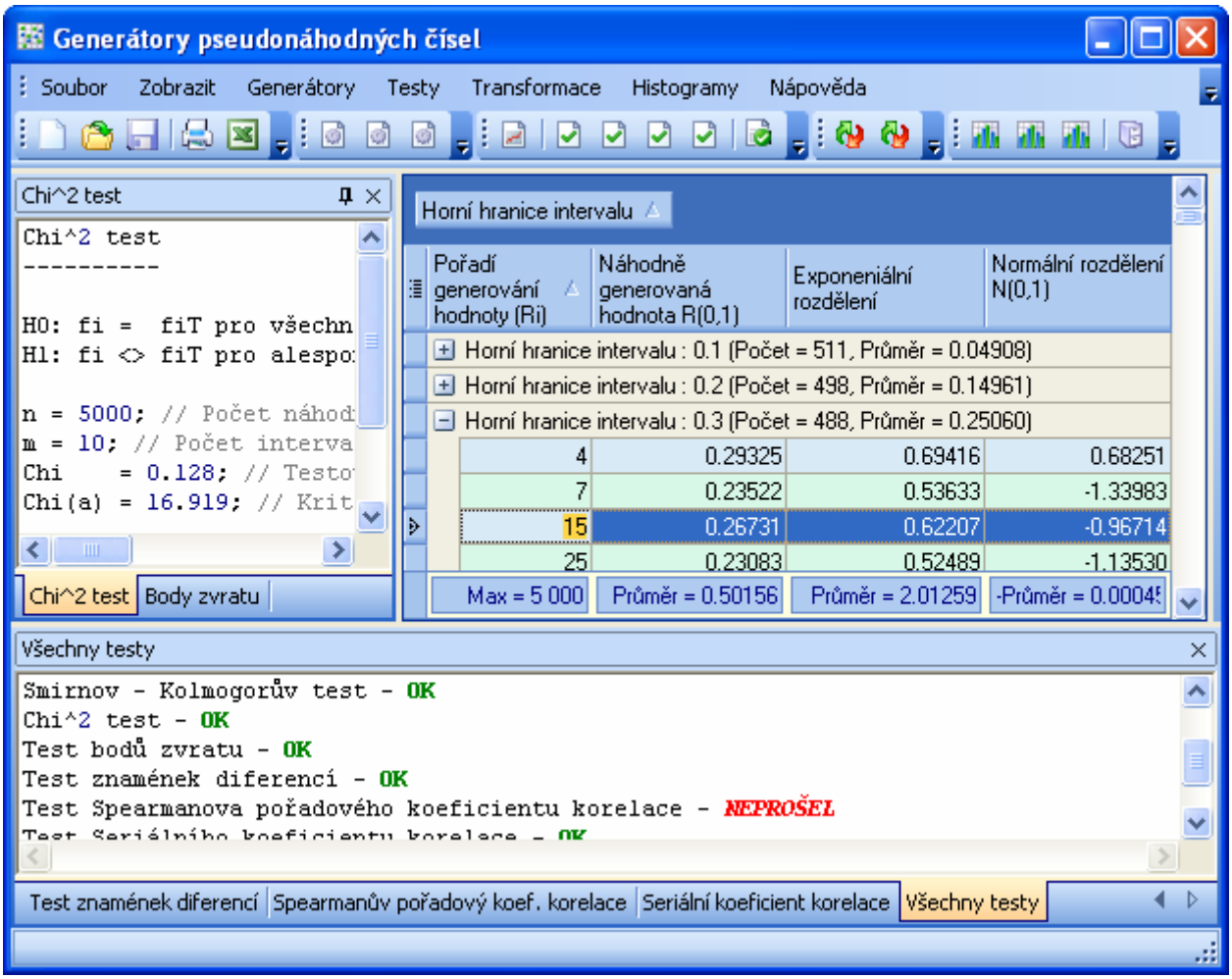
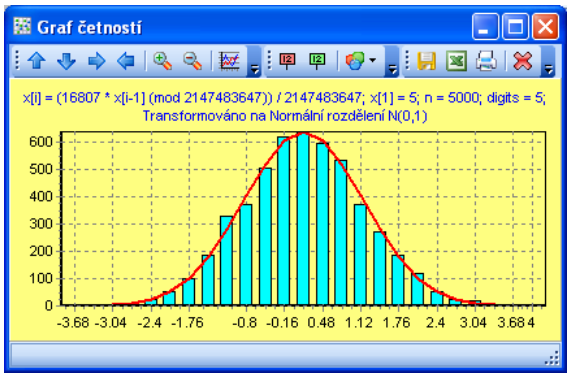
FAKULTA INFORMATIKY A MANAGEMENTU UHK

