

Interaktivní matematická grafika v PDF dokumentech

Roman Plch

Ústav matematiky a statistiky, PřF MU

15. listopadu 2013

Abstrakt

Cílem příspěvku je prezentovat možnosti sázecího systému $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ při tvorbě interaktivní matematické grafiky v PDF formátu. Na příkladech výukových objektů ukážeme použití a možnosti animací, interaktivní 2D a 3D grafiky. Představíme nástroje použité při tvorbě a jejich výhody pro tvůrce i uživatele (např. vysoká typografická kvalita, multiplatformnost, spouštění pomocí Adobe Readeru, využití pro interaktivní tabule a mnoho dalšího). S minimálními náklady tak můžeme učinit výukový proces atraktivnější a pro studenty zábavnější.

Klíčová slova: PDF, $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$, interaktivní 2D a 3D grafika, animace

Interactive Mathematical Graphics in PDF Documents

Abstract

The aim of this paper is to present the opportunities provided by the $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ typesetting system for the creation of interactive mathematical graphics in PDF format. On the examples of learning objects we show the use and possibilities of interactive 3D and 2D graphics and animations. We introduce tools for creating these objects and benefits for their creators and users. So we can make the learning process more attractive and more enjoyable for students (with minimum costs).

Key words: PDF, $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$, interactive 2D and 3D graphics, animations

1 Úvod

Výhody sázecího systému TeX pro přípravu matematických textů jsou velmi dobře známy. Méně známá už je skutečnost, že výsledný PDF dokument nemusí být jen statický, ale můžeme vytvářet i interaktivní elektronické dokumenty při zachování vysoké typografické kvality. Interaktivitu zajišťuje vkládání Javascriptů, které při vhodném použití rozšiřují možnosti PDF dokumentů nebývalým způsobem. Na příkladech výukových objektů z vysokoškolské matematiky ukážeme použití a možnosti interaktivní 3D a 2D grafiky, animací a představíme nástroje použité při tvorbě a jejich výhody pro tvůrce i uživatele.

2 Interaktivní 3D grafika

Do PDF dokumentů je možno vkládat třírozměrné objekty, které uživatel může libovolně natáčet či přibližovat a vzdalovat, zobrazovat jen vybrané části objektu... a mnoho dalšího. Interakci uživatele s objektem zajišťuje 3D Toolbar, který je součástí Adobe Readeru. Pro tvorbu PDF dokumentů s vloženou interaktivní 3D grafikou potřebujeme grafický 3D objekt ve formátu U3D ([3]) nebo PRC ([1]).

3D grafický objekt vložíme do PDF dokumentu buď pomocí komerčního produktu Adobe Acrobat v kombinaci s pluginem 3D PDF Converter (dříve 3D Reviewer) od společnosti tetra4D (<http://www.tetra4d.com>) nebo použijeme sázecí systém \TeX a balíček media9 ([5]). V dalším se věnujeme pouze „nekomerční“ cestě, tj. využití \TeX u a balíčku media9. Pro přímý výstup do PDF dokumentu použijeme pdf \TeX (požadována verze nejméně 1.30). Pro korektní zobrazení výsledného dokumentu musíme použít Adobe Reader verze 9 (a vyšší) a v nastavení Adobe Readeru zvolit oboustranné zobrazení grafického objektu (Preferences – 3D & Multimedia – Enable double-sided rendering).

