Univerzita Karlova v Praze
Pedagogická fakulta

Katedra matematiky a didaktiky matematiky

Grafický kalkulátor TI-89 Titanium

Autor: Kateřina Pelcová
Vedoucí práce: PhDr. Petr Dvořák, Ph.D.

Praha 2010

Název:

Grafický kalkulátor TI-89 Titanium

Abstrakt:

Cílem mé bakalářské práce bylo prozkoumat možnosti, které grafický programovatelný kalkulátor TI-89 Titanum skýtá a vytvořit přehledného průvodce jeho funkcemi, doplněného o mé vlastní zkušenosti. Účelem nebylo poukázat pouze na dobré vlastnosti a výhody práce s kalkulátorem, ale upozornit i na nedostatky a určitá úskalí, na která je dobré si při výpočtech dávat pozor.

Title:

Graphic Calculator TI-89 Titanium

Summary:

The purpose of my bachelor's work was to explore all the possibilities offered by graphic programmable calculator TI-89 Titanium and to create a tabular guide to functions with my personal experiences added. I wanted to show good features and benefits of using this calculator, but also to mention potential flaws and troubles, which every user should mind when making his calculations.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci Grafický kalkulátor TI-89 Titanium vypracovala pod vedením PhDr. Petra Dvořáka, Ph.D. samostatně na základě vlastních zjištění a za použití pramenů uvedených v seznamu použité literatury.

Velká Buková, 16. června 2010 .....

Kateřina Pelcová

Poděkování:

Tímto bych ráda poděkovala vedoucímu své práce PhDr. Petru Dvořákovi, Ph.D. za čas strávený konzultacemi, cenné připomínky a komentáře.

Obsah

Úvod....7
1 Vývoj programovatelných kalkulátorů....9
1.1 Historie....9
2 Grafické kalkulátory....11
2.1 Historie grafických kalkulátorů....11
2.2 Grafické kalkulátory Texas Instruments....12
2.2.1 Použité mikroprocesory....12
2.2.2 Přehled grafických kalkulátorů....14
3 TI-89 Titanium....20
3.1 Computer algebra system (CAS)....20
3.2 Programovatelnost....21
3.3 Propojení s jinými zařízeními....21
4 Úvod do práce s kalkulátorem....23
4.1 Aplikační vybavení kalkulátoru....23
4.2 Režim zobrazení výsledku....25
4.3 Oblast s historií....27
5 Symbolické výpočty....28
5.1 Operátor „with“....28
5.2 Definování proměnných....29
5.3 Zjednodušování výrazů....30
5.4 Práce s polynomy....31
5.5 Řešení lineárních rovnic a jejich soustav....32
5.6 Derivace a integrace....33
5.7 Hledání limity....34
6 Grafické znázorňování funkcí....35
6.1 Parametrické grafy....38
6.2 Znázorňování posloupností....38
6.3 Trojrozměrné grafy....40
6.4 Implicitní grafy....43
7 Tabulky....44
8 Editor dat a matic....45
9 Statistické funkce....47
10 Konstanty a měrné jednotky....49
Závěr....50
Seznam použité literatury....51
Seznam obrázků....53

Úvod

K práci s grafickým programovatelným kalkulátorem TI-89 Titanium jsem se dostala přibližně před dvěma lety, a to díky mému příteli, který je studentem fakulty elektrotechnické na ČVUT, a kalkulátor mi zapůjčil, když jsem se učila na test z polynomické algebry. Ještě větším pomocníkem mi kalkulátor byl o semestr později při analýze, kdy jsem si mohla zkontrolovat výsledky limit či derivací, a snadno a rychle zjistit průběh funkce.

Funkce, které jsem pro svoji potřebu využila, jsem se naučila používat víceméně sama, protože návod, který jsem měla k dispozici, byl v angličtině a měl přes pět set stran, což mě zpočátku odrazovalo od jeho přečtení.

Vzhledem k tomu, že studuji dvojobor matematika-informatika, byl grafický kalkulátor jejich perfektním propojením, a proto jsem si vybrala toto téma pro svoji bakalářskou práci. Rozhodla jsem se prozkoumat, jaké funkce grafický kalkulátor TI-89 Titanium poskytuje a jak s nimi lze pracovat.

Mým cílem bylo vytvořit přehledného průvodce doplněného o mé vlastní zkušenosti, který nemá samozřejmě nahradit návod, ale potenciálnímu budoucímu uživateli by měl sdělit dostatek informací, aby se mohl zamyslet nad tím, zda si kalkulátor pořídí a jak jej využije.

Kapitoly 1 a 2 obsahují stručný popis historického vývoje programovatelných a grafických kalkulátorů, v kapitole 3 je ze stejného hlediska popsán již konkrétně typ TI-89 Titanium. Kapitolu 4 jsem pojala jako úvod do práce s kalkulátorem, jsou zde popsány základní ovládací postupy a principy. Kapitola 5 je věnována symbolickým výpočtům, kapitola 6 s názvem „Grafické znázorňování funkcí“ je nejobsáhlejší z celé práce, protože možnost vizualizace je jednou z největších výhod grafického kalkulátoru. Poté následují další čtyři kapitoly věnované práci s tabulkami, s editorem dat a matic, statistickým funkcím a použití měrných jednotek a konstant ve výpočtech.

Příručku k TI-89 v češtině se mi podařilo získat až ve chvíli, kdy jsem měla všechny stěžejní části práce napsané. Přesto, že z ní není v práci konkrétně citováno, je uvedena v seznamu použité literatury, protože jsem ji několikrát použila ke kontrole mých překladů odborných termínů.

Citace, které v práci uvádím, jsou dvojího typu. Text psaný kurzívou a oddělený uvozovkami je mým překladem z uvedeného zdroje. V případě, že jsem z určitého zdroje pouze čerpala informace, je za částí textu pouze odkaz na seznam použité literatury.

1 Vývoj programovatelných kalkulátorů

„*Programovatelné kalkulátory jsou dnes již běžnou pomůckou při výuce ve školách v mnoha zemích Severní Ameriky, ale i jinde*.“ [7] Na rozdíl od běžných kalkulátorů umožňují uživateli přizpůsobit jejich funkčnost pomocí programování a tím řešit různé matematické problémy.

1.1 Historie

První programovatelné kalkulátory se objevily v polovině 60. let 20. století. Jejich výrobcem byly firmy Mathatronics a Casio (typ AL-1000). Tyto kalkulátory však byly velice drahé a těžké, a tak se příliš nerozšířily. [11]

Prvním skutečně kapesním programovatelným kalkulátorem byl v roce 1974 HP-65. Tento kalkulátor měl kapacitu 100 instrukcí a pomocí vestavěné čtečky magnetických karet umožňoval nahrávat nové programy. Společnost Hewlett-Packard pak dlouhou dobu udávala směr vývoje. Následující typ HP-25C již obsahoval vestavěnou paměť, díky které se data i programy zachovaly po vypnutí. [6]

V roce 1979 se na trhu objevil první programovatelný kalkulátor s možností rozšíření o paměť RAM[1], nové programy (ve formě paměti ROM[2]) nebo periferie jako např. čtečku čárových kódů, disketovou a mikrokazetovou mechaniku, tiskárnu a různá komunikační rozhraní. Jednalo se o typ HP-41C. [6]

Ve stejné době probíhal vývoj programovatelných kalkulátorů i v Sovětském svazu. Prvním „stolním“ kalkulátorem byla ISKRA 123, která byla ovšem ještě napájena z elektrické sítě. [4]

Prvním sovětským bateriovým kalkulátorem byl v roce 1978 Elektronika B3-21. [7] Jeho následník Elektronika B3-34 nebyl zpětně kompatibilní. Z typu B3-34 poté vycházela celá řada dalších typů sovětských kalkulátorů. Na rozdíl od soudobých kalkulátorů západní výroby byly sovětské typy velice omezené. Obsahovaly pouze

1 RAM = Random-Acces Memory. Paměti tohoto typu se používají především jako operační paměti počítačů, jsou velmi rychlé, ale dražší než jiné typy. Po vypnutí počítače se v paměti typu RAM data neuchovají.

2 ROM = Read Only Memory. Paměť nelze běžným způsobem přepsat. Na rozdíl od paměti typu RAM je její obsah nezávislý na napájecím napětí.

98 bytů instrukční paměti a zhruba 20 adresovatelných registrů. I tak se ale staly velice populárními a lidé byli schopni pro ně vytvořit velké množství různých programů včetně her. [4]

Rozšířením instrukční sady typu B3-34 poté vznikl kalkulátor Elektronika MK-52, který byl zásadně vylepšen tím, že umožnil ukládat programy na karty s EEPROM[3] pamětí. [5] „*Tento kalkulátor byl mimo jiné také použit jako záložní počítač při několika sovětských vesmírných misích*.“ [4]

Nedlouho po vzniku těchto prvních programovatelných kalkulátorů se kolem nich začaly formovat skupiny nadšenců, kteří při tvorbě programů pro tyto stroje používali všechny možné a často i nedokumentované postupy a vlastnosti, což vedlo k velké rozmanitosti ve využití těchto jednoduchých počítačů. [4]

3 EEPROM = Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory. Jedná se o elektricky mazatelnou paměť typu ROM.

2 Grafické kalkulátory

Grafické kalkulátory jsou podmnožinou programovatelných kalkulátorů. Není to sice nutná podmínka, ale prakticky všechny dnešní grafické kalkulátory jsou zároveň programovatelné.

Na rozdíl od běžných, a to i programovatelných negrafických kalkulátorů, obsahují ty grafické zpravidla monochromatický maticový displej, který slouží k vykreslování různých grafů nebo jiných matematických vizualizací. To, co se na displej vykresluje, se dá samozřejmě ovlivnit příslušným programem, a je jen na programátorovi, jak této možnosti využije. V průběhu let tak vznikly nejen různé tabulkové a grafové procesory, programy pro podporu výuky geometrie nebo třeba různé simulátory, ale také velice vydařené a graficky propracované hry, které se často příliš neliší od jejich počítačové předlohy.

Na grafickém kalkulátoru lze také vykreslovat text, což z něj činí téměř plnohodnotný kapesní počítač. Ten se samozřejmě nemůže rovnat s dnešními PDA nebo chytrými mobilními telefony např. z hlediska jemnosti nebo barevnosti displeje, ale svému účelu slouží velice dobře.

2.1 Historie grafických kalkulátorů[4]

„*První grafický kalkulátor na světě vyrobila v roce 1985 firma Casio. Jednalo se o typ FX-7000G.*“ [7] Krátce poté začala grafické kalkulátory vyrábět také společnost Hewlett Packard. Prvním typem byl v roce 1985 kalkulátor HP-28C. V roce 1988 přišel HP-28S následovaný o dva roky později typem HP-48SX a HP-48S (1991). [6]

Tato série pokračovala několika dalšími typy až do roku 2006, kdy se objevil první kalkulátor firmy HP obsahující computer algebra system (CAS); jednalo se o typ HP 50g. [6] Systém CAS umožňuje provádět symbolické výpočty a bude o něm více zmíněno v pozdější části této práce (viz. kapitola 3.1)

4 Vývojová linie kalkulátorů dle [9].

Další, a možná vůbec nejznámější společností zabývající se výrobou grafických kalkulátorů, byla a dodnes je Texas Instruments. Tato společnost se stejně jako Hewlett Packard zabývá mnoha obory týkajícími se elektrotechniky a výpočetní techniky. Svůj první grafický kalkulátor vydala v roce 1990 a jednalo se o typ TI-81. Další kalkulátory, které přišly po něm, byly TI-82, TI-83, TI-84, TI-80, TI-73, TI-85, TI-86, TI-92, TI-92 Plus, Voyage 200, TI-89, TI-89 Titanium a nejnovější TI-Nspire. Strategie Texas Instruments byla při vydávání nových typů často zaměřena na zachování zpětné kompatibility. A tak byla spousta programů pro starší typy kalkulátorů stále použitelná i u novějších typů. Systém CAS se u kalkulátorů společnosti Texas Instruments poprvé objevil u typu TI-89, a dále ho má také typ TI-92 a nejnovější TI-Nspire, který se prodává i ve variantě bez tohoto systému. [6]

V současné době vyrábí grafické kalkulátory kromě zmíněných společností HP a Texas Instruments ještě Casio se svojí řadou kalkulátorů Algebra FX, Algebra FX 2.0 a ClassPad. [6]

Protože je tato práce z velké části právě o typu TI-89 Titanium, který je vývojovým stupňem předchozích typů od společenosti Texas Instruments, popíši v následující části práce jednotlivé typy kalkulátorů tohoto výrobce trochu podrobněji.

2.2 Grafické kalkulátory Texas Instruments

„*V současné době je společnost Texas Instruments vedoucí společností v oblasti grafických kalkulátorů.*“ [7] Její grafické kalkulátory by se daly rozdělit na 3 základní druhy, a to podle použitého mikroprocesoru.