Generátory pesudonáhodných čísel

semestrální práce z předmětu STOMO





Autor: **Petr Voborník**
Obor: UHK – FIM - im(5) – 5. ročník
Datum: 20.12.2005
E-mail: vobornik@mikmik.cz

Obsah

Obsah 1
1. Úvod 2
2. Použité funkce 3
2.1. Generátory z R(0, 1) 3
2.1.1. Fibonacciho aditivní 3
2.1.2. Lehmerův multiplikativní 3
2.1.3. Kongruenční smíšený 3
2.1.4. Delphi random 3
2.1.5. Můj generátor 4
2.2. Testy 4
2.2.1. Smirnov - Kolmogorův test dobré shody 4
2.2.2. χ^2 test dobré shody (frekvenční test) 4
2.2.3. Test bodů zvratu 5
2.2.4. Test znamének diferencí 6
2.2.5. Test Spearmanova pořadového koeficientu korelace 6
2.2.6. Test seriálního koeficientu korelace a Cochranův test 7
2.3. Transformace 8
2.3.1. Inverzní transformace do exponenciálního rozdělení 8
2.3.2. Transformace do normovaného normálního rozdělení 8
2.4. Histogramy 9
3. Ovládání programu 10
3.1. Postup při práci s programem 10
3.2. Vygenerování hodnot 10
3.3. Testování náhodnosti 12
3.4. Menu soubor 12
3.4.1. Práce se souborem 12
3.4.2. Tisk 12
3.4.3. Export 14
3.5. Ovládání menu 14
3.6. Ovládání oken s výsledky testů 16
3.7. Práce s tabulkou 17
3.8. Okno s grafem četností 20
4. Použité zdroje 22
4.1. Technologie 22
4.2. Literatura 22

1. Úvod

Program Generátory byl vytvořen jako semestrální práce z předmětu Stochastické modelování na Fakultě informatiky a managementu na Univerzitě Hradec Králové. Program je určen k práci se základními kongruenčními generátory a umožňuje:

- generování pseudonáhodných posloupností s možností nastavení jejich parametrů
- testování těchto posloupností všemi standardními testy náhodnosti
- transformace do jiných rozdělení
- rozdělení hodnot do intervalů
- zobrazování histogramů

Program poskytuje i řadu dalších možností mimo své hlavní funkce, jako například:

- ukládání a načítání vygenerovaných posloupností
- export dat do programu Microsoft Excel
- tisk výsledků testů
- seskupování a řazení dat v tabulce vygenerovaných a pomocných hodnot
- ukládání histogramů do vektorových obrázků

Program Generátory je uživatelsky přívětivý, jeho ovládání je snadné a intuitivní, a umožňuje uživatelům si jej libovolně přizpůsobit jejich individuálním požadavkům.

2. Použité funkce

2.1. Generátory z R(0, 1)

2.1.1. Fibonacciho aditivní

Fibonacciho aditivní (součtový) generátor je ve své základní formě určen součtem dvou předchozích hodnot posloupnosti a funkcí modulo zkrácen do požadovaného rozsahu. V tomto případě jsou prvky posloupnosti pouze necelá čísla v rozsahu od 0 do 1, což zajišťuje hodnota M = 1.

$$x_i = x_{i-1} + x_{i-2} \left(\bmod M\right)$$

2.1.2. Lehmerův multiplikativní

Lehmerův multiplikativní generátor je ve své základní formě určen součinem předchozí hodnoty posloupnosti a zvolené konstanty a funkcí modulo zkrácen na požadovaný rozsah. Jedná se o celá čísla, která jsou až po svém vygenerování převedena do rozsahu 0,1 vydělením této vygenerované celočíselné hodnoty hraniční hodnotu rozsahu, tedy *M*.