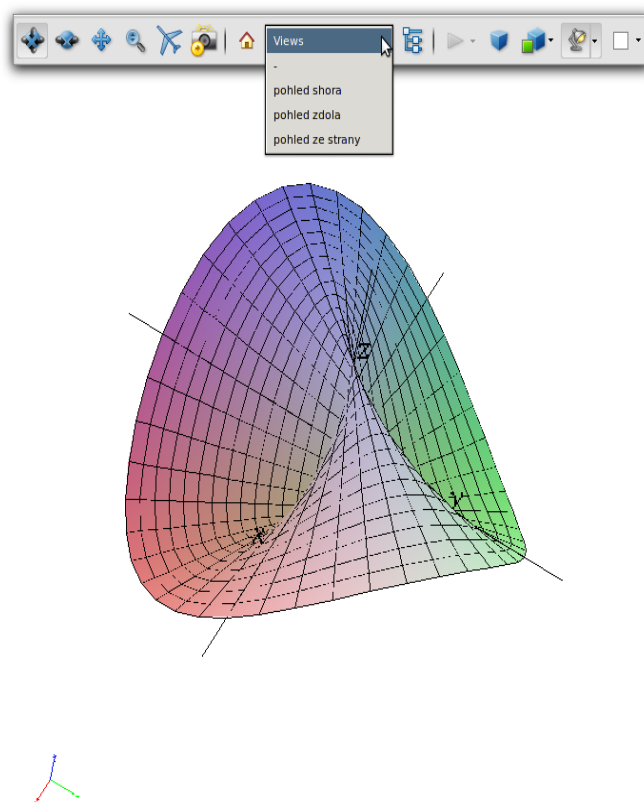
Vlastní začlenění interaktivní grafiky provádíme příkazem `\includemedia`, celý postup je detailně popsán v [9] a [10]. Pomocí parametrů příkazu `\includemovie` můžeme vytvářet také pojmenované pohledy na scénu. Ve výsledném PDF dokumentu se tyto pohledy zobrazí v Toolbaru a je možno z nich vybírat (obr. 1) nebo se na ně z textu odkazovat. Můžeme tak studentům jednoduše ukázat ty části grafiky, které jsou pro popisovaný problém důležité.

2.1 Vytváření a konverze 3D objektů

K vytváření „matematických“ 3D objektů je možno využívat velké množství specializovaných či obecných matematických programů. Některým z nich se věnujeme podrobněji dále (kapitola 2.1.1 – 2.1.4). Získaný 3D objekt je následně nutno převést do formátu PRC (U3D). Pro konverzi můžeme použít řadu komerčních a volně šířených programů:

Komerční produkty:

- Deep Exploration
http://www.righthemisphere.com/products/dexp/de_std.html



Podívejte se na danou funkci z různých pohledů – **shora**, **zdola** a **ze strany**.

Obrázek 1: 3D Toolbar a ukázka použití pojmenovaných pohledů

- 3D PDF Converter (dříve 3DReviewer, součást Acrobatu 3D) <http://www.tetra4d.com/3dpdf>
- PDF3D ReportGen (k dispozici i Linuxová verze) <http://www.pdf3d.com/products.php>
- Okino Universal-3D Geometry Export Converter http://www.okino.com/conv/exp_u3d.htm

„Nekomerční“ produkty:

- Meshlab <http://meshlab.sourceforge.net/>
- Jreality <http://www3.math.tu-berlin.de/jreality/>
- IDTFConverter <http://sourceforge.net/projects/u3d/>

Ukažme si nyní na konkrétních příkladech možnosti (a úskalí) tvorby a konverze matematických 3D objektů.

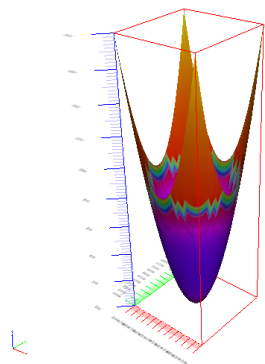
2.1.1 Maxima

Maxima je svobodný, komplexní systém počítačové algebry (<http://maxima.sourceforge.net/>).

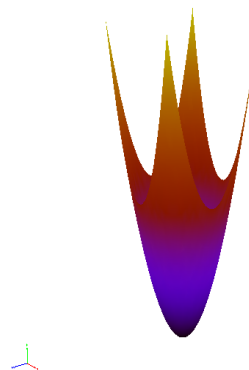
Graf funkce dvou proměnných vytvoříme pomocí příkazu `draw3d` z balíčku `draw`. Po nastavení terminálu pro vykreslování grafiky na VTK (<http://riotorto.users.sourceforge.net/vtk/index.html>, místo implicitního `gnuplot`) můžeme 3D grafiku uložit ve formátu VRML¹.

```
load(draw);
draw_renderer : 'vtk $
draw3d(
  axis_3d    =true,
  file_name = "ukazka",
  terminal= vrml,
  enhanced3d = true,
  explicit(x^2+y^2, x, -2, 2, y, -2, 2) )$
```

Na obrázcích 2 a 3 vidíme rozdíly v konverzi 3D objektu ve formátu VRML, získaného v Maximě, při použití komerčního programu PDF3D ReportGen a nekomerčního Meshlabu. Oba programy nastavují stejné měřítko na osách, Meshlab ale neumožňuje konverzi (zobrazení) os.