2.2.1 Použité mikroprocesory

Zilog Z80

První druhem jsou kalkulátory založené na procesoru Zilog Z80. Jedná se o 8-bitový mikroprocesor navržený a vyráběný firmou Zilog od roku 1976. Původní verze pracovala na frekvenci 2,5 MHz. Později se objevily novější, pokročilejší verze s vyšším výkonem, které byly zpětně kompatibilní. [12]

Tento mikroprocesor je dodnes stále používán v některých vestavěných počítačích. Oproti původnímu modelu je ten současný vyráběn modernější technologií a často pracuje na vyšších frekvencích. V kalkulátorech společnosti Texas Instruments se nacházejí procesory Z80 pracující na frekvencích od 2 do 16 Mhz. [8]

Motorola 68000

Jedná se o 16 nebo 32-bitový CISC[5] mikroprocesor navržený společností Freescale Semiconductor a vyráběný od roku 1980. Stejně jako u Z80 se rodina procesorů Motorola 68000 (Motorola 68k) postupně rozrostla o další typy, které vycházejí z původního mikroprocesoru, mají upravenou architekturu a zachovávají zpětnou kompatibilitu. [12]

Původní procesor pracoval na frekvencích 4,6 a 8 MHz. Postupně se objevily výkonnější typy pracující na vyšších frekvencích. Procesory Motorola 68k použité v kalkulátorech Texas Instruments pracují na frekvencích od 12 do 16 Mhz. [8]

ARM

Jedná se nejnovější typ mikroprocesoru používaný v kalkulátorech Texas Instruments. Rodina procesorů ARM je vyvíjena stejnojmennou společností a jedná se o 32-bitové RISC[6] mikroprocesory. ARM mikroprocesory se staly v posledních letech velice populární a jsou používány v širokém spektru elektroniky, např. v mobilních telefonech, kapesních počítačích (PDA), hudebních a video přehrávačích, ale také v osobních počítačích jako pomocné procesory pro řízení periferních zařízení nebo v jiných vestavěných systémech. [13]

V kalkulátorech společnosti Texas Instruments se ARM mikroprocesor nachází pouze v nejnovějším typu TI-Nspire, kde pracuje na frekvenci 90 nebo 150 Mhz. [8]

5 CISC = Complex Instruction Set Computer. Architektura mikroprocesorů s velkou sadou strojových instrukcí (řádově stovky) a relativně malým počtem registrů (asi 30).

6 RISC = Reduced Instruction Set Computer. Architektura mikroprocesorů s redukovanou instrukční sadou.

2.2.2 Přehled grafických kalkulátorů[7]

TI-81[8]

TI-81 je úplně první grafický kalkulátor od firmy Texas Instruments vydaný v roce 1990. Je poháněn procesorem Zilog Z80 o frekvenci 2 MHz. Uživatelská paměť je 2400 bytů RAM. Displej má rozlišení 96 x 64 pixelů nebo může zobrazovat 16 x 8 znaků. Systém je možné programovat pomocí nativního jazyka od Texas Instruments, který se jmenuje TI-BASIC. Kalkulátor je napájen 4 bateriemi typu AAA a jednou záložní knoflíkovou litiovou baterií pro zachování uživatelských dat v případě výměny napájecích baterií.

V základním softwarovém vybavení umí kalkulátor vykreslovat dvourozměrné grafy, provádět trigonometrické výpočty, a to jak ve stupních, tak v radiánech a počítat s maticemi do rozměru 6 x 6.

TI-82

Tento typ vycházející z typu TI-81 se objevil v roce 1993 a přinesl řadu vylepšení. Jako procesor slouží Zilog Z80 na frekvenci 6 MHz. Uživatelská operační paměť byla zvýšena na 28 kB. Displej je stejný jako u předchozího typu. Kalkulátor nově obsahuje sběrnici pro propojení s jiným kalkulátorem nebo počítačem, což umožňuje přenášet uživatelské programy a data. Na rozdíl od předchozího typu je možné kalkulátor programovat přímo pomocí jazyka symbolických adres (assembleru), což umožňuje programátorovi plně využívat všechny možnosti systému a tvořit programy daleko flexibilněji než pouze pomocí TI-BASICu. Tento způsob však není ještě u tohoto typu oficiálně podporován a při spouštění programů tohoto typu je nutné provést určité neoficiální postupy. Napájení je řešeno stejně jako u předchozího modelu.

Softwarová výbava zůstala podobná jako u předchozího modelu s určitými dílčími vylepšeními. Je možné vykreslovat 2 nové typy grafů – polární a sekvenční. Počítání s maticemi je možné až do velikosti 50 x 50.

---

7 Informace použité v této kapitole jsou čerpány ze zdrojů [7], [8], [9] a [10].

8 Řada kalkulátorů TI vycházející z typu TI-81:
TI-82, TI-83, TI-83 Plus, TI-83 Plus Silver Edition, TI-84 Plus, TI-84 Plus Silver Edition

TI-83

Následník TI-82 se objevil v roce 1996 a přinesl opět řadu vylepšení. Pohání ho procesor Z80 na frekvenci 6 MHz a operační paměť je 32kB RAM. Displej je stejný jako u předchozího typu. TI-83 přinesl oficiální podporu programovaní pomocí assembleru, při kterém není nutné používat neoficiální postupy. Napájení je stejné jako u jeho předchůdce.

TI-83 se stal standardem pro grafický kalkulátor studentů vysokých škol, mezi kterými se velmi rozšířil. Obsahuje všechny důležité věděcké funkce, algebraické funkce, podporu statistických výpočtů, kreslení parametrických, polárních i sekvenčních grafů. Neobsahuje však příliš mnoho funkcí pro diferenciální a integrální výpočty.

TI-83 Plus

Vylepšená verze TI-83 se objevila v roce 1999. Hlavním vylepšením oproti svému předchůdci bylo přidání 512 kB Flash ROM[9] paměti. V této paměti je uložen operační systém a zbylých 160 kB je k dispozici pro uživatelské aplikace. Na rozdíl od předchozích typů se tak uživatelské programy nemusí uchovávat v RAM paměti, která musí být neustále napájena, aby data zůstala zachována.

Toto vylepšení významně rozšířilo možnosti kalkulátoru. Je možné si doinstalovat aplikace, a to jak přímo od výrobce, tak od nadšenců tvořících software pro tyto kalkulátory. Mnoho aplikací je už rovnou předinstalováno. Jedná se např. o aplikace pro práci s textem, elektronický diář, hry, atd.

TI-83 Plus Silver Edition

Nejnovější verze TI-83 byla vydána v roce 2001. Jejím hlavním vylepšením je rozšíření Flash paměti na 1,5 MB, zvětšení velikosti operační paměti na 128 kB a možnost provozování mikroprocesoru Zilog Z80 na dvou taktovacích frekvencích – 6 a 15 MHz.

Po softwarové stránce obsahuje Silver Edition oproti svému předchůdci více před-instalovaných aplikací.

9 Paměť typu Flash ROM elektricky programovatelná (zapisovatelná) paměť s libovolným přístupem.

TI-84 Plus

Vzniknul v roce 2004 jako nástupce populárního TI-83 a jeho novějších verzí. Obsahuje 24 kB paměti RAM a 480 kB Flash ROM paměti určené pro operační systém a aplikace. Procesorem je opět Zilog Z80 běžící trvale na frekvenci 15 MHz. Největší změnou je přidání podpory USB ve formě Mini USB portu. Také byly přidány vestavěné hodiny. Po softwarové stránce se od poslední verze TI-83 příliš neliší.

TI-84 Plus Silver Edition

Vyšší verze TI-84 obsahuje více paměti RAM (128 kB) i Flash ROM (1,5 MB). Byla představena stejně jako nižší verze Plus v roce 2004. Dále se liší jen možností výměny krytů kalkulátoru za různě barevné verze.

TI-80[10]

Kalkulátor TI-80 vznikl v roce 1995 a patří mezi nižší třídu kalkulátorů od Texas Instruments. Byl navržen jako učební pomůcka pro žáky v rozsahu konce základní a první poloviny střední školy. Obsahuje pomalejší proprietární mikroprocesor o rychlosti 980 kHz a 7 kB RAM. Je napájen pouze dvěma tužkovými bateriemi (oproti čtyřem standardním) a neobsahuje žádný propojovací konektor. Displej má oproti ostatním grafickým kalkulátorům TI rozlišení pouze 64 x 48 pixelů, nebo dokáže zobrazit 16 x 8 znaků.

TI-73/TI-73 Explorer

Jedná se o kalkulátor navržený jako náhrada TI-80. Stejně jako TI-80 je směrován pro studenty na rozhraní mezi základní a střední školou a podle toho je navržena jeho funkcionalita. Je poháněn mikroprocesorem Zilog Z80 na 6 MHz a oproti TI-80 obsahuje 512 kB Flash ROM. To umožňuje uložení operačního sytému i různých aplikací. Velikost paměti RAM je 32 kB. Displej se oproti TI-80 zvětšil na standardní velikost ostatních kalkulátorů TI, tedy 16 x 8 znaků nebo 96 x 64 pixelů. Tento kalkulátor také na rozdíl od verze TI-80 obsahuje port pro přenos dat mezi kalkulátory nebo mezi kalkulátorem a počítačem. Napájení je standardní jako u „velkých“

10 Nižší třída kalkulátorů TI: TI-80, TI-73, TI-73 Explorer

kalkulátorů TI, tedy 4 AAA baterie a jedna záložní knoflíková baterie. V roce 2003 se objevila verze Explorer, která přinesla nový tvar a design těla kalkulátoru.

TI-85[11]

TI-85 vydaný v roce 1992 představuje druhý grafický kalkulátor společnosti Texas Instruments. Není to však následovník TI-81 (první grafický kalkulátor od TI), ale představuje samostatnou větev ve vývoji grafických kalkulátorů od tohoto výrobce. Ve své době byl značně výkonný díky mikroprocesoru Zilog Z80 běžícím na 6 MHz a také 28 kB paměti RAM. I rozlišení displeje je větší a dosahuje 128 x 64 pixelů nebo 21 x 8 znaků. Nově přibyl také vstupně-výstupní port. Programování je možné pouze pomocí jazyka TI-BASIC.

TI-86

Nástupce typu TI-85 vznikl v roce 1997 a představoval vyšší třídu kalkulátorů od TI. Mikroprocesor zůstal stejný jako u typu TI-85 a paměť RAM byla zýšena na 128 kB. Displej má stejné rozlišení jako jeho předchůdce. Vylepšení se dočkala hlavně softwarová část kalkulátoru, a to jak u uživatelského prostředí, tak u samotného počítání s vektory, maticemi a komplexními čísly.

TI-92/TI-92 II[12]

Kalkulátor TI-92 se poprvé objevil na trhu v roce 1995 a představoval zcela novou řadu kalkulátorů Texas Instruments. Narozdíl od předchozích typů se jedná o kalkulátor vybavený QWERTY klávesnicí. O běh kalkulátoru se stará mikroprocesor Motorola 68000 taktovaný na frekvenci 10 MHz. TI-92 má k dispozici 68 kB paměti RAM. Grafické prostředí kalkulátoru je zprostředkováno uživateli pomocí velkého maticového displeje s rozlišením 240 x 128 pixelů.

11 Za samostatnou řadu kalkulátorů TI lze považovat typ TI-85 a z něho vycházející TI-86
12 Nová řada kalkulátorů TI: TI-92, TI-92 II, TI-92 Plus, Voyage 200

Po softwarové stránce zaznamenal v době svého uvedení kalkulátor TI-92 poměrně veliký skok. Jako první přinesl podporu systému CAS (computer algebra system), který umožňuje provádět symbolické výpočty. Byl také jedním z prvních kalkulátorů, které přinesly podporu trojrozměrného zobrazování grafů.

Typ TI-92 II byl uveden na trh o rok později (1996) a jedinou změnou oproti svému předchůdci bylo zdvojnásobení dostupné operační paměti na celkových 136 kB.

Pro celou řadu TI-92 je typické, že díky QWERTY klávesnici a neobvyklému designu, který spíše připomíná kapesní počítač než kalkulátor, došlo k zákazu používání tohoto typu během většiny matematických testů v mnoha zemích světa. To byl mimo jiné jeden z hlavních důvodů, proč vznikla řada kalkůlátorů TI-89, která přináší stejnou funkčnost, ale mnohem konzervativnější vzhled bez QWERTY klávesnice.

TI-92 Plus

TI-92 Plus představoval další krok v typové řadě kalkulátorů TI-92 a objevil se v roce 1998. Od svých předchůdců TI-92/TI-92 II se lišil větší kapacitou operační paměti (256 kB) a hlavně přidáním 384 kB Flash ROM paměti, která umožnila rozšířit funkčnost kalkulátoru pomocí nově dodávaných aplikací. Ostatní parametry zůstaly stejné.

Voyage 200

Voyage 200 zatím představuje poslední vývojový krok v řadě kalkulátorů TI-92 a na trhu je od roku 2002. Od svých předchůdců se liší designem. Kalkulátor opět vsází na QWERTY klávesnici, ale jinak je znatelně menší a také zaoblenější než jeho předchůdci. Displej si zachoval stejné rozlišení 240 x 128. Kalkulátor je opět vybaven mikroprocesorem Motorola 68000, který běží na vyšší frekvenci – 12 MHz. Operační paměť zůstala o velikosti 256 kB a Flash paměť byla navýšena na 2,7 MB.

TI-89/TI-89 Titanium[13]

Tímto typem kalkulátoru se budu zabývat v následujících kapitolách, proto bude jeho hardwarové a softwarové vybavení popsáno později.