$$x_i = a \cdot x_{i-1} \left(\bmod M\right)$$

2.1.3. Kongruenční smíšený

Kongruenční smíšený generátor využívá jak násobení tak sčítání. Ve své základní formě je určen předchozí hodnotou posloupnosti vynásobenou zvolenou konstantou, k čemuž je přičtena další konstanta a funkcí modulo zkrácen na požadovaný rozsah. Opět se jedná o celá čísla, která jsou až po svém vygenerování převedena do rozsahu 0,1 vydělením hraniční hodnotu rozsahu *M*.

$$x_i = a \cdot x_{i-1} + b \left(\bmod M\right)$$

2.1.4. Delphi random

Zde je využita interní funkce programovacího jazyka Random, která vrací „náhodné" číslo v rozmezí od 0 do 1. Výchozí hodnoty tohoto generátoru nastavuje funkce Randomize, která je zavolána hned po spuštění programu. Nevýhodou tohoto generátoru je jeho neopakovatelnost.

$$x_i = Random;$$

2.1.5. Můj generátor

Tento generátor napadl přímo mě. Je možné, že jej publikoval již někdo přede mnou, ale nejsem si ničeho takového vědom, již jen kvůli tomu, že není příliš kvalitní. Přesto jsem jej do tohoto programu implementoval, právě jako ukázku ne zcela kvalitního generátoru.

Hodnoty v něm jsou určeny jako podíl jedničky a předchozí hodnoty a funkcí modulo zkráceny na rozsah od 0 do 1. Vzhledem k zaokrouhlovací chybě je možné, že by některá z hodnot mohla vyjít 0. V tom případě je předchozí hodnota, která by tento výsledek navodila odmocněna, což zabrání chybě při dělení 0.

$$x_i = \frac{1}{x_{i-1}} (\mathrm{mod} 1)$$

2.2. Testy

2.2.1. Smirnov - Kolmogorův test dobré shody

Tento test je založen na srovnání maximální empirické relativní kumulativní odchylky a její teoretické hodnoty. Postup testu je následující:

- Hypotézy jsou:
  $H_0 : F_n(x) = F^T(x)$ pro všechna *x* od 1 do *k*, kde *k* je počet intervalů
  $H_1 : F_n(x) \neq F^T(x)$ pro alespoň jedno *x*
- Rozsah v němž se hodnoty mohou pohybovat rozdělíme na *k* intervalů. V programu je použito *k* = 10. Pro rozsah od 0 do 1 jde tedy o intervaly (0; 0.1>, (0.1; 0.2>, ..., (0.9; 1).
- Spočteme kolik do každého intervalu patří vygenerovaných hodnot (četnosti).
- Tyto počty pak vydělíme celkovým počtem hodnot n (relativní četnosti).
- Tyto relativní četnosti poté postupně přičítáme dle jednotlivých intervalů (kumulativní relativní četnosti).
- Od nich pak odečteme teoretické hodnoty těchto četností ($F^T(x) = \frac{1}{k} + F^T(x-1)$).
- Největší z těchto rozdílů je pak testovým kritériem $D_n = \max_x \left| F^T(x) - F_n(x) \right|$.
- Kritickou hodnotu pro zvolenou hladinu významnosti α je pak $D_n(\alpha) \cong \sqrt{\frac{1}{2n} \ln \frac{2}{\alpha}}$.
- Pokud je $D_n \leq D_n(\alpha)$ pak se H_0 na hladině významnosti α nezamítá a vygenerované hodnoty jsou dle tohoto testu náhodné. V opačném případě se H_0 zamítá.