Obrázek 2: Graf vytvořený v Maximě, konverze do PRC pomocí PDF3D Report-Gen



Obrázek 3: Graf vytvořený v Maximě, konverze do U3D pomocí Meshlabu

¹Virtual Reality Modeling Language, založený na deklarativním programovacím jazyce, navržený především pro popis trojrozměrných scén, více např. na <http://cs.wikipedia.org/wiki/VRML>

2.1.2 Sage

Sage (<http://www.sagemath.org>) je dalším ze svobodných systémů počítačové algebry. Zajímavostí je využití prostředí internetového prohlížeče pro grafické uživatelské rozhraní.

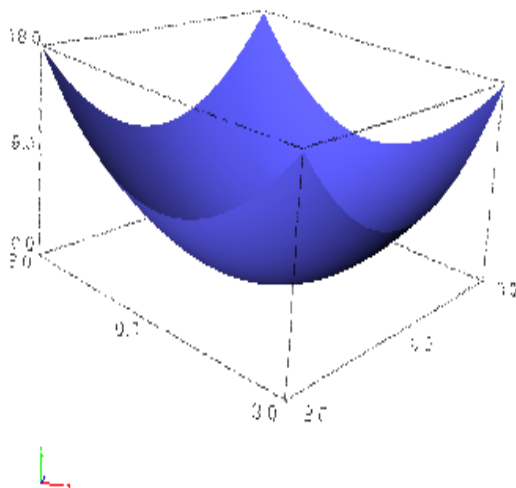
Graf funkce dvou proměnných vytvoříme pomocí následujících příkazů

```
var('x y'); plot3d(y^2+x^2,(x,-3,3),(y,-3,3))
```

Získaný graf uložíme ve formátu JMOL (Toggle Advanced Controls – Download this view). Následně tento soubor otevřeme v programu Jmol (<http://jmol.sourceforge.net/>) a exportujeme do formátu IDTF². Exportovaný soubor poté převedeme do U3D pomocí programu IDTFconverter příkazem

```
IDTFconverter -input soubor.idtf -output soubor.u3d
```

Výsledek (po vložení do PDF dokumentu) vidíme na obrázku 4. I když popsany postup vy-
padá na první pohled trochu komplikovaně, jedná se (zatím) o jedinou čistě nekomerční cestu
k začlenění matematické 3D grafiky, vytvořené CAS systémem (i s osami a popisem os), do
PDF dokumentu.



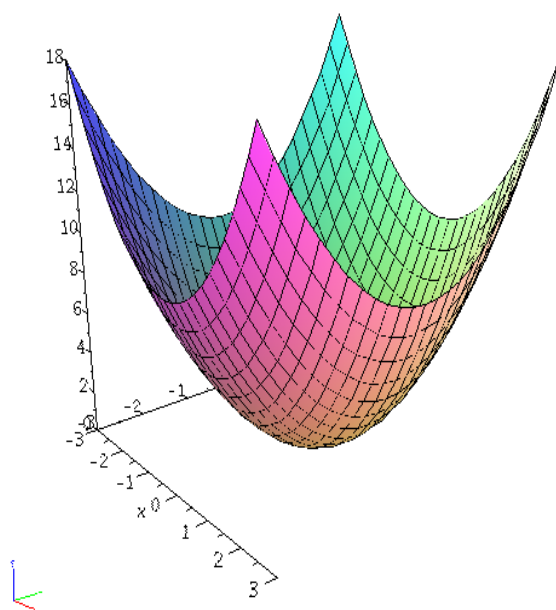
Obrázek 4: Graf vytvořený pomocí CAS Sage

²Intermediate Data Text Format, http://wiki.jmol.org/index.php/File_formats/3D_Objects

2.1.3 Maple

Komerční systém počítačové algebry Maple (<http://www.maplesoft.com>) a tvorbu grafu funkce dvou proměnných jsme popsali již v [9], [10]. Novější verze Maplu (od verze 13) umožňují navíc export 3D grafiky do formátu X3D³ jednoduše kliknutím pravým tlačítkem myši na obrázek a volbou Export – Extensible 3D. Pro následnou konverzi do formátu PRC je možné použít program `maplex3d2prc`, který umí exportovat i osy s popisem a zachovává nastavená měřítka na osách a barevné schéma (obr. 5). Program se spouští s jediným argumentem – jménem souboru X3D – exportovaným z Maplu. Na výstupu dostáváme PRC soubor, PDF soubor s vloženou 3D grafikou a JavaScript, který zajišťuje správnou orientaci popisu os a musí být připojen při vkládání objektu do PDF souboru.