TI-Nspire/TI-Nspire CAS

TI-Nspire je v současné době nejnovější model grafického kalkulátoru z produkce Texas Instruments, který se začal prodávat v roce 2007. TI-Nspire představuje veliký technický skok na poli grafických kalkulátorů, který značně smazává rozdíly mezi moderními kapesními počítači a grafickými kalkulátory. Je vybaven mikroprocesorem z rodiny ARM, který běží na 90 nebo 150 MHz. Jako operační paměť je použito 32 MB RAM a dalších 32 MB Flash ROM slouží pro uložení aplikací. Displej kalkulátoru má rozlišení 320 x 240 pixelů a zvládá zobrazit až 16 odstínů šedi. O propojení kalkulátoru s okolím se stará mini USB port.

Z hlediska softwarové výbavy je možné zakoupit kalkulátor buď s vestavěným systémem CAS a nebo bez něj. To samozřejmě určuje výpočetní možnosti z hlediska symbolických výpočtů, pro které je CAS nezbytný. Dále jsou obě verze kalkulátoru vybaveny bohatou sadou funkcí a programů pro matematické a fyzikální výpočty, grafy a také některými doprovodnými aplikacemi (poznámky, atd.).

Z důvodu přechodu na nový typ mikroprocesoru se stal TI-Nspire zpětně nekompatibilní s ostatními kalkulátory od Texas Instruments. To je částečně řešeno pomocí softwarové emulace kalkulátoru TI-84, která je nazývána TI-84 mode a je obsažena pouze ve verzi TI-Nspire bez CAS.

13 TI-89 navazuje na TI-92 a TI-92 II, avšak společně se svými následovníky TI-98 Titanium, TI-Nspire a TI-Nspire CAS tvoří samostatnou vývojovou větev

3 TI-89 Titanium

TI-89 se stal jedním z nejslavnějších grafických kalkulátorů na světě. Když se v roce 1998 objevil, vzbudil velkou pozornost, protože přinesl na svoji dobu velký výkon představovaný mikroprocesorem Motorola 68000 na frekvenci 10 nebo 12 MHz (podle HW verze), dostatek paměti – 256 kB RAM, 2 MB Flash ROM, relativně velký displej s rozlišením 160 x 100 bodů a hlavně systém CAS, který umožňoval provádět symbolické výpočty. To všechno v těle nepříliš velkého a celkem klasicky vypadajícího grafického kalkulátoru, což umožnilo jeho použití i v mnoha standardních matematických testech, pro které byla podobně vybavený TI-92 zakázán. [7]

V roce 2004 se poté objevila vylepšená verze TI-89 Titanium, která přinesla zvýšení taktu mikroprocesoru na 16 MHz a rozšíření Flash ROM paměti na 2,7 MB. Kalkulátor má také trochu jiný vzhled a je navíc vybaven některými novými aplikacemi. [8]

Pro účely této práce byla použita nejnovější verze kalkulátoru TI-89 Titanium, která má verzi hardwaru s označením HW4 (vyráběna od května 2006). [8]

3.1 Computer algebra system (CAS)

„*Computer algebra system neboli CAS je obecný název pro druh softwaru, který je určený pro vyhodnocování matematických výrazů a pro manipulaci s nimi v symbolické formě*.“ Není tedy nutné za proměnné ve výrazech dosazovat konkrétní hodnoty tak, jak by tomu bylo u běžných kalkulátorů, ale je možné s nimi pracovat, nebo je nechat vyhodnotit v jejich původní formě. To se obvykle označuje jako symbolické výpočty. [15]

Systém CAS se u grafických kalkulátorů od společnosti Texas Instruments poprvé objevil v roce 1995 a od té doby byl použit u kalkulátorů vycházejících z typových řad TI-92, TI-89 a TI-Nspire. [8]

Společnost Texas Instruments používá u všech svých grafických kalkulátorů systém CAS nazývaný Derive. Ten je vyvíjen od roku 1988 a kromě grafických kalkulátorů je možné s ním pracovat také ve formě aplikace pro osobní počítače (platformy MS-DOS

a Windows). Derive je napsán v jazyce LISP a má malé nároky na výpočetní výkon i paměť, což umožnilo jeho nasazení právě v kapesních grafických kalkulátorech. [16]

3.2 Programovatelnost

Možnosti, jak vytvářet nové programy pro TI-89 jsou v podstatě tři – přímo na kalkulátoru nebo externě, v počítači, a to buď v jazyce C nebo v jazyce symbolických adres – assembleru. „*Programy vytvořené v assembleru bývají rychlejší a nabízejí více možností než programy zapsané z klávesnice přímo na kalkulátoru*.“ [1, s. 313]

K vytváření nových progamů přímo v kalkulátoru slouží alikace „Program Editor“. „*Program je posloupnost příkazů, které se provádí za sebou a běží tak dlouho, dokud nedojde do konce nebo k příkazu ‚Stop‘*.“ [1, s. 282]

„*Aplikaci ‚Program Editor‘ je vhodné používat nejen k trvobě programů, ale například i složitějších funkcí, protože je zde možnost psaní příkazů do více řádků pod sebou*.“ [1, s. 285]

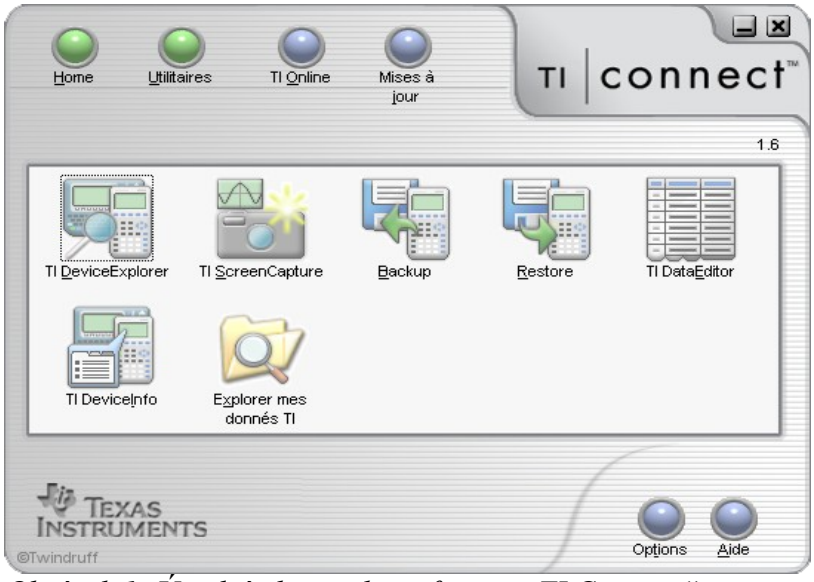
Pro definování nových funkcí a programů lze používat všechny zabudované funkce kromě několika málo výjimek, pevně danou instrukční sadu a dále několik desítek příkazů týkajících se proměnných. [1, s. 285-289]

3.3 Propojení s jinými zařízeními

„*Kalkulátor TI-89 Titanium disponuje oběma typy vstupně-výstupních portů, jak USB portem, tak I/O portem*.“ [2, s. 133] Takto lze propojit dva kalkulátory mezi sebou či propojit kalkulátor s osobním počítačem.

Data, která je možné mezi dvěma kalkulátory přenášet, jsou závislá na konkrétních typech propojených kalkulátorů. Například mezi dvěma kalkulátory typu TI-89 Titanium lze přenášet nejen aplikace či proměnné, ale i celý operační systém. [2, s. 150]

S kalkulátorem je současně dodáván na CD software s názvem „TI Connect“ (obr. 1). Pomocí tohoto softwaru lze snadno stahovat aktualizace, nové aplikace a programy, ale také zálohovat a následně obnovovat data. [14]

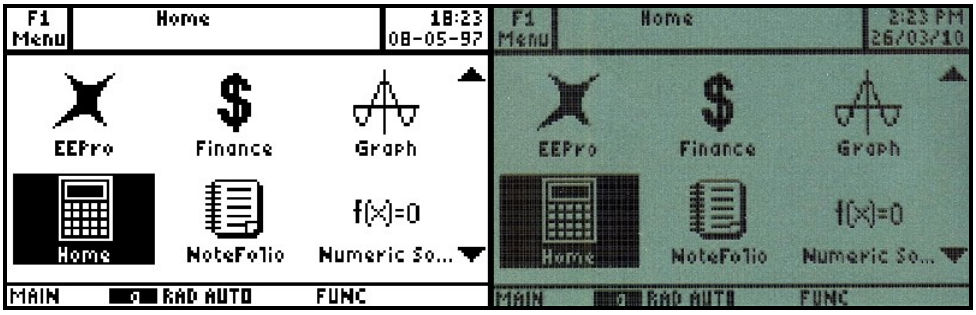


Obrázek 1: Úvodní obrazovka softwaru „TI Connect“

Prostřednictvím „TI Connect“ je také možné si přehledně předpřipravit všechny typy datových proměnných, poté je přenést do kalkulátoru, a tam s nimi pracovat. To je velkou výhodou zejména pokud plánujeme pracovat s velkým množstvím dat, a to jak pro svoji přehlednost, tak pro jednodušší a rychlejší vyplňování tabulek.

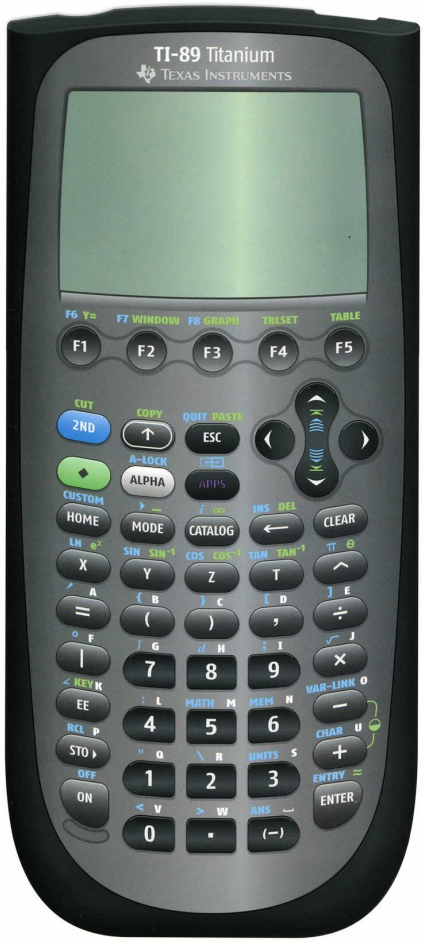
Já jsem software „TI Connect“ využívala především pro tvorbu obrázků do své práce, protože další funkce, kterou umožňuje, je „ScreenCapture“, což znamená uložení obsahu displeje kalkulátoru ve formě obrázků do počítače, které lze poté samozřejmě dále zpracovávat.

Obrázky, které jsou použity v práci se mohou na první pohled zdát nekvalitní (jakoby „kostičkaté“). To je způsobeno jejich zvětšením na 250%. Snímek obrazovky je uložen jako bitmapa a při jejím zvětšování dochází k interpolaci, což má za následek mírnou ztrátu kvality obrazu. Na obrázku 2 je porovnání, jak ve skutečnosti vypadá obsah displeje na kalkulátoru a na obrázku použitém v práci.



Obrázek 2: Porovnání vzhledu skutečného displeje a zvětšené bitmapy

4 Úvod do práce s kalkulátorem



Obrázek 3: TI-89 Titanium

TI-89 Titanium má klasickou konstrukci s displejem v horní části a klávesami pod ním. (obr. 3)

Přímo pod displejem se nacházejí funkční klávesy, které se používají pro výběr v nabídkách panelu nástrojů.

Klávesy modifikující činnost ostatních kláves jsou označené symboly „2ND“, „♦“, „↑“ a „ALPHA“.

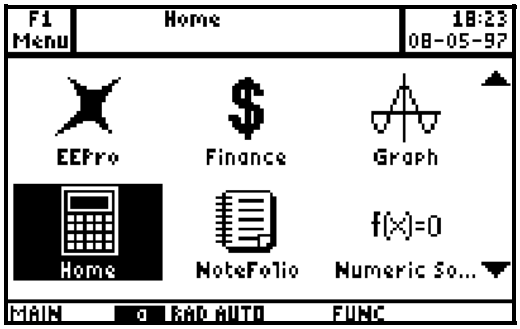
Vedle modifikujících tlačítek se nachází kurzorové klávesy sloužící k pohybu po displeji a další tlačítka známá i z jiných typů kalkulátorů.

Konkrétně ještě zmíním klávesy „HOME“, „APPS“, „MODE“ a „CATALOG“. Stiskem „HOME“ lze snadno zobrazit úvodní obrazovku, tlačítkem „APPS“ lze zobrazit nabídku aplikací, po stisku tlačítka „MODE“ je možné měnit režimy nastavení kalkulátoru a tlačítko „CATALOG“ zobrazí seznam všech funkcí a instrukcí, které můžeme při práci s kalkulátorem používat.

Všechny funkce a instrukce je možné také napsat přímo do vstupního řádku zvolené aplikace pomocí klávesnice kalkulátoru. [1, s. 16]

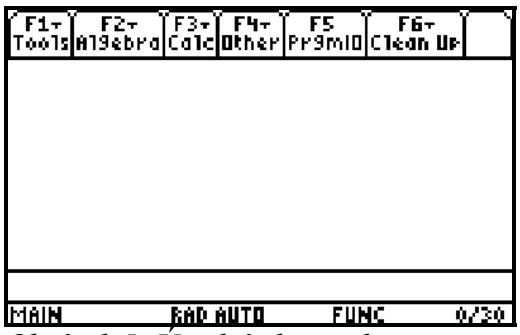
4.1 Aplikační vybavení kalkulátoru

Po zapnutí kalkulátoru se na displeji zobrazí nabídka aplikací (obr. 4). Jejich výběr se provádí pomocí kurzorových kláves a následným potvrzením tlačítkem „ENTER“, ale jak již bylo zmíněno výše, lze nabídku aplikací také kdykoli vyvolat stisknutím tlačítka „APPS“.