2.2.2. χ^2 test dobré shody (frekvenční test)

Tento test je založen na srovnání sumy všech odchylek empirických četností od jejich teoretických hodnot. Postup testu je následující:

- Hypotézy jsou:
  $H_0 : f_i = f_i^T$ pro všechna *i* od 1 do *k*, kde m je počet intervalů
  $H_1 : f_i \neq f_i^T$ pro alespoň jedno *i*
- Rozsah v němž se hodnoty mohou pohybovat rozdělíme na *k* intervalů. V programu je použito *k* = 10.
- Spočteme kolik do každého intervalu patří vygenerovaných hodnot (četnosti).
- Od nich pak odečteme teoretické hodnoty těchto četností ($f_i^T = \frac{n}{k}$).
- Tyto rozdíly poté umocníme na druhou a vydělíme teoretickou hodnotou $\frac{\left(f_i - f_i^T\right)^2}{f_i^T}$.
- Sečteme takto vzniklé hodnoty přes všechny intervaly, čímž získáme testové kritérium $\chi^2 = \sum_{i=1}^{k} \frac{\left(f_i - f_i^T\right)^2}{f_i^T}$.
- Kritickou hodnotu pro zvolenou hladinu významnosti pro *k-1* stupňů volnosti zjistíme z tabulek pro χ^2 (k-1).
- Pokud je $\chi^2 \leq \chi^2_{\alpha,k-1}$ pak se H_0 na hladině významnosti α nezamítá a vygenerované hodnoty jsou dle tohoto testu náhodné. V opačném případě se H_0 zamítá.

2.2.3. Test bodů zvratu

Tento test srovnává počet bodů zvratu ve vygenerované posloupnosti s jejich předpokládanou hodnotou. Bodem zvratu je takový bod, jehož obě okolní hodnoty jsou buď větší nebo menší než on ($x_{i-1} < x_i \wedge x_i > x_{i+1} \vee x_{i-1} > x_i \wedge x_i < x_{i+1}$). Postup testu je následující:

- Hypotézy jsou:
  H_0: jedná se o stacionární náhodnou posloupnost
  H_1: nejedná se o stacionární náhodnou posloupnost
- Spočteme všechny body zvratu v celé posloupnosti ($P = \sum_{i=2}^{n-1} Y_i$, kde Y_i je 1 v případě že x_i je bod zvratu, jinak je Y_i = 0).
- Vypočítáme testové kritérium $U = \left(P - \frac{2(n-2)}{3}\right)\sqrt{\frac{90}{16n-29}}$.
- Kritickou hodnotu $u_{1-\frac{\alpha}{2}}$ pro zvolenou hladinu významnosti α zjistíme z tabulek pro N(0,1).
- Pokud je $|U| \leq u_{1-\frac{\alpha}{2}}$ pak se H_0 na hladině významnosti α nezamítá a vygenerované hodnoty jsou dle tohoto testu náhodné. V opačném případě se H_0 zamítá.

2.2.4. Test znamének diferencí

Tento test srovnává počet záporných znamének diferencí dvou následujících hodnot vygenerované posloupnosti s jejich předpokládanou hodnotou. Znaménko diference je záporné, když $x_i < x_{i+1}$. Postup testu je následující:

- Hypotézy jsou:
  H_0: řada tvoří náhodnou posloupnost
  H_1: řada netvoří náhodnou posloupnost
- Spočteme všechny záporná znaménka diferencí v celé posloupnosti ($C = \sum_{i=1}^{n-1} Y_i$, kde Y_i je 1 v případě že $x_i < x_{i+1}$, jinak je Y_i = 0).
- Vypočítáme testové kritérium $U = \left(C - \frac{(n-1)}{2}\right)\sqrt{\frac{12}{n+1}}$.
- Kritickou hodnotu $u_{1-\frac{\alpha}{2}}$ pro zvolenou hladinu významnosti α zjistíme z tabulek pro N(0,1).
- Pokud je $|U| \le u_{1-\frac{\alpha}{2}}$ pak se H_0 na hladině významnosti α nezamítá a vygenerované hodnoty jsou dle tohoto testu náhodné. V opačném případě se H_0 zamítá.

2.2.5. Test Spearmanova pořadového koeficientu korelace

Tento test ověřuje, zda velikost generované hodnoty nezávisí na pořadí ve kterém byla v posloupnosti vygenerována. Porovnává tedy dvě pořadí hodnoty, a sice pořadí ve kterém byla hodnota vygenerována R_i a pořadí hodnoty ve vzestupně seřazené posloupnosti Q_i. Postup testu je následující:

- Hypotézy jsou:
  H_0: $\rho_S = 0$
  H_1: $\rho_S \neq 0$
- Ke každé hodnotě přiřadíme pořadí R_i ve kterém byla vygenerována (1..n).
- Hodnoty vzestupně seřadíme a každé z nich přiřadíme pořadí Q_i ve kterém se právě nachází (1..n).
- Indexy R_i a Q_i u každé hodnoty od sebe odečteme a získáme tak pro každou hodnotu $d_i = R_i - Q_i$.
- Sečteme kvadrát d_i přes všechny hodnoty $\sum_{i=1}^{n} d_i^2$.
- Z takto získané hodnoty vypočteme Spearmanův pořadový koeficient korelace $r_S = 1 - \frac{6}{n(n^2-1)}\sum_{i=1}^{n} d_i^2$.