Tento převodník zatím není k dispozici volně ke stažení, autor Michail Vidiassov jej však na vyžádání zašle na testování.



Obrázek 5: Graf vytvořený v Maplu a převedený do PRC pomocí `maplex3d2prc`

2.1.4 Matlab, R

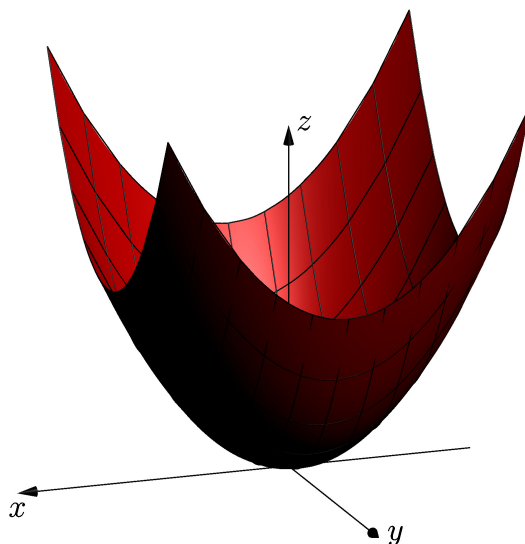
Na závěr ještě stručně zmíníme tvorbu 3D objektů ve dvou programech na zpracování dat, v komerčním Matlabu a volně šířeném R:

³Extensible 3D, XML formát na ukládání 3D scén, ideový nástupce VRML, <http://www.web3d.org/x3d/>

- Matlab – export do VRML pomocí příkazu `vrm1` nebo pomocí balíčku `fig2u3d` (<http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/37640>)
- R – použití balíčku `misc3d` (<http://cran.r-project.org/web/packages/misc3d/misc3d.pdf>) a příkazu `exportScene(scene, filename, format=c("OFF", "IDTF", "ASY"))`

Obdobně můžeme postupovat prakticky s libovolným matematickým programem, který umožňuje export v některém z 3D formátů, přičemž pro následnou konverzi do PRC (U3D) bez nutnosti použití komerčních produktů se jako nejvýhodnější jeví formát IDTF (např. Sage, R). Pro ostatní formáty je nutno použít Meshlab⁴ (bohužel bez možnosti exportovat obrázek i s osami a popisem) nebo investovat do zakoupení některého z komerčních programů. Do budoucna se plánuje možnost načítání 3D formátů do programu Asymptote (viz. následující kapitola) či přímý PRC výstup z programu R.

2.2 Přímá tvorba 3D objektu ve formátu PRC – Asymptote



Obrázek 6: Graf vytvořený pomocí programu Asymptote

Asymptote (<http://asymptote.sourceforge.net/>) je interpretovaný programovací jazyk se syntaxí podobnou C++ určený pro generování grafiky. Mezi jeho výhody patří zejména tyto možnosti

⁴Meshlab aktuálně pracuje s formáty PLY, STL, OFF, OBJ, 3DS, COLLADA, PTX, V3D, PTS, APTS, XYZ, GTS, TRI, ASC, X3D, X3DV, VRML a ALN.

- na výstupu můžeme získat 3D grafiku přímo ve formátu PRC,
- pro popis obrázků využívá $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$,
- existuje $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ ový balíček, který umožňuje vkládat kód Asymptote přímo do zdrojového dokumentu.

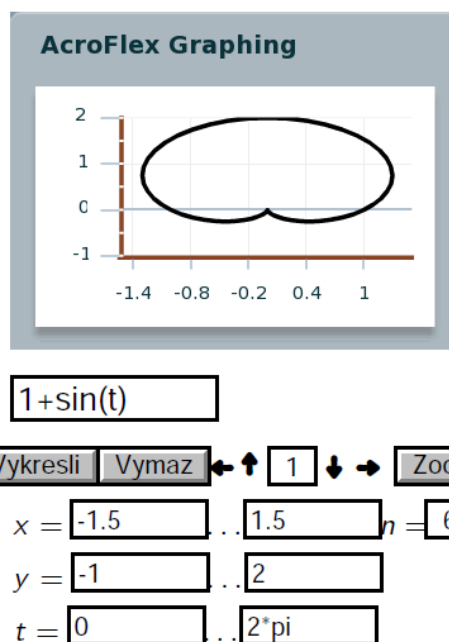
Není tedy problémem vytvářet interaktivní grafiku i s popisem, jak je vidět na obrázku 6. Celou řadu dalších ilustrativních ukázek najdeme na webu Asymptote a v diplomové práci [8].