Obrázek 4: Výběr aplikace

Asi nejčastěji používaná je na obrázku 4 zvýrazněná aplikace „Home“. „Umožňuje zadávat výrazy a instrukce, provádět výpočty a zobrazovat výsledky.“ [1, s. 38]



Obrázek 5: Úvodní obrazovka

Na obrázku 5 je úvodní obrazovka aplikace Home. V její horní části je panel nástrojů řešený formou záložek. Po stisknutí daného tlačítka (F1-F6) se rozbalí nabídka s výběrem operací, které lze na úvodní obrazovce použít. Prostor pod panelem nástrojů se nazývá oblast s historií. Tam se vždy zleva vypíše zadání a zprava řešení námi zadaného příkladu. Při novém zadání se dvojice po obrazovce posunují směrem nahoru, takže poslední zadání a výsledek jsou vždy nad vstupním řádkem. Právě do vstupního řádku se zadávají výrazy nebo instrukce. Nejníže na obrazovce se nachází stavový řádek, kde je zobrazen aktuální stav kalkulátoru. [1, s. 23]

Podobně jako úvodní obrazovka fungují aplikace „Graph screen“ a „Table screen“, avšak první zobrazuje grafy a druhá „*tabulku hodnot proměnných, které odpovídají zadané funkci*“. Aplikace „Numeric Solver“ umožňuje „*zadat výraz nebo rovnici, definovat hodnoty pro všechny proměnné kromě jedné, a poté pro tuto proměnnou nalézt řešení*“.

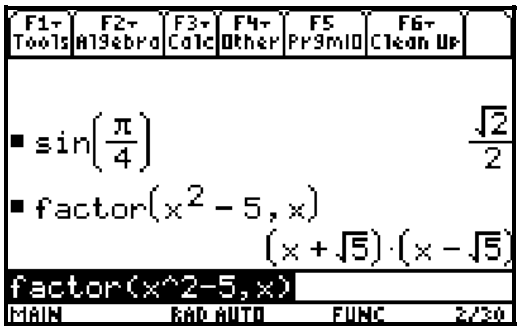
Dalšími aplikacemi jsou např. „Text Editor“, který umožňuje zadávat a editovat text, „Program Editor“, pomocí něhož lze „*zadávat a upravovat programy a funkce*“, „Data/Matrix Editor“, do něhož se „*zadávají data a matice a lze v něm provádět i statistické výpočty a kreslit statistické grafy*“ nebo „Window Editor“, kde se nastavují rozměry okna pro zobrazení grafu. K definování a úpravě funkcí ke grafickému znázornění slouží aplikace „Editor Y=“. [1, s. 38]

Kalkulátor verze TI-89 Titanium má oproti původnímu TI-89 aplikační nabídku rozšířenou. K dispozici je navíc několik aplikací zaměřených na organizaci, jako např. kalendář, plánovač času a úkolů nebo seznam kontaktů. Samozřejmě také mnoho matematických aplikací, z nichž mezi nejzajímavější patří určitě Cabri Geometrie, která dává práci s kalkulátorem poněkud jiný rozměr. O některých dalších aplikacích usnadňujících výpočty se zmíním konkrétněji v následujících kapitolách.

4.2 Režim zobrazení výsledku

Velmi užitečná je možnost zobrazení výsledku výpočtu v několika různých formátech. V kalkulátoru jsou k dispozici čtyři režimy – Pretty Print, Exact/Approx, Display Digits a Exponential Format.

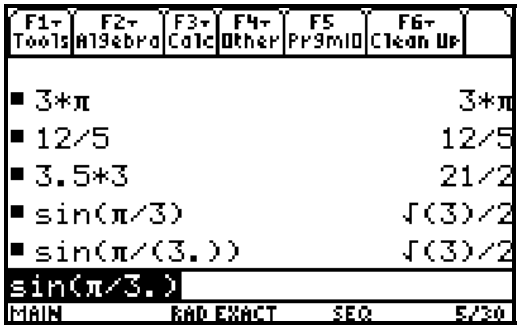
„Režim Pretty Print (tzv. „krasopisně“) je defaultně nastaven na „zapnuto“ a „*zobrazuje exponenty, kořeny, zlomky atd. v takovém tvaru, v jakém se obvykle zapisují*“ (obr. 6). [1, s. 29]



Obrázek 6: Režim Pretty Print

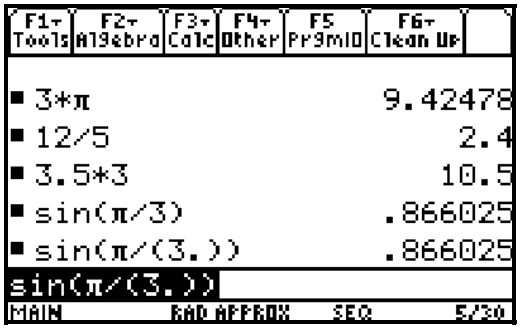
U druhého režimu, s názvem Exact/Approx, je možné si vybrat ze tří nastavení – auto, exact nebo approximate. Nastavení exact redukuje například chyby způsobené

zaokrouhlováním, protože „*každý výsledek, který není celým číslem, zobrazuje ve zlomkovém nebo symbolickém tvaru*“ (obr. 7). [1, s. 29]



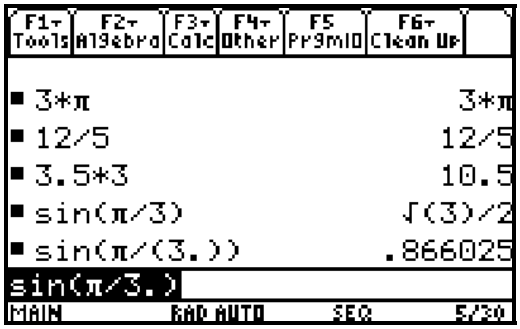
Obrázek 7: Režim Exact/Approx (nastavení exact)

„*Nastavení approximate zobrazuje všechny numerické výsledky v desetinném tvaru a pokud je to možné, výrazy zapsané původně v symbolickém tvaru, vyčísluje“ (obr. 8).*



Obrázek 8: Režim Exact/Approx (nastavení approximate)

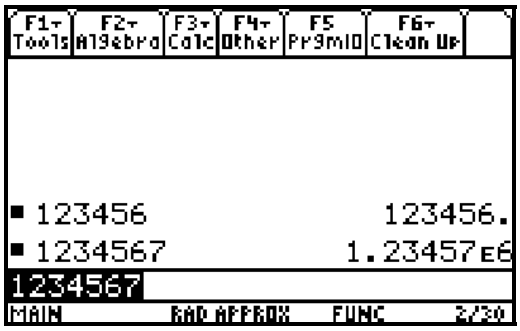
„*Nastavení auto používá tvar exact tam, kde je to možné, ale pokud zadání obsahuje desetinnou čárku, používá tvar approximate*“ (obr. 9). [1, s. 30]



Obrázek 9: Režim Exact/Approx (nastavení auto)

V režimu Display Digits lze nastavit, na kolik desetinných míst se výsledek zaokrouhlí. „*Implicitně je nastaveno zaokrouhlování na 6 číslic, ačkoliv kalkulátor interně uchovává všechny desetinné výsledky až do 14 platných číslic*“. [1, s. 31]

Exponential Format má stejně jako režim Exact/Approx tři možnosti nastavení. Při výpočtech se automaticky přepíná z „Normal“ do „Scientific“, v případě, že výsledek nelze zobrazit počtem číslic určených v režimu Display Digits. Na obrázku 10 má první výsledek číslic šest a proto se zobrazí normálně, ale druhý výsledek již sedm, a tak se automaticky zobrazil v nastavení „Scientific“.



Obrázek 10: Exponential Format

Ručně lze přepnout ještě do nastavení „Engineering“, které se od „Scientific“ liší tím, že exponent je vždy násobkem tří, takže před desetinnou čárkou nemusí být jen jedna, ale i dvě nebo tři číslice. [1, s. 31]

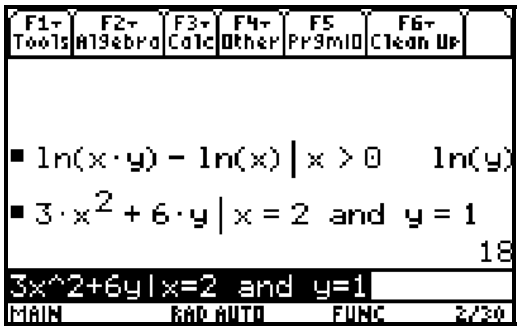
4.3 Oblast s historií

Na každém z předchozích obrázků je patrné, že poslední zadaný výraz zůstane po odeslání zvýrazněn ve vstupním řádku, což velmi usnadňuje práci. Například při hledání kořenů polynomu stačí jen měnit koeficienty. Snadno lze také opětovně vyvolat jakékoli předchozí zadání, které se nachází v oblasti historie. Výběr se provádí pomocí kurzorových kláves a následným potvrzením tlačítkem „ENTER“. Stejně tak je možné vyvolat předchozí odpověď. „*Kalkulátor po vyhodnocení výrazu ukládá odpověď do proměnné ‚ans‘ – ans(1) = poslední odpověď, ans(2) = předposlední odpověď atd.*“ [1, s. 51]

5 Symbolické výpočty

5.1 Operátor „with“

Operátor „with“ (kolmítko) „*umožňuje dočasně dosadit hodnotu proměnné nebo zadat omezující podmínky*“. Jeho použití je zobrazeno na obrázku 11. Kolmítko v podstatě odděluje řešený výraz od doplňujících informací, kterými nejčastěji bývají právě omezující podmínky nebo dosazení určité hodnoty či výrazu za proměnnou. „*Pokud je potřeba dosazení do více proměnných najednou, je možné použít booleovské operátory.*“ [1, s. 67]



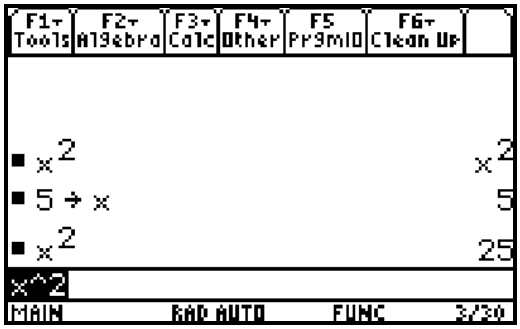
Obrázek 11: Použití operátoru „with“

V případě, že nedosazujeme za proměnnou pouze číselnou hodnotu, ale nový výraz, v němž bychom použili stejnou proměnnou jako ve výrazu původním, mohla by nastat nekonečná rekurze a výpočet by nebylo možné dokončit. Na displeji kalkulátoru se v takovém případě místo výsledku zobrazí chybové hlášení. [1, s. 68]

Různých chybových hlášení, se kterými je možné se při práci s kalkulátorem setkat, je více než sto. Když chyba nastane, objeví se na displeji dialogové okno s názvem chyby, které je pro pokračování v práci nutné potvrdit. Některé typy chyb se po potvrzení dialogového okna jen vypíší do oblasti s historií a výpočet musíme poté provést znovu jiným způsobem (např. chyba „Memory“, která nastává v případě, že k vyřešení je potřeba více paměti, než je momentálně k dispozici). Jiné chyby, podle mých zkušeností hlavně syntaktického typu, dovolí po potvrzení chybového hlášení pokračovat v zadávání výrazu, přičemž kurzor se sám nastaví ve vstupním řádku na pozici, na které se chyba vyskytuje. [1, s. 542-548]

5.2 Definování proměnných

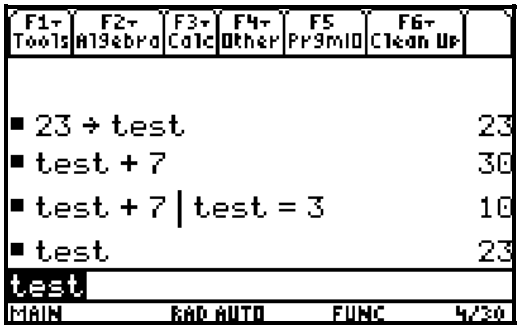
Při provádění symbolických výpočtů je důležité si uvědomovat, jakou proměnnou zadaný výraz obsahuje. „*Jestliže není proměnná definována, kalkulátor s ní zachází jako s algebraickým symbolem, pokud však definována je, dosadí za proměnnou její hodnotu a výsledkem může být místo algebraického výrazu číslo*.“ Samotné definování proměnné se provádí velmi jednoduše. Do vstupního řádku se zapíše její požadovaná hodnota, poté šipka, která symbolizuje přiřazení a za ní název proměnné (obr. 12). [1, s. 59]



Obrázek 12: Definování proměnné

Zda je proměnná nějak definována nebo ne, lze zjistit několika způsoby. Nejsnažším a nejrychlejším způsobem je zadat název proměnné do vstupního řádku. U definované proměnné se zobrazí jako výsledek její hodnota, zatímco u nedefinované proměnné její název (obr. 12).