- Vypočteme testové kritérium $u = r_S \sqrt{n-1}$ pro n > 100 nebo $t_S = \frac{r_S \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r_S^2}}$ pro $n \leq 100$.
- Kritickou hodnotu pak pro zvolenou hladinu významnosti α v prvním případě $u_{1-\frac{\alpha}{2}}$ zjistíme z tabulek pro normované normální rozdělení N(0,1), nebo v druhém případě $t_{\alpha,n-2}$ z tabulek studentova rozdělení pro *n-2* stupňů volnosti.
- Pokud tedy platí $n > 100 \wedge |u| \leq u_{1-\frac{\alpha}{2}} \vee n \leq 100 \wedge |t_S| \leq t_{\alpha,n-2}$ pak se H_0 na hladině významnosti α nezamítá a vygenerované hodnoty jsou dle tohoto testu náhodné. V opačném případě se H_0 zamítá.

2.2.6. Test seriálního koeficientu korelace a Cochranův test

Tento test zkoumá závislost mezi sousedními či vzdálenějšími prvky posloupnosti, tedy snaží se odhalit předčasnou periodu posloupnosti. Cochranův test je pak souhrnnou kontrolou jednotlivých výsledků tohoto testu. Postup testu je následující:

- Hypotézy jsou:
  H_0: $\rho_k = 0$ pro všechna $k < n$
  H_1: $\rho_k \neq 0$ pro alespoň jedno k
- Koeficient *k*, který udává odstup dvou testovaných hodnot, volíme postupně pro všechny hodnoty v rozsahu od 1 do K. V programu je zvoleno K = n/4 (celá část tohoto čísla).
- Vypočteme průměrnou hodnotu vygenerované posloupnosti $\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i$.
- Vypočítáme seriální koeficient korelace $r_k = \frac{\frac{1}{n-k}\sum_{i=1}^{n-k}\left[\left(x_i - \bar{x}\right)\left(x_{i+k} - \bar{x}\right)\right]}{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \bar{x}\right)^2}$ postupně pro všechna *k*.
- Pro všechny vypočtené koeficienty seriální korelace r_k určíme testové kritérium $u_k = r_k \sqrt{n}$.
- Kritickou hodnotu $u_{1-\frac{\alpha}{2}}$, společnou všem jednotlivým testovým kritériím, pro zvolenou hladinu významnosti α zjistíme z tabulek pro N(0,1).
- Pokud platí $|u_k| \leq u_{1-\frac{\alpha}{2}}$ pro všechna k (1..K) pak se H_0 na hladině významnosti α nezamítá a vygenerované hodnoty jsou dle tohoto testu náhodné. V opačném případě se H_0 zamítá a hodnoty jsou korelované po *k* krocích (u *k*, pro které test neprošel).

Cochranův test

Cochranův test vychází z hodnot vypočtených při testu seriálního koeficientu korelace a testuje hromadně jedním testem všechna vypočtená r_k najednou. Jeho postup je následující:

- Hypotézy jsou stejné jako v předchozím testu, tedy:
  H_0: $\rho_k = 0$ pro všechna $k < n$
  H_1: $\rho_k \neq 0$ pro alespoň jedno k
- Vypočítáme testové kritérium $Q = n\sum_{k=1}^{K} r_k^2$.
- Kritickou hodnotu pro zvolenou hladinu významnosti pro K stupňů volnosti zjistíme z tabulek pro χ^2 (K).
- Pokud je $\chi^2 \leq \chi^2_{\alpha,K}$ pak se H_0 na hladině významnosti α nezamítá a vygenerované hodnoty jsou dle tohoto testu náhodné. V opačném případě se H_0 zamítá.
- Výsledek Cochranova testu by měl být shodný s výsledkem testu seriálního koeficientu korelace.