3 Interaktivní 2D grafika

3.1 Acro $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$

Dalším zajímavým nástrojem pro interaktivní práci s grafikou je Acro $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ profesora D. P. Storyho (<http://www.math.uakron.edu/~dpstory/acroflex.html>). Balíček `acroflex` je hlavní aplikací balíčku `rmannot`, používá grafickou obrazovku vytvořenou pomocí Adobe FLEX 3 (FLEX 3 je značkovací jazyk (podobný XML) pro vytváření flashových aplikací). Systém Acro $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ umožňuje vytvářet grafická okna dvou typů – interaktivní a neinteraktivní. Neinteraktivní obrazovka je vyvolána kliknutím na předem připravený odkaz (s nastavením funkce, intervalu, na kterém ji vykreslujeme a oborem vykreslovaných hodnot). Uživatel může pouze zobrazit výsledný graf, jeho další úpravy nejsou možné. Odkaz je vytvářen příkazem `\sgraphLink`. V aktuální verzi Acro $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ u můžeme v jedné grafické obrazovce zobrazit naráz maximálně čtyři funkce, čtyři funkce s vybarvenou oblastí mezi grafem a horizontální osou a čtyři množiny bodů. Kromě grafů funkcí jedné proměnné je možné zadávat i křivky dané parametricky, v polárních souřadnicích a množiny bodů. U interaktivní obrazovky můžeme vzhled grafu ovlivnit pomocí celé řady parametrů, můžeme ho např. posouvat horizontálně a vertikálně a zvětšovat či zmenšovat. Pro modifikaci výsledku můžeme definovat systém menu a tlačítek (obr. 7). I pro interaktivní grafickou obrazovku můžeme použít předem připravených odkazů. Grafické okno může mít přesně určenou polohu a velikost nebo můžeme použít tzv. plovoucí okno, které se po aktivaci objeví na okraji dokumentu. Kliknutím na pravý horní roh okno uzavřeme, změnu velikosti provedeme tažením pravého spodního rohu. Změnu umístění provedeme kliknutím na kterýkoliv okraj okna a následným přetažením na požadovanou pozici.

Acro $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ je kompatibilní s balíčkem `exerquiz`, interaktivní grafickou obrazovku je tedy možné používat v testech a interaktivních výukových hrách. Ukázky použití najdeme např. v souboru `afgraph.pdf` na domovské stránce balíčku `acroflex` a v diplomové práci [7]. Nevýhodou balíčku `acroflex` je nutnost použití komerčního Adobe Acrobatu pro tvorbu výsledného PDF dokumentu (není tedy možné použít `pdf $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$`). Pro prohlížení dokumentu je třeba použít Adobe Reader verze 9.0 nebo novější.



Obrázek 7: Interaktivní grafická obrazovka systému Acro \TeX

3.2 Animace

Hotovou animaci do PDF dokumentu vložíme pomocí balíčku `animate`. Animaci si nejdříve připravíme v našem oblíbeném matematickém programu (Maple, Geogebra, ...) a uložíme ji jako animovaný GIF. Tento je následně třeba převést do PDF formátu tak, aby každému snímku animace odpovídala jedna stránka ve výsledném PDF dokumentu. To lze jednoduše udělat pomocí programu ImageMagick (<http://www.imagemagick.org>). Vlastní vložení animace (získaného PDF dokumentu) pak provedeme příkazem `\animategraphics`. Výhodou tohoto postupu je i to, že můžeme velmi jednoduše generovat tlačítka pro ovládání animace (obr. 8, na obrázku je náhled animace, znázorňující chování paraboly v závislosti na parametru a). Balíček `animate` umožňuje vytváření animací i přímo ve zdrojovém kódu \LaTeX ového dokumentu (např. s využitím grafického makrojazyka PGF/Tikz nebo programovacího jazyka Asymptote). Ukázky animací v PDF formátu najdeme v dokumentaci balíčku `animate` a na stránkách PGF/Tikz a Asymptote.