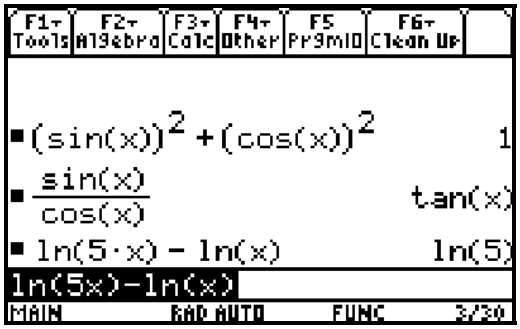
Je praktické ponechat si jednopísmenné proměnné nedefinované pro symbolické výpočty a pro názvy nově definovaných proměnných používat delší řetězce znaků. Hodnoty proměnných lze samozřejmě měnit, vymazat či dokonce dočasně potlačit pomocí operátoru „with“ (obr. 13). [1, s. 59]



Obrázek 13: Dočasné potlačení hodnoty proměnné

5.3 Zjednodušování výrazů

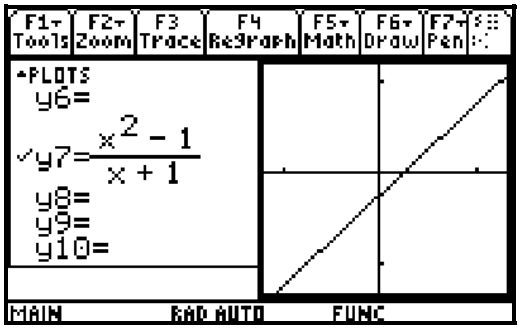
Kalkulátor TI-89 automaticky upravuje výrazy podle několika implicitních pravidel. Tato vlastnost je uplatňována především při práci s funkcemi, kdy zjednodušuje jejich argumenty a například při práci s polynomy, kdy „*automaticky krátí, roznásobuje a následně maže vzájemně se rušící členy. Zlomky převádí na nejmenšího společného jmenovatele, a kde je to možné, vynechává zbytečné jedničky a nuly a výsledné výrazy následně přehledně uspořádává*“. Na obrázku 14 je vidět, že při zjednodušování využívá i známá pravidla rovnosti funkcí. [1, s. 64-65]



Obrázek 14: Automatické zjednodušování

Tato schopnost kalkulátoru je však spíše nevýhodou. V případě, že uživatel nezadá omezující podmínky, může dojít k zásadním chybám ve výkladu výsledku, protože mnoho rovností či transformací platí pouze v části číselného oboru, což kalkulátor při automatických úpravách nebere v potaz. Proto například poslední úprava na obrázku 14 není korektní. Správné zadání by mělo obsahovat omezující podmínku, že x musí být větší než nula. [1, s. 69]

Ke stejným chybám může docházet samozřejmě i při grafickém znázorňování funkcí, protože kalkulátor zjednodušování vždy upřednostňuje. Na obrázku 15 je uveden jeden z očividných případů. Funkce $y7$ není definována v bodě $x = (-1)$, a tak její graf nemůže být spojitý.

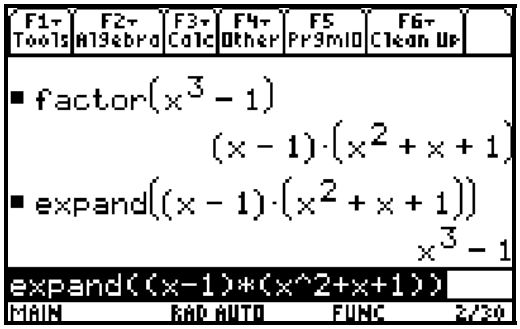


Obrázek 15: Funkce y7 a její graf

Pokud pomineme chyby, ke kterým může docházet při nesprávném zadání, dalším úskalím automatického zjednodušování je, že při řešení složitých výrazů může provedení všech potřebných operací ke zjednodušení trvat příliš dlouho. V takovém případě je lepší práci kalkulátoru přerušit a výraz do vstupního řádku vkládat po částech. [1, s. 65]

5.4 Práce s polynomy

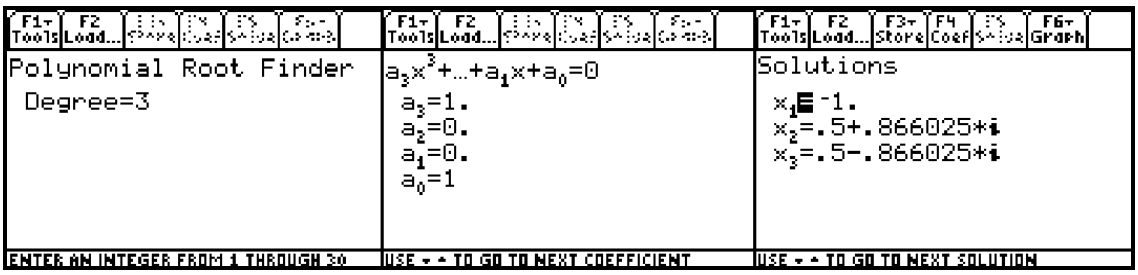
Základní práci s polynomy, jako je například jejich zjednodušování, sčítání či dělení, lze provádět přímo na úvodní obrazovce bez použití speciální funkce. Pro složitější práci s polynomy jsou zde k dispozici funkce „factor“ a „expand“. „*Tyto funkce provádějí vzájemně inverzní operace*“. [1, s. 72] „*Funkce ‚factor‘ rozloží polynom na kořenové činitele vzhledem k zadané proměnné a funkce ‚expand‘ daný výraz vynásobí a upraví na součet*“ (obr. 16). [1, s. 445]



Obrázek 16: Funkce pro práci s polynomy

Pro hledání kořenů polynomu je v kalkulátoru TI-89 Titanium samostatná aplikace s názvem „Polynomial root finder“ (obr. 17), která pracuje s polynomy až do stupně 30.

Nejprve se zadává stupeň polynomu, jehož kořeny hledáme, a poté jednotlivé koeficienty. Pro vyřešení se pomocí tlačítka F5 následně vybere pátá záložka panelu nástrojů v horní části displeje. Výpočet může trvat i několik sekund v závislosti na stupni polynomu, v takovém případě se v pravém dolním rohu zobrazí nápis „BUSY“, který indikuje, že kalkulátor pracuje.



Obrázek 17: Aplikace „Polynomial root finder“

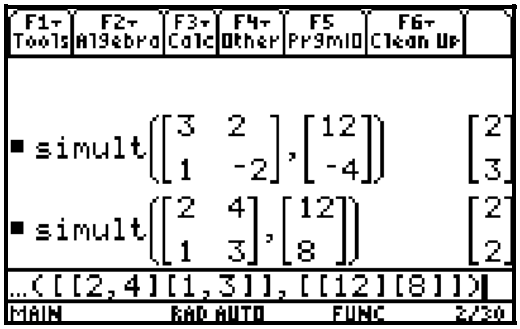
Jak je patrné z porovnání obrázků 16 a 17, má tato aplikace oproti funkci „factor“ další výhodu v tom, že řeší polynomy i v komplexní rovině.

5.5 Řešení lineárních rovnic a jejich soustav

Nejjednodušší způsob řešení rovnic je přímo na úvodní obrazovce pomocí funkce „solve“. Jejími argumenty jsou řešená rovnice a proměnné oddělené čárkou. Funkce „solve“ ovšem zobrazuje jen konečný výsledek, a tak pokud chceme vidět mezikroky, je možné řešit rovnici krok za krokem ručně s pomocí proměnné „ans“ (viz. kapitola 4.3). [1, s. 73]

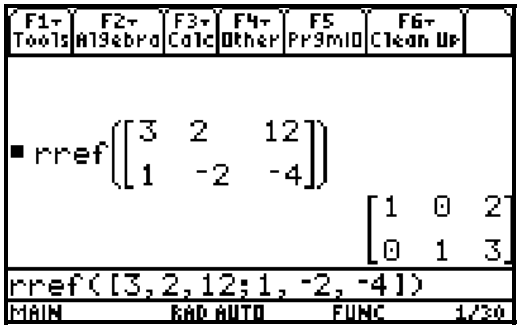
Možností řešení soustavy rovnic je několik. Pro jednoduché soustavy (například dvou lineárních rovnic o dvou neznámých) je možné použít také funkci „solve“, a to buď v jednom kroku s použitím operátoru „and“, a nebo postupným dosazením s použitím operátoru „with“ (viz. kapitola 5.1), které funguje v podstatě stejně jako dosazovací metoda vyučovaná na základní škole. [1, s. 58]

Složitější soustavy lineárních rovnic je výhodné řešit pomocí matice. I v tomto případě jsou zde dvě možnosti výběru funkce. „*Funkce ‚simult‘ vrátí sloupcový vektor, který obsahuje řešení soustavy.*“ Argumenty funkce jsou matice koeficientů soustavy a pravá strana soustavy jako sloupcová matice, přičemž jednotlivé řádky matice se oddělují středníkem a jednotlivé prvky čárkou (obr. 18). [1, s. 500]



Obrázek 18: Použití funkce „simult“

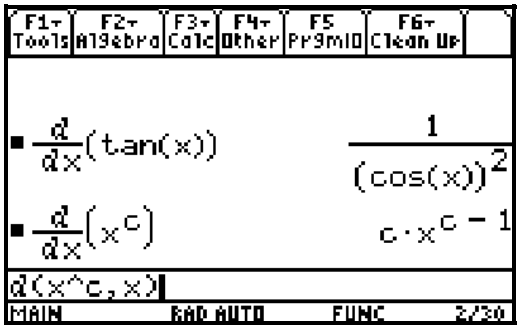
Druhou funkcí, kterou je možné použít, je funkce „rref“, jejímž argumentem je rozšířená matice soustavy, přičemž oddělování prvků matice se provádí stejným způsobem jako u funkce „simult“. „*Výsledkem je původní matice upravená do diagonálního tvaru, takže řešení soustavy je zobrazeno v jejím pravém sloupci*“ (obr. 19). [1, s. 493]



Obrázek 19: Použití funkce „rref“

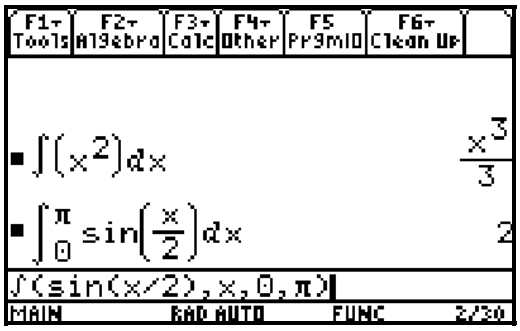
5.6 Derivace a integrace

Pro operace derivování a integrování jsou na kalkulátoru tlačítka se speciálními symboly funkcí „differentiate“ (*d*) a „integrate“ (∫). „*Argumenty funkce ‚differentiate‘ jsou výraz, seznam či matice v závislosti na tom, co budeme derivovat, a čárkou oddělená proměnná, podle které budeme derivovat*“ (obr. 20). [1, s. 432]



Obrázek 20: Derivace

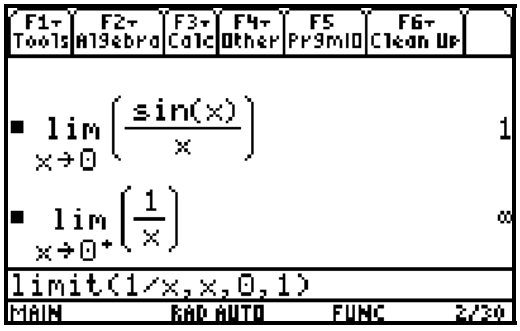
V případě, že jako argumenty funkce „integrate“ zadáme pouze výraz a proměnnou, podle které se bude integrovat, vrátí primitivní funkci, když za proměnnou připojíme jako další agrumenty ještě dolní a horní mez, výsledkem bude určitý integrál. Použití funkce „integrate“ je zobrazeno na obrázku 21. [1, s. 532]



Obrázek 21: Integrace

5.7 Hledání limity

Hledání limity se provádí pomocí funkce „limit“. Povinnými argumenty této funkce jsou výraz, proměnná a hodnota, ke které se proměnná blíží. Nepovinným argumentem je směr. Implicitně je tato hodnota nastavena na nulu, což znamená limitu z obou směrů. Záporný směr znamená limitu zleva, kladný naopak limitu zprava. Použití funkce „limit“ je zobrazeno na obrázku 22. „*Pokud limitu není možné najít, vrátí funkce ‚limit‘ samu sebe nebo hodnotu ‚undef‘*.“ [1, s. 460]



Obrázek 22: Hledání limity

Při výpočtu limit je nutné dávat pozor na nastavení režimu kalkulátoru. „*Protože limity mohou být velmi citlivé na zaokrouhlovací chyby, je dobré nepoužívat nastavení approximate*“ (viz. kapitola 4.2). [1, s. 461]

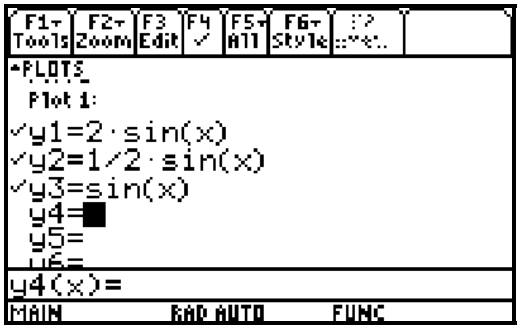
6 Grafické znázorňování funkcí

Jak už bylo zmíněno v úvodu, je vizualizace jednou z hlavních výhod grafických kalkulátorů. V následující kapitole se budeme zabývat pouze grafickým znázorňováním funkcí, přestože kalkulátor dokáže zobrazovat i geometrické objekty nebo téměř libovolnou grafiku – v závisloti na softwarovém vybavení. Možnost vykreslení grafu funkce může být velkou výhodou, protože nám umožňuje pouhým pohledem zjistit některé vlastnosti (např. monotonie, inflexní body a další), které by pouze z předpisu funkce vidět nebyly.