2.3. Transformace

2.3.1. Inverzní transformace do exponenciálního rozdělení

Pro převod vygenerovaných hodnot z rovnoměrného rozdělení R(0, 1) je zde použito odvozené inverzní funkce exponenciálního rozdělení E(A, δ), kde parametr A (horizontální posunutí) je vždy 0 a na parametr δ (střední hodnotu) je v programu uživatel dotázán. Převod každé hodnoty je tedy určen tímto vzorcem:

$$x = -\ln(1-U)\cdot\delta$$

kde x je výsledná hodnota z exponenciálního rozdělení E(0, δ) a U je výchozí náhodně generovaná veličina z rovnoměrného rozdělení R(0,1).

2.3.2. Transformace do normovaného normálního rozdělení

Pro převod vygenerovaných hodnot z rovnoměrného rozdělení R(0, 1) do normovaného normálního rozdělení N(0, 1) je zde použito následujících dvou funkcí:

$$z_1 = \sqrt{-2\ln x_1}\cos(2\pi)x_2$$

$$z_2 = \sqrt{-2\ln x_1}\sin(2\pi)x_2$$

kde z_1, z_2 je výsledná dvojice hodnot z normovaného normálního rozdělení N(0, 1) a x_1, x_2 jsou výchozí dvě po sobě jdoucí generované veličiny z rovnoměrného rozdělení R(0, 1). Tyto dva vzorce jsou postupně aplikovány na všechny hodnoty x v posloupnosti, tedy spíše na jejich dvojice (1 a 2, 3 a 4, 5 a 6...). V případě lichého n (počtu hodnot) je x_1 bráno jako poslední hodnota posloupnosti (x_n) a x_2 jako první hodnota náhodné posloupnosti (x_1).

2.4. Histogramy

Program umožňuje zobrazovat histogramy jak pro výchozí generované hodnoty rozdělení R(0, 1), tak i pro případná transformovaná rozdělení E(0, δ) a N(0, 1). Nejprve je třeba vždy zadat počet intervalů, na které se rozsah, v jehož rozmezí se hodnoty pohybují, rozdělí. Minimální a maximální hodnota v rozsahu se určuje rozdílně pro jednotlivá rozdělení.

- Pro rozdělení R(0, 1) je to pochopitelně od 0 do 1.
- Pro rozdělení E(0, δ) je minimum v 0 a maximum tvoří nejvyšší empirická hodnota v tomto rozdělení pro daný případ (zaokrouhleno na desetiny).
- Pro rozdělení N(0, 1) je nalezena empirická hodnota nejvíce vzdálená od nuly (zaokrouhlená a desetiny) označme si ji třeba M. Rozmezí histogramu je pak od -|M| do |M|.

Toto rozmezí je pak tedy rozděleno na uživatelem zadaný počet intervalů a do každého intervalu je spočteno, kolik hodnot ze zobrazovaného rozdělení do něho spadá. Na grafu histogramu jsou pak na ose *x* uvedeny horní hranice těchto intervalů a na ose *y* počty hodnot do nich spadajících. Na histogramu je též zobrazena křivka teoretických hodnot, jakých by měly dle definice daného rozdělení četnosti dosahovat.

3. Ovládání programu

3.1. Postup při práci s programem

Po spuštění programu je ve výchozím stavu tabulka hodnot prázdná a většina funkcí programu je tudíž nepřístupná. Prvním krokem by tedy mělo být vygenerování hodnot , tedy posloupnosti náhodných čísel z rovnoměrného rozdělení R(0, 1). Jakmile jsou k dispozici vygenerované hodnoty, jsou zpřístupněny všechny testy náhodnosti. Nejprve si můžete změnit hladinu významnosti α . Testy je možné spouštět buď jednotlivě , nebo všechny najednou . Také je možné vygenerované hodnoty transformovat do jiných rozdělení . Je-li vytvořeno příslušné rozdělení, je možné k němu zobrazit histogram . Základní rozdělení R(0, 1) je také možné rozdělit do zvoleného počtu intervalů .

