“ jako statická, tj. veškeré pohyby vykonává tisková (obráběcí hlava). Mechanismus je řešený jako soustava lineárních pojezdů a to tak, že ve směru osy Y budou lineární pojezdy zdvojeny (z důvodu největšího zatížení), zbylé jsou už jednoduché. Lineární pohony jsou řemenové, točivý moment je přenášen ozubeným řemenem. K pohonu jsou použity stejnosměrné motory s N-kodérem. Řízení obstarává modulový řídicí systém řešený mikrocontrolery, vlastním řídicím systémem pro stroj a výpočtovým softwarovým rozhraním pro PC, které vhodným způsobem zpracovává modul z CAD softwaru.



*Obr. 2 Pohybový osový kříž Rapi 3D*

Bezpečnost stroje řešíme pomocí kontaktních čidel, bezpečnostním zámekem a polykarbonátovými skly. Celkově je bezpečnost jedním z nejdůležitějších hledisek, aby zařízení splnilo ta nejpřísnější hlediska dané zákony, vyhláškami, normami, požadavky zákazníků a nás, vývojářů.

Celý návrh je, jak již bylo zmíněno, zpracováván v 3D CAD systému Solidworks. Při konstrukci jsou využívány v plném rozsahu funkce objemového modeláře. Celý návrh je řešen metodou „Shora dolů“, kdy je celý model řešen vlastně z vnějších partií dovnitř. Tímto způsobem jsme schopni se snáze řídit skicou rozvržení, kterou si na začátku vytvoříme, a právě tato se nám stává vodící mapou celého návrhu. Změnou ve skice rozvržení se nám poté mohou posouvat i již provázané celky a tak například změna rozteče kladek u lineárního pohonu je opravdu pouze otázkou změny hodnoty jedné kóty a nemusíme přepracovávat celý model. V případě, že je již vyhotovena

výkresová dokumentace, provedená změna se automaticky promítne i v ní. Metodika „shora dolů“ je velmi efektivní i v řešení prostorových dispozic celého návrhu. Myšleno je tímto, že je hotový plášť, který celé zařízení obklopuje a je třeba do něj umístit součásti, případně celky, nutné pro funkci zařízení. Díky této funkcionalitě nemusí konstruktér řešit zdržujícím výpočtem rozměrový obvod uložení, ale celý ho domodeluje, dle vnějších vazeb na ostatní součásti celku. Návrh v tomto systému dále napomáhá názorně si představit montáž celku a předejít tak nepřijemným zjištěním, že návrh je vlastně nesmontovatelný z důvodu nevhodného umístění některých součástí.

V pozdější fázi návrhu budou v rámci modelování řešeny kompletní kabelové rozvody a jejich umístění do struktur zařízení. Systém po vymodelování umí sám generovat popisy vedení, jejich soupis, hlídá kolize apod.



Obr. 3 Nosná konstrukce Rapi 3D

prezentaci funkcí a kvality výstupu, aby mohli zaujmout stanovisko a případně zařízení koupit. V zemích západně od našich hranic (Německo, Francie) již řešíme specifické požadavky, které upravují funkcionality našeho zařízení a dávají podněty k úpravám stávajícího návrhu již ve fázi konstrukce.

Další cílem je pro nás stavba extrudéru, pro tvorbu vlastního vlákna pro tisk, protože momentálně vlákno nakupujeme od našich dodavatelů. Extrudér by umožnil materiál nakupovat v podstatně větším množství ve formě granulátu a následně jej přetvářet extrudováním – protlačněním přes matici

Možnosti tohoto systému jsou takřka neomezené a je jen na invenci konstruktéra, co za pomoci tohoto nástroje vyvine a uvede v reálnou fungující věc, která ulehčí lidstvu nějakou činnost.

## VÝSLEDKY A DISKUZE

Náš projekt momentálně finalizuje výkresovou dokumentaci mechanických částí stroje, ab mohly být zadány do výroby. Aktuálním problémem je vyřešení ovládacího panelu zařízení, který by měl umožnit manuální najíždění hlavy do potřebné pozice, zobrazování pracovních údajů a umístění ovládacích a bezpečnostních prvků (Nouzové tlačítko pro vypnutí).

Prototyp stroje by měl být připraven a po funkčních testech do 1/2012. Vše je závislé od dostupnosti dílů u distributorů a dodržení termínů pro vyrábění součástí u našich dodavatelů.

Otázkou pro náš vývojový tým je poptávka po tomto zařízení. Dle informací, které se k nám dostávají po postupném představování našich záměrů a zatím pouze návrhu zařízení, velmi konzervativní český a slovenský trh (první potenciální zákazníci) nutně potřebují

a následným namotáním na nosný výměnný buben. Materiál by bylo možné i pomocí dávkovače a pigmentů barvit a vytvořit tak i škálu barevných variant vláken pro tisk.

Jde nám o komplexnost a co rozšíření zařízení do co nejvíce odvětví. Jedním z cílů jsou i vzdělávací instituce, kterým by stroj mohl sloužit pro vytváření názorných modelů pro moderní a interaktivní výuku s hmatatelnými podněty pro studenty.

## ZÁVĚR

Rapi 3D není nijak převratná technologie, ale jejím cílem nikdy nebylo přijít s něčím zásadně novým. Rapi chce dát k dispozici technologii Rapid-prototypingu i lidem, společnostem, které by si dříve obdobnou věc dovořit nemohli hlavně z finančního hlediska. Jedná se jak o cenu výtisku (10tky Kč), tak i pořizovací cenu stroje (Viz. úvod).

Náš vývojový tým doufá, že se jednou 3dimensionální tisky stanou stejně běžnou technologií při konstrukčních a designových návrzích, jako se staly běžnými velkoformátové plotry pro tisk výkresové dokumentace.

## LITERATURA

- 1.PALM, William. Overview of Rapid Prototyping [online]. May 1998.Penn State Learning Factory, May 1998, revised 30 July 2002 [cit. 2011-05-02]. Rapid Prototyping Primer. Dostupné z WWW: <<http://www.mne.psu.edu/lamancusa/rapidpro/primer/chapter2.htm#whatis>>.
- 2.PALM, William. Overview of Rapid Prototyping [online]. May 1998.Penn State Learning Factory, May 1998, revised 30 July 2002 [cit. 2011-05-02]. Rapid Prototyping Primer. Dostupné z WWW: <<http://www.mne.psu.edu/lamancusa/rapidpro/primer/chapter2.htm#techniques>>.
- 3.Evektor, spol. s r.o. Evektor [online]. 1999-2011.EDOX, 1999, 2011 [cit. 2011-05-02]. Rapid Prototyping. Dostupné z WWW: <<http://www.evektor.cz/3d-tisk-fdm.aspx>>.
- 4.FREIBAUER, Martin. Základy práce v CAD systému SolidWorks : Naučte se modelovat na konkrétních projektech. 2. aktualizované vydání. [s.l.] : Computer Press, 2011. 326 stran s. ISBN 978-80-251-2504-5, EAN: 9788025125045
- 5.DURKÁČ, Michal; TRÁVNÍČEK, Petr; JUNGA, Petr; MAREČEK, Jan. Moderní postupy konstrukce při vývoji modulového zařízení pro rapid-prototyping. [CD-ROM]. In Nové trendy v konstruování a v tvorbě technické dokumentace 2011. s. 159--164. ISBN 978-80-552-0585-4.