Funkce lze definovat přímo na úvodní obrazovce, stejně jako jakékoli jiné výrazy, ale tento způsob zápisu je docela nepřehledný. Proto je lepší používat pro práci s funkcemi aplikaci již zmíněnou v kapitole 2.1 – „Editor Y=“.

Obrazovka aplikace „Editor Y=“ je na obrázku 23. Jsou zde již předpřipravené názvy funkcí *y1(x)* až *y99(x)*, které se definují nebo editují přes vstupní řádek. [1, s. 109]

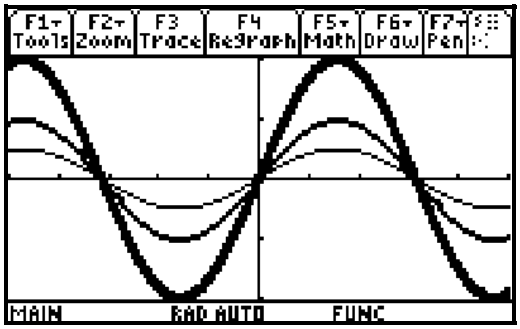
Výhodnou vlastností editoru je, že si pomocí tlačítka F4 můžeme snadno označit jen ty funkce, které se zobrazí na grafické obrazovce. Takto vybrané funkce se v editoru odliší symbolem „✓“ [1, s. 111]



Obrázek 23: „Editor Y=“

Samotné zobrazení se provádí na grafické obrazovce, která představuje část roviny se souřadnými osami. Nastavení grafické obrazovky se provádí v aplikaci „Window Editor“ velmi jednoduše definováním proměnných určujících meze okna pomocí souřadnic na osách *x* a *y*, velikost měřítka souřadných os a rozlišení v pixelech pro grafy funkcí. [1, s. 113]

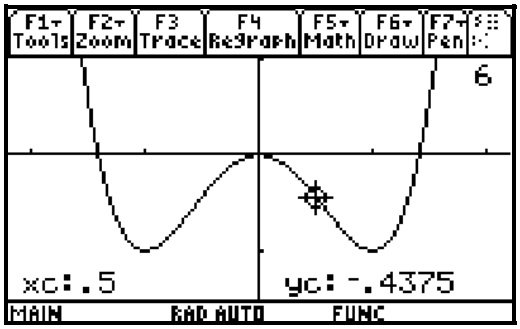
Pokud budeme zobrazovat více funkcí najednou, je užitečné nastavit také styl, kterým bude určitá funkce znázorněna (obr. 24). Toto lze provést rovnou při definování jednotlivých funkcí v aplikaci „Editor Y=“. „*Jednotlivé funkce lze pak snadno odlišit, protože jednu můžeme nechat zobrazit plnou čárou, další tečkovaně apod. Je zde také možnost nastavení vyplnění plochy nad grafem či pod ním, přičemž kalkulátor používá k vyplňování čtyři různé vzory. Ty používá střídavě a u páté funkce použije znovu vzor první.*“ [1, s. 112]



Obrázek 24: Různé styly zobrazení funkce

„*K zobrazení souřadnic libovolného místa grafické obrazovky lze použít volný pohyblivý kurzor, který se objeví po stisknutí kterékoli kurzorové klávesy.*“ Současně s tím se v dolní části obrazovky začnou vypisovat souřadnice bodu, ve kterém se kurzor momentálně nachází. „*Takto zobrazený kurzor není vázán na graf funkce*“, a tak i když se zdá, že je přímo v bodě, kterým funkce prochází, nemusí tomu tak být. [1, s. 116]

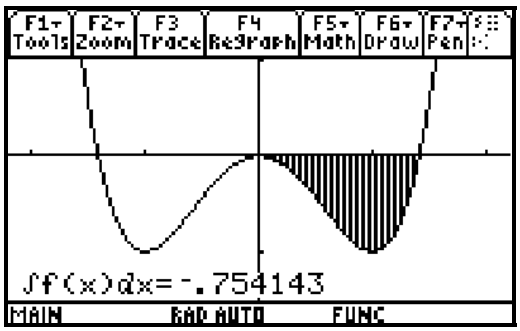
Tohoto omylu je možné se snadno vyvarovat použitím nástroje „Trace“ (obr. 25), který se spustí stiskem tlačítka F3. Takto zobrazený kurzor se následně pohybuje pouze po jednotlivých bodech funkce. Pohybování kurzorem pomocí tlačítek je často zbytečně pomalé a nepřesné, proto v případě, že potřebujeme k určité hodnotě x zjistit hodnotu y, stačí jednoduše hodnotu x zadat a kurzor se sám přemístí na daný bod a hodnota y se automaticky dopočítá. [1, s. 117]



Obrázek 25: Použití nástroje „Trace“

Vzhledem k omezeným zobrazovacím schopnostem displeje kalkulátoru je také užitečným nástrojem „Zoom“. V nabídce, která se otevře po stisknutí tlačítka F2, je několik možností, jak ho použít – přibližovanou část obrazovky lze zadat několika různými způsoby, a to např. zadáním souřadnic jejího středu, případně jejích rohů, další typy nástroje „Zoom“ automaticky nastavují parametry obrazovky, jiné jsou zase určené pouze pro určité typy funkcí (např. „ZoomTrig“ určený pro funkce goniometrické). [1, s. 119-120]

Přímo na grafické obrazovce se nachází také několik nástrojů určených k analýze znázorněných funkcí. Nabídka těchto nástrojů má název „Math“ a vyvolá se stiskem tlačítka F5. Takto lze zjistit nuly, minima, maxima či inflexní body v určitém intervalu, v daném bodě zjistit derivaci nebo vykreslit tečnu, vypočítat vzdálenost mezi dvěma danými body či délku oblouku, nalézt průsečíky dvou funkcí a další vlastnosti (obr. 26). [1, s. 122-125]

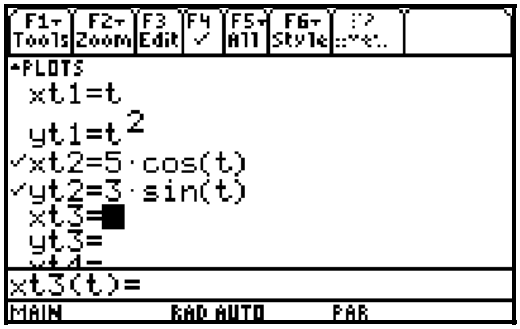


Obrázek 26: Výpočet hodnoty integrálu v daném intervalu

6.1 Parametrické grafy

Při grafickém znázorňování parametrických rovnic je postup v podstatě stejný jako při znázorňování funkcí. Jediné, co je třeba změnit, je typ grafu. Typ grafu, který je momentálně na kalkulátoru nastaven, se neustále vypisuje v pravé části stavového řádku. Implicitně je nastaven na „function“, což se ve stavovém řádku indikuje jako „FUNC“. Při změně na typ „parametric“ se ve stavovém řádku místo „FUNC“ objeví „PAR“. [1, s. 130]

Při změně typu grafu se automaticky změní i názvy funkcí v aplikaci „Editor Y=“ (obr. 27). Protože se parametrické rovnice skládají ze dvou složek, původní názvy funkcí – *y1(x)*, *y2(x)*, atd. se změní na *xt1*, *yt1*, *xt2*, *yt2*, atd. Je nutné vždy definovat obě složky parametrické rovnice, protože jinak není možné graf vykreslit.



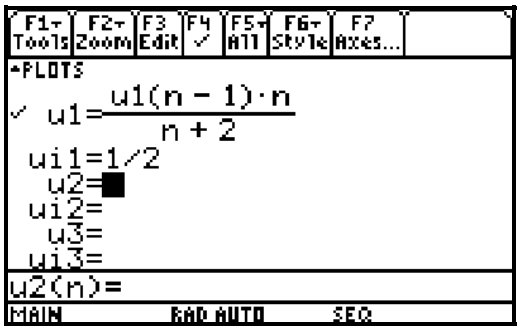
Obrázek 27: Definování parametrického grafu

Na grafické obrazovce lze provádět všechny úkony stejně jako při vykreslování grafu funkce. Nastavení obrazovky se provádí v aplikaci „Window Editor“, je možné nastavit styl zobrazení grafu, stejně tak lze používat nástroje „Trace“ nebo „Zoom“ zmíněné v kapitole 6. Jediné, co není k dispozici, je možnost vyplnění plochy nad či pod grafem. [1, s. 131]

6.2 Znázorňování posloupností

V případě, že chceme graficky znázornit posloupnost, musí se typ grafu nastavit na „sequence“, což se ve stavovém řádku projeví jako „SEQ“. V aplikaci „Editor Y=“ se změna typu grafu projeví jinými názvy funkcí, a to *u1*, *ui1*, *u2*, *ui2* atd. Funkce *u1-u99* jsou samotné posloupnosti a *ui1-ui99* slouží pro zadání počáteční hodnoty

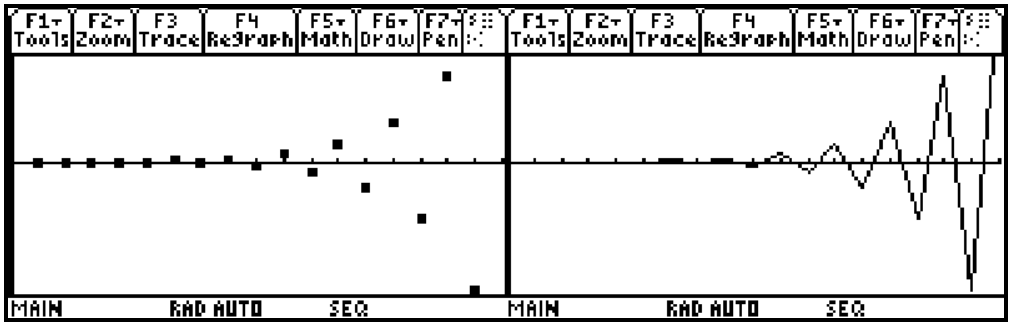
u posloupností, které jsou zadané rekurentně (obr. 28). „*Pokud je požadována více než jedna počáteční hodnota, zadávají se jako seznam oddělený čárkami ve složených závorkách*.“ [1, s. 142]



Obrázek 28: Rekurentní zadání posloupnosti

„Window Editor“ umožňuje stejně jako v případě funkcí zadat meze zobrazovacího okna a měřítko, avšak je zde i několik nových proměnných, které lze zadefinovat. Nejdůležitější z nich jsou dle mého názoru „*nmin*“ a „*nmax*“, které určují „*nejmenší a největší hodnotu, pro kterou bude kalkulátor posloupnost vyhodnocovat*“. [1, s. 143]

Aplikace „Editor Y=“ umožňuje také nastavení stylu zobrazení posloupnosti. Protože posloupnost se skládá z jednotlivých bodů, je vhodnější pro její grafické znázornění použít buď styl „square“ (= čtverečky) nebo „dot“ (= tečky) než plnou čáru, která by jednotlivé body spojovala (obr. 29).



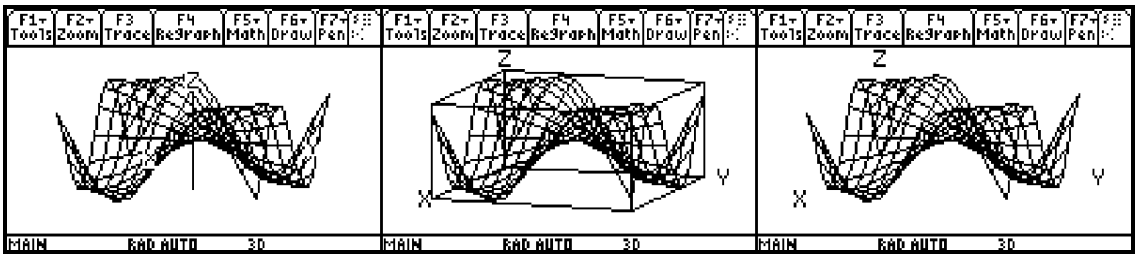
Obrázek 29: Různé styly grafického znázornění posloupnosti

Zkoumání vlastností grafu funguje stejně jako u grafů funkcí. Je možné použít volně pohyblivý kurzor, stejně tak nástroje „Zoom“ nebo „Trace“. Z nabídky „Math“ je k dispozici pouze nástroj, který k určitému bodu na ose *x* nachází odpovídající hodnotu na ose *y*. [1, s. 145]

6.3 Trojrozměrné grafy

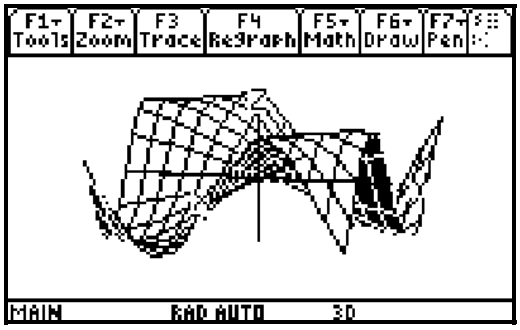
Trojrozměrné grafy slouží ke znázorňování funkcí o dvou proměnných – *z(x,y)*. Při změně typu grafu na „3D“ se automaticky změní i názvy funkcí v aplikaci „Editor Y=“ na *z1-z99*. Ještě před samotným vykreslením námi zadané funkce je vhodné nastavit formát grafu, který určuje jakým způsobem se zobrazí osy, zda budou označené (*x*, *y*, *z*) a hlavně styl vykreslení samotné funkce. [1, s. 157]