Vygenerovanou tabulku hodnot, včetně všech jejich skrytých sloupců a pomocných hodnot testů na nich provedených lze ukládat do samostatného souboru s koncovkou *.gen* a posléze je zase načíst do tabulky . Je tu i možnost tisku výsledků testů a exportu hodnot do Microsoft Excelu .

Podrobněji o jednotlivých funkcích pojednávají následující podkapitoly.

3.2. Vygenerování hodnot

Pro generování hodnot jsou zde k dispozici připravené generátory náhodných čísel, které se nacházejí v menu Generátory. Tam se nacházejí tyto položky: Fibonacciho aditivní, Lehmerův multiplikativní, Kongruenční smíšený, Delphi random, Můj generátor. Podrobné vysvětlení jejich funkčnosti naleznete v kapitole 2.1 Generátory z R(0, 1).

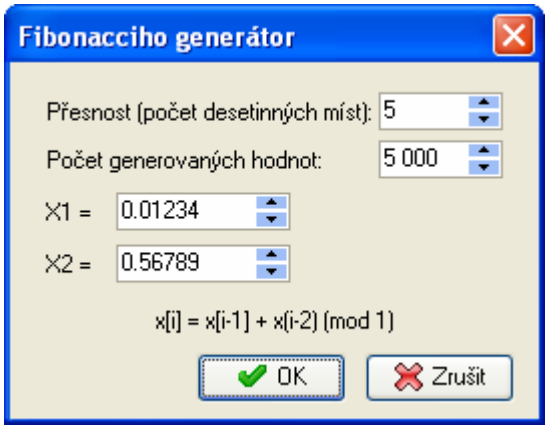
Každý z těchto generátorů potřebuje určité parametry, aby mohl vygenerovat patřičnou posloupnost pseudonáhodných hodnot. Proto po zavolání libovolného z nich je uživatel na tyto parametry nejprve dotázán. První dva parametry mají všechny generátory společné, a sice počet generovaných hodnot *n* a přesnost, s jakou se má v tomto případě počítat. Jedná se o počet desetinných, se kterými se bude pracovat a na něž budou zaokrouhlovány výsledky všech uživateli zobrazovaných operací. Výchozí hodnota je 5.

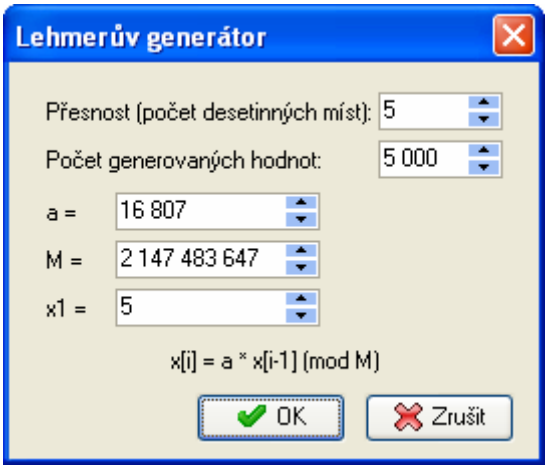
Další parametry generátorů jsou již individuální pro každý z nich. Konkrétně se jedná se o tyto parametry:

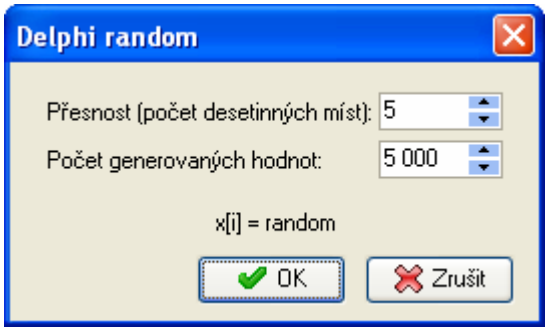
- Fibonacciho aditivní – x_1 a x_2, tedy první dva členy generované posloupnosti. Jejich hodnoty musí být v rozsahu (0; 1) a samy nejsou do výsledné posloupnosti zahrnuty. Obě hodnoty je vhodné zvolit tak, aby poslední číslice hodnoty byly nenulové.
- Lehmerův multiplikativní – *a*, M, x_1. *a* je konstanta, kterou je při generování násoben předchozí člen posloupnosti, *M* je maximální hodnota posloupnosti a x_1 je první člen posloupnosti, který však sám o době do ní není zahrnut. Všechny tyto parametry jsou celočíselné, neb na rozsah (0,1) jsou převedeny až poté