4 Závěr

Ukázali jsme, jak lze pomocí sázecího systému \TeX a jeho balíčků vytvářet výukové materiály v PDF formátu obsahující interaktivní 2D a 3D grafiku a animace. Hlavní výhodu pro

Obrázek 8: Animace exportovaná z Maplu

tvůrce představuje samotný systém (pdf)TeX, který umožňuje tvořit matematické dokumenty velmi vysoké typografické kvality. TeX je volně dostupným, multiplatformním systémem a jednotlivé balíčky lze libovolně dotvářet a modifikovat. Pro koncové uživatele (studenty a učitele) mají takto vytvořené materiály také mnoho výhod. Uživatel si nemusí instalovat žádný nový software (stačí Adobe Reader), dokumenty jsou funkční bez připojení na Internet a takto připravené materiály jsou vhodné i pro použití na interaktivní tabuli.

Reference

- [1] Adobe Systems Inc. *PRC Format Specification*, dostupné z: http://livedocs.adobe.com/acrobat_sdk/10/Acrobat10_HTMLHelp/API_References/PRCReference/PRC_Format_Specification/index.html
- [2] Adobe Systems Inc. *JavaScript for Acrobat 3D Annotations* [online], duben 2007. Dostupné z: http://www.adobe.com/devnet/acrobat/pdfs/js_3d_api_reference.pdf

- [3] ECMA International *Universal 3D File Format (ECMA-363), 4th Edition*, 2007, dostupné z: <http://www.ecma-international.org/publications/files/ECMA-ST/ECMA-363%204th%20Edition.pdf>
- [4] GRAF, Norman A. 3DPDF: Open Source Solutions for Incorporating 3D Information in PDF Files. In: *IEEE 2012 Nuclear Science Symposium, Medical Imaging Conference* [online]. 2012 [cit. 2013-05-23]. Dostupné z: <http://www.slac.stanford.edu/cgi-wrap/getdoc/slac-pub-15295.pdf>
- [5] GRAHN, Alexander. *The media9 package* [online], leden 2013. Dostupné z: <http://mirrors.ctan.org/macros/latex/contrib/media9/doc/media9.pdf>
- [6] GRAHN, Alexander. *The animate package* [online], leden 2013. Dostupné z: <http://mirrors.ctan.org/macros/latex/contrib/animate/animate.pdf>
- [7] JALOVÁ, Nela. . 2009, Brno. Dostupné z: http://www.math.muni.cz/~plch/diplomky/jalova_diplomka.pdf.
- [8] KUTAL, Ondřej. *Tvorba matematické grafiky pomocí programu Asymptote*. 2012, Brno. Dostupné z: <http://www.math.muni.cz/~plch/diplomky/asymptote.pdf>. Diplomová práce. Masarykova univerzita
- [9] PLCH, Roman a Petra ŠARMANOVÁ. Interaktivní 3D grafika v HTML a PDF dokumentech. *Zpravodaj Československého sdružení uživatelů TeXu*. 2008, roč. 18, 1-2, s. 76-92. Dostupné z: http://bulletin.cstug.cz/pdf/bul_0812.pdf
- [10] PLCH, Roman a Petra ŠARMANOVÁ. An Interactive Presentation of Maple 3D Graphics in PDF Documents. *The Electronic Journal of Mathematics and Technology* [online]. 2008, roč. 2, č. 3, s. 281-290 [cit. 2012-04-27]. Dostupné z: https://php.radford.edu/~ejmt/deliveryBoy.php?paper=eJMT_v2n3n1
- [11] PLCH, Roman a Petra ŠARMANOVÁ. Interaktivní prezentace matematické grafiky na webu a v PDF dokumentech. In: *Sborník semináře Technologie pro e-vzdělávání*. Praha: ČVUT FEL, 2007, s. 31–38. ISBN 978-80-01-03756-0. Dostupné z: <http://home1.vsb.cz/~s1a64/publikace/clzivy.pdf>
- [12] STORY, D. P. *AcroF_ℒX* [online], říjen 2010. Dostupné z: http://mirrors.ctan.org/macros/latex/contrib/acroflex/doc/acroflex_man.pdf

Roman Plch

Ústav matematiky a statistiky, PřF MU,
Kotlářská 2, 6111 37 Brno
plch@math.muni.cz