Na obrázku 30 jsou tři možnosti nastavení os. „*Standardní je zobrazení ‚AXES‘ v první části obrázku, ‚BOX‘ zobrazí osy x, y, z jako trojrozměrný blok, přičemž počátek je často uvnitř bloku a ne v rohu*“, jak by se dalo předpokládat, ale to lze změnit nastavením okrajových hodnot os (*xmin*, *ymin*, *zmin*, *xmax*, *ymax*, *zmax*) v aplikaci „Window Editor“. Ve třetí části obrázku je vidět, že v případě, že osy nepotřebujeme, lze je nezobrazovat vůbec. [1, s. 165]



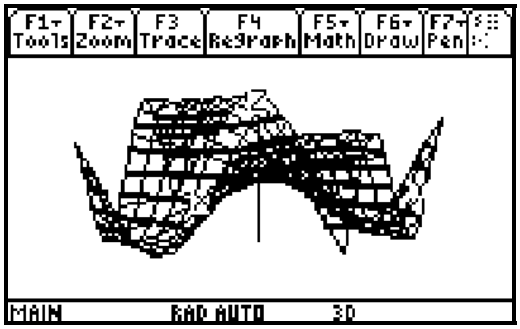
Obrázek 30: Možnosti nastavení os

Kalkulátor umožňuje pět různých stylů vykreslení funkce. Na obrázku 30 je funkce vykreslena stylem „wire frame“, který zobrazuje jakousi síť funkce. Styl „hidden surface“ zobrazí funkci tak, že zvrchu má barvu bílou a zespoda tmavou (obr. 31). Tento styl zobrazení grafu funkce je podle mých zkušeností nejméně náchylný na optické klamy. [1, s. 155]



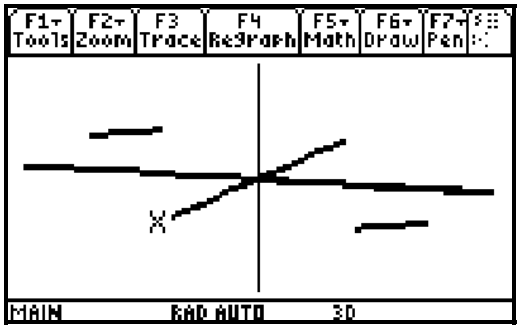
Obrázek 31: Styl „hidden surface“

Styly „contour levels“ a „wire and contour“ vykreslují na grafu vrstevnice, které spojují sousední body se stejnou hodnotou na ose z – „wire and contour“ zobrazuje jak vrstevnice, tak síť funkce (obr. 32) a „contour levels“ pouze vrstevnice. Při nastavení těchto dvou stylů je zobrazení funkce časově náročnější, a tak se průběh výpočtu vrstevnic zobrazuje v procentech v levém horním rohu obrazovky. [1, s. 167]



Obrázek 32: Styl „wire and contour“

Poslední styl, kterým lze graf funkce zobrazit se nazývá „implicit plot“. Zobrazuje trojrozměrný graf s jedinou vrstevnicí, a to pro $z = 0$, což je v podstatě vykreslení všech bodů v místech, kde funkce protíná rovinu xy (obr. 33). [1, s. 171]



Obrázek 33: Styl „implicit plot“

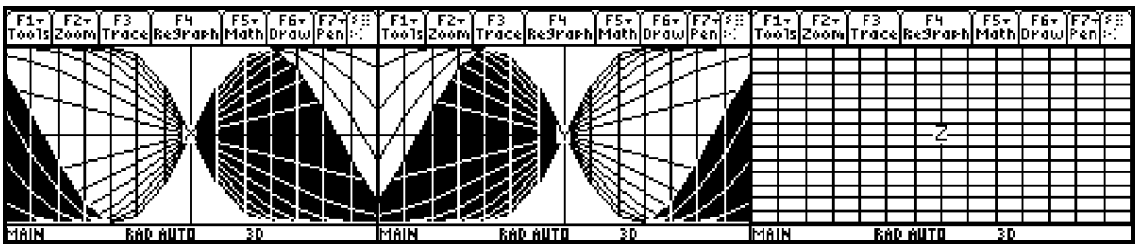
Pokud jsme nenastavili styl grafu předem, je možné mezi styly přepínat i po vykreslení na grafické obrazovce stiskem tlačítka se symbolem kolmítka. Stisknutím tlačítka se symbolem násobení se přepíná mezi normálním a tzv. rozšířeným zobrazením. Rozšířené zobrazení je v podstatě přiblížení grafu tak, aby pokryl celou obrazovku. Automaticky se nastaví v případě, že je styl formátu grafu nastaven na „contour levels“ nebo „implicit plot“. [1, s. 154]

Z jakého úhlu uvidíme graf po jeho prvním vykreslení, určují proměnné „*eyeθ*“, „*eyeΦ*“ a „*eyeψ*“, které dohromady vytvářejí tzv. zorný úhel. „*Proměnné ‚eyeθ‘ a ‚eyeΦ‘ určují*

úhel, který svírá osa pohledu ve stupních od kladné části osy x a od kladné části osy z. Úhel, o který je graf otočen proti směru otáčení hodinových ručiček okolo osy pohledu určuje proměnná ‚eyeψ'.“ [1, s. 162]

Abychom si mohli graf prohlédnout ze všech stran, lze jím otáčet pomocí kurzorových kláves po jednotlivých krocích. V případě, že podržíme kurzorovou klávesu přibližně po dobu jedné sekundy, spustí se automatická animace. Pohyb grafu je možné zrychlit či zpomalit stiskem klávesy se symbolem + nebo –. [1, s. 164]

Další tlačítka, která se vyplatí při prohlížení trojrozměrných grafů používat, jsou písmena X, Y, Z a tlačítko se symbolem nuly. „*X, Y, Z zobrazí pohed na graf ve směru os x, y, z*“ (obr. 34) a po stisknutí nuly se „*obnoví počáteční nastavení zobrazení grafu*.“ [1, s. 155]



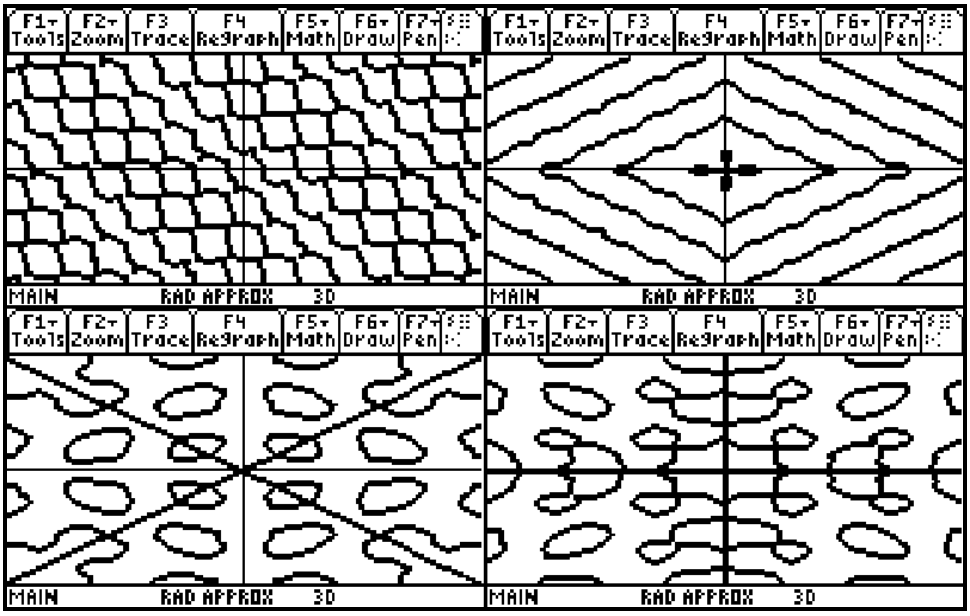
Obrázek 34: Pohledy na graf ze směru osy x, y, z

Zkoumání vlastností 3D grafů funguje podobně jako u grafů funkcí s výjimkou těch nástrojů, které lze použít pouze ve dvoudimenzionálním prostoru. Lze tedy použít nástroje „Zoom“ nebo „Trace“, ale nelze pracovat s volně pohyblivým kurzorem. [1, s. 159]

6.4 Implicitní grafy

Typ grafu „3D“ se stylem „implicit plot“ je možné použít také například pokud potřebujeme vykreslit graf jakékoli rovnice zadané v implicitním tvaru. „*Funkce tohoto typu lze také vyjádřit buď jako rovnice parametrické, nebo je rozdělit na dvě samostatné funkce vyjádřené explicitně*“, takže možností grafického znázornění je více. [1, s. 171]

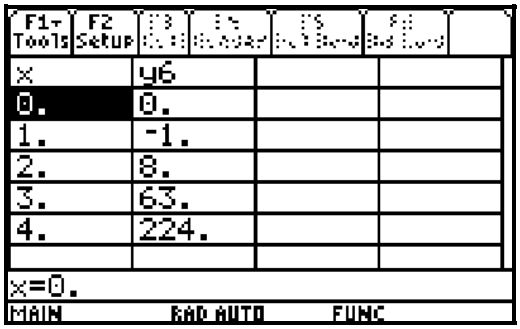
Vykreslení v módu „3D“ však nevyžaduje, v případě, že je funkce zadána ve tvaru $f(x,y) = g(x,y)$, žádné další úpravy kromě převedení na jednu stranu rovnice. Funkci ve tvaru $f(x,y) - g(x,y) = 0$ je již možné zadat do aplikace „Editor Y=“ a nechat vykreslit na grafické obrazovce. [1, s. 171] „*I přesto, že vykreslení grafů tohoto typu trvá delší dobu, vizuální výsledky bývají často zajímavé*.“ (obr. 35) [1, s. 173]



Obrázek 35: Grafy implicitních funkcí

7 Tabulky

Pro práci s tabulkami je určena aplikace „Table screen“. Pomocí ní lze funkci, kterou jsme definovali algebraicky v aplikaci „Editor Y=“, zobrazit numericky v podobě tabuky. V prvním sloupci tabulky jsou vypsány hodnoty nezávislé proměnné a v dalších sloupcích hodnoty závislých proměnných (obr. 36). [1, s. 221]

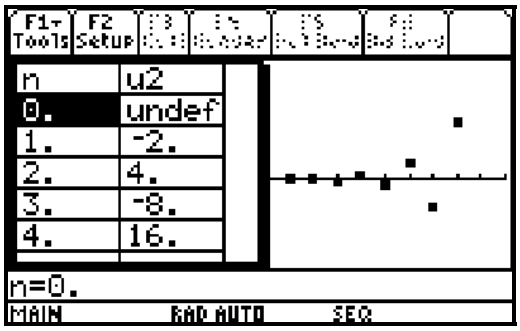


Obrázek 36: Aplikace „Table Screen“

Každý sloupec může obsahovat až 999 hodnot, přičemž počáteční hodnoty lze samozřejmě nastavit. Stejně tak je možné nastavit i šířku jednotlivých buněk, což se provádí zadáním čísla, které určuje počet znaků, které se vejdou do jedné buňky. [1, s. 227]

„*Výpis hodnot do tabulky je možné použít ve všech grafických módech kromě nastavení ‚3D‘.*“ Například u některých typů posloupností je tabulka často přehlednější než grafické znázornění vzhledem k omezeným možnostem displeje kalkulátoru. [1, s. 223]

Případně je zde také k dispozici možnost nechat na displeji zobrazit dvě aplikace současně, třeba právě tabulku a vedle ní posloupnost vyjádřenou graficky (obr. 37). „*Obrazovku je možné rozdělit buď podélně nebo svisle, kdy aktivní je vždy jen jedna z aplikací.*“ [1, s. 235]



Obrázek 37: Rozdělení displeje na dvě části

8 Editor dat a matic

„*Aplikace ‚Data/Matrix Editor' slouží ke dvěma účelům – k vytváření proměnných typu seznam, data nebo matice a v návaznosti na to, k použití těchto proměnných pro statistické výpočty a vykreslování statistických grafů.*" [1, s. 237] Fungování této aplikace je možné přirovnat ke zjednodušenému tabulkovému kalkulátoru.

Než se samotný editor spustí, zobrazí se dialogové okno, kde je nutné vyplnit několik položek. První z nich je typ proměnné, která se bude používat. Jsou zde na výběr tři typy proměnných – data, matice či seznam. Všechny proměnné lze definovat také rovnou z úvodní obrazovky, avšak tento způsob je při větším počtu prvků dost nepřehledný. A naopak, všechny proměnné vytvořené pomocí editoru matic lze používat i v jiných aplikacích, takže například i v úvodní obrazovce.