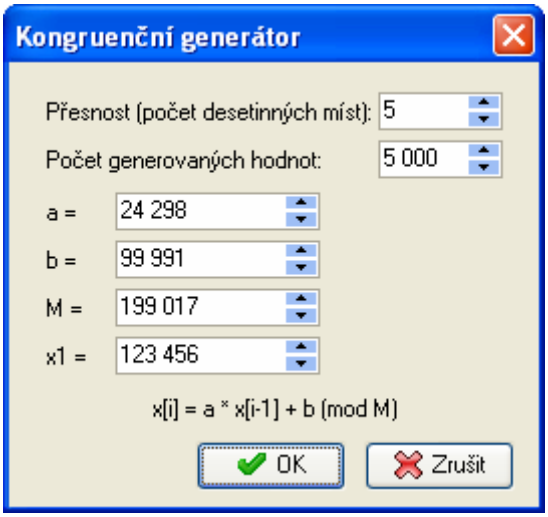
vydělením hodnotou M. Doporučené hodnoty parametrů jsou například a = 16907, M = 2^{31}-1 (ESSL).

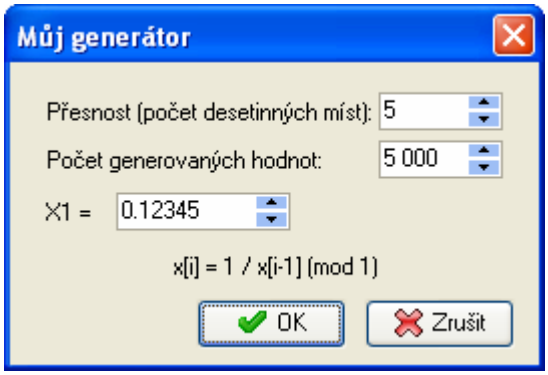
- Kongruenční smíšený – *a*, *b*, M, x_1. *a* je konstanta, kterou je při generování násoben předchozí člen posloupnosti, *b* je konstanta, která je k výsledku tohoto násobení přičtena, *M* je maximální hodnota posloupnosti a x_1 je první člen posloupnosti, který však sám o době do ní není zahrnut. Všechny tyto parametry jsou celočíselné, neb na rozsah (0,1) jsou převedeny až posléze vydělením hodnotou M.
- Delphi random – zde se zadávají pouze výše uvedené, všem generátorům společné hodnoty, tedy počet desetinných míst a *n*.
- Můj generátor – požaduje pouze výchozí hodnotu generátoru x_1. Tato musí být v rozsahu (0,1) a měla by mít co nejvíce nenulových desetinných míst dle zvolené přesnosti.









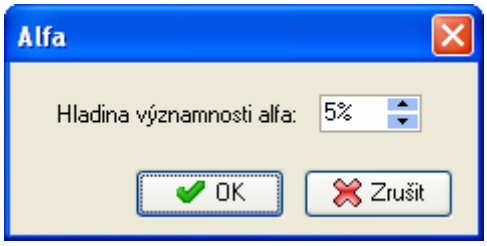


Všechny zde nastavované hodnoty jsou uloženy do souboru *Setup* nacházejícím se ve stejném adresáři jako samotná aplikace (*Generatory.exe*) a z něho jsou při dalším spuštění programu opět načteny.

3.3. Testování náhodnosti

Další hlavní funkcí programu jsou testy náhodnosti vygenerovaných hodnot. Ty se provádějí přes menu Testy, buď jednotlivě , nebo je lze také provést všechny najednou jediným kliknutím . Více o průběhu samotných testů naleznete v kapitole 2.2 Testy.

Před jejich spuštěním si také můžete libovolně nastavit hladinu významnosti α , tedy přípustnou pravděpodobnost, že dojde k chybnému zamítnutí testované hypotézy H_0. Tuto hodnotu lze nastavit v rozmezí od 1% do 99%, pouze v celých číslech.



3.4. Menu soubor