Jako první zmíním proměnnou typu seznam. „*Tato proměnná se zobrazí jako jeden sloupec položek, kdy každá z nich je v oddělené buňce. Může mít až 999 prvků, avšak žádná z buněk nesmí být prázdná.*"

„*Proměnná typu data je jakýsi soubor seznamů. Může mít až 99 sloupců, každý sloupec může obsahovat až 999 prvků, přičemž jednotlivé sloupce nemusí být stejně dlouhé, ale musí být souvislé*" (nesmí obsahovat žádné prázdné buňky). [1, s. 239]

Posledním typem proměnné, kterou je možné definovat, je matice. „*Před zadáváním konkrétních hodnot je nutné v dialogovém okně vyplnit počet sloupců a řádků, které má matice mít. Od proměnné typu data se liší tím, že již při vytváření se hodnota všech buněk automaticky nastaví na nulu, a tak nehrozí, že by nějaká buňka zůstala prázdná. Narozdíl od proměnné typu data nemůže matice samozřejmě obsahovat sloupce různé délky.*" [1, s. 240]

Jednotlivé buňky (případně celé sloupce) lze mezi sebou vzájemně provazovat tak, že ve výrazu, který zapisujeme do buňky, použijeme název jiné buňky nebo sloupce jako proměnnou. „*U proměnných typu seznam nebo data je dokonce k dispozici volba ‚Auto-calculate', která zajišťuje, že v případě změny obsahu buňky, na kterou se jinde v editoru odkazuje, přepočítá se automaticky i obsah buněk s ní provázaných.*" [1, s. 249]

„*Obsah sloupců je možné také jednoduše abecedně či číselně setřídit, pokud mají sloupce stejnou délku, lze je setřídit všechny na základě jednoho, který se určí jako klíčový*.“ Tato vlastnost je výhodná například v případě, že máme v editoru ve stejném řádku navzájem související údaje, takže setřídění pouze jednoho sloupce by narušilo jejich strukturu. [1, s. 251]

9 Statistické funkce

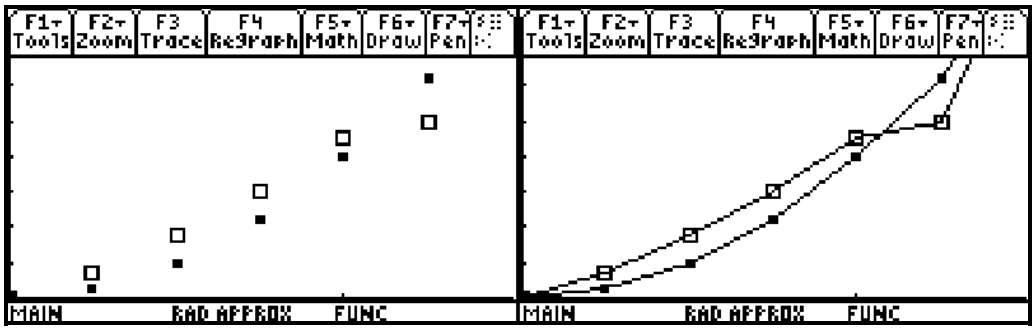
Jak jsem již zmínila na začátku kapitoly 8, lze editor dat a matic využít také ke statistickému zpracovávání dat a vykreslování statistických grafů. Všechny tyto funkce je možné provádět pouze s proměnnými typu data. [1, s. 259]

Kalkulátor TI-89 umožňuje provádět dvanáct různých typů statistických výpočtů a v případě, že bych popisovala každý z nich, přesáhla by tato kapitola rozsah práce. Po provedení statistického výpočtu se výsledek uloží do statistické proměnné. Různých proměnných tohoto typu, se kterými je možné dále pracovat, jsou zde desítky. [1, s. 263]

Graf statistické funkce lze definovat přímo v editoru dat a matic po vyvolání obrazovky „Plot Setup“ stiskem tlačítka F2. „*Takto můžeme definovat najednou až devět různých grafů*.“ [1, s. 264] Pro zadávání statistických funkcí je však možné použít také aplikaci „Editor Y=“.

K dispozici jsou zde čtyři různé typy grafů. Typ s názvem „Scatter“ je bodový graf, kdy se „*hodnoty x a y vynášejí jako dvojice souřadnic a sloupce, které hodnoty x a y obsahují, musí mít stejnou délku*“ (obr. 38).

Typ grafu „xline“ je spojnicový graf, který „*spojuje hodnoty x a y v takovém pořadí, v jakém jsou uvedeny v tabulce*“ (obr. 38).



Obrázek 38: Grafy typu „Scatter“ a „xline“

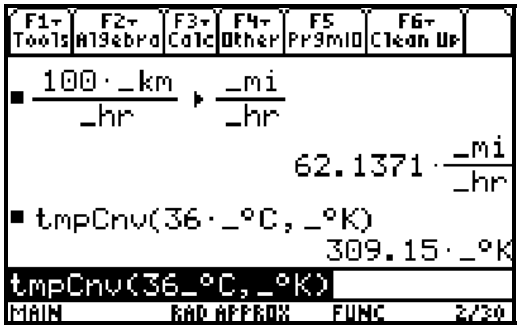
Dalším typem statistického grafu je „Box Plot“, což je „*rámečkový graf, jehož meze jsou určené několika typy statistických proměnných, jako např. minimální a maximální hodnota, první a třetí kvartil nebo medián*“. [1, s. 266]

Poslední možností, jak vykreslit statistický graf, je „Histogram“. „*Osa x se v takovém případě rozdělí na úseky stejné délky, kdy velikost úseku představuje šířku sloupce histogramu a jeho výška je dána počtem hodnot v intervalu sloupce*.“ [1, s. 267]

10 Konstanty a měrné jednotky

Kalkulátor TI-89 umožňuje při výpočtech pracovat také s nejrůznějšími konstantami nebo k hodnotám v zadávaných výrazech přidávat měrné jednotky z mnoha kategorií. Je možné si zvolit, jaký typ jednotek budeme při práci používat – „*mezinárodní soustavu jednotek SI, anglickou soustavu jednotek (stopy, libry, atd.), nebo si uživatel může nadefinovat jednotky vlastní*“. [1, s. 81]

Na obrázku 39 jsou dva příklady, které ukazují, jakým způsobem lze jednotky převádět. „*Pro všechny jednotky s výjimkou jednotek teploty se používá první způsob. Pro teplotní hodnoty se musí použít funkce ‚tmpCnv‘.*“ [1, s. 86]



Obrázek 39: Převody jednotek

Při řešení příkladů obsahujících jednotky se výsledek zobrazí v takových jednotkách, které jsou nastaveny jako výchozí u dané kategorie. Toto nastavení je samozřejmě možné dle potřeby změnit. [1, s. 85]

Závěr

Myslím, že se mi v mé práci podařilo přehledně shrnout možnosti, které grafický kalkulátor TI-89 skýtá a ukázat nejen jeho dobré vlastnosti a výhody, ale také určitá úskalí, která se mohou při práci s ním projevit.

I když by se mohlo zdát, že v dnešní době již není téma grafického kalkulátoru aktuální, že v době počítačů je tato technika pasé, není tomu tak. Stále je mnoho možností, kde jej lze využít. Stačí se jen podívat na matematické obory na vysokých školách; na většině z nich je použití počítače nepřípustné, ale kalkulátor povolený je (i když programovatelný pouze někde).

Jeho velkou výhodou je snadnost a rychlost použití. Navíc je malý a praktický. Dobře vím, že v dnešní době existuje mnoho pokročilých matematických programů pro osobní počítače, ale přesto si myslím, že grafické kalkulátory mají při studiu matematických oborů stále své místo.

Typ TI-89 by mohl být v dnešní době kritizován pro svou technickou zastaralost. Rozlišení displeje je nízké, není příliš velká velikost paměti ani rychlost procesoru. Právě z těchto důvodů je dnes na trhu již nový model TI-Nspire, který všechny tyto vlastnosti vylepšuje. Tím posouvá grafický kalkulátor na úroveň moderních kapesních počítačů. A ten, kdo se naučí používat typ Titanium, snadno pak přejde k typu novému. Podle mých zkušeností jak ze studia, tak i z této práce, je typ TI-89 pro účely studia více než dostatečně výkonný.

Seznam použité literatury

[1] *TI-89/TI-92 Plus Guidebook : for Advanced Mathematics Software Version 2.0* [online]. [USA] : Texas Instruments, 2002, 19th January 2002 [cit. 2010-06-14]. Dostupné z WWW: <http://education.ti.com/downloads/guidebooks/graphing/8992p/8992bookeng.pdf>.

[2] *TI-89 Titanium/Voyage 200 : Graphing Calculator.* [USA] : Texas Instruments, 2005. 326 s.

[3] *TI-89 : Příručka*. [USA] : Texas Instruments, 2002. 553 s.

[4] DAVIE, Andrew. *Museum of soviet calculators* [online]. c2008, last update: 6th October 2008 [cit. 2010-04-22]. Dostupné z WWW: <http://www.taswegian.com/MOSCOW/soviet.html>.

[5] FROLOV, Sergei. *Soviet digital electronics museum* [online]. c2009, last modified: 2008-01-03 [cit. 2010-04-22]. Dostupné z WWW: <http://rk86.com/frolov/calcolle.htm>.

[6] HICKS, David G. *The Museum of HP calculators* [online]. c2010 [cit. 2010-04-23]. Dostupné z WWW: <http://www.hpmuseum.org/>.

[7] TOTH, Viktor T. *Programmable Calculators* [online]. c2005, last modified: May 20, 2010 [cit. 2010-06-14]. Dostupné z WWW: <http://www.rskey.org/>.

[8] *Ticalc.org* [online]. c2010 [cit. 2010-04-25]. Dostupné z WWW: <http://www.ticalc.org/>.

[9] *A collection of programmable and non-programmable calculators* [online]. c2008 [cit. 2010-04-24]. Timeline. Dostupné z WWW: <http://calculators.torensma.net/index.php?page.id=26&>.

[10] *Graphing Calculators: Which Graphing Calculator is Right For You?* [online]. c2008 [cit. 2010-05-28]. Dostupné z WWW: <http://www.graphingcalculators.com/>.

[11] *Vintage Calculators Web Museum* [online]. c2010 [cit. 2010-04-24]. Casio. Dostupné z WWW: <http://www.vintagecalculators.com/html/casio.html>.

[12] *Cpu-collection.de* [online]. c2010 [cit. 2010-04-22]. Dostupné z WWW: <http://www.cpu-collection.de/?tn=1>.

[13] *Processors - ARM* [online]. c2010 [cit. 2010-04-22]. Dostupné z WWW: <http://www.arm.com/products/processors/index.php>.

[14] *Calculators and Education Technology by Texas Instruments - US and Canada* [online]. c2010 [cit. 2010-06-12]. TI Connect; Software. Dostupné z WWW: <http://education.ti.com/educationportal/sites/US/productDetail/us_ti_connect.html>.

[15] *WPI Mathematical Sciences* [online]. June 09, 2010 [cit. 2010-06-13]. Computer Algebra Systems. Dostupné z WWW: <http://www.math.wpi.edu/IQP/BVCalcHist/calc5.html>.

[16] *Scientific Computing World - for scientists, researchers and engineers using computing at work* [online]. c2010 [cit. 2010-06-13]. MATHS: Derive 6: Far too good just for students. Dostupné z WWW: <http://www.scientific-computing.com/scwmarapr04derive6.html>.

Seznam obrázků

Obrázek 1: Úvodní obrazovka softwaru „TI Connect“.....22
Obrázek 2: Porovnání vzhledu skutečného displeje a zvětšené bitmapy.....22
Obrázek 3: TI-89 Titanium.....23
Obrázek 4: Výběr aplikace.....24
Obrázek 5: Úvodní obrazovka.....24
Obrázek 6: Režim Pretty Print.....25
Obrázek 7: Režim Exact/Approx (nastavení exact).....26
Obrázek 8: Režim Exact/Approx (nastavení approximate).....26
Obrázek 9: Režim Exact/Approx (nastavení auto).....26
Obrázek 10: Exponential Format.....27
Obrázek 11: Použití operátoru „with“.....28
Obrázek 12: Definování proměnné.....29
Obrázek 13: Dočasné potlačení hodnoty proměnné.....29
Obrázek 14: Automatické zjednodušování.....30
Obrázek 15: Funkce y7 a její graf.....31
Obrázek 16: Funkce pro práci s polynomy.....31
Obrázek 17: Aplikace „Polynomial root finder“.....32
Obrázek 18: Použití funkce „simult“.....33
Obrázek 19: Použití funkce „rref“.....33
Obrázek 20: Derivace.....33
Obrázek 21: Integrace.....34
Obrázek 22: Hledání limity.....34
Obrázek 23: „Editor Y=“.....35
Obrázek 24: Různé styly zobrazení funkce.....36
Obrázek 25: Použití nástroje „Trace“.....37
Obrázek 26: Výpočet hodnoty integrálu v daném intervalu.....37
Obrázek 27: Definování parametrického grafu.....38
Obrázek 28: Rekurentní zadání posloupnosti.....39
Obrázek 29: Různé styly grafického znázornění posloupnosti.....39

Obrázek 30: Možnosti nastavení os....40
Obrázek 31: Styl „hidden surface“....40
Obrázek 32: Styl „wire and contour“....41
Obrázek 33: Styl „implicit plot“....41
Obrázek 34: Pohledy na graf ze směru osy x, y, z....42
Obrázek 35: Grafy implicitních funkcí....43
Obrázek 36: Aplikace „Table Screen“....44
Obrázek 37: Rozdělení displeje na dvě části....44
Obrázek 38: Grafy typu „Scatter“ a „xline“....47
Obrázek 39: Převody jednotek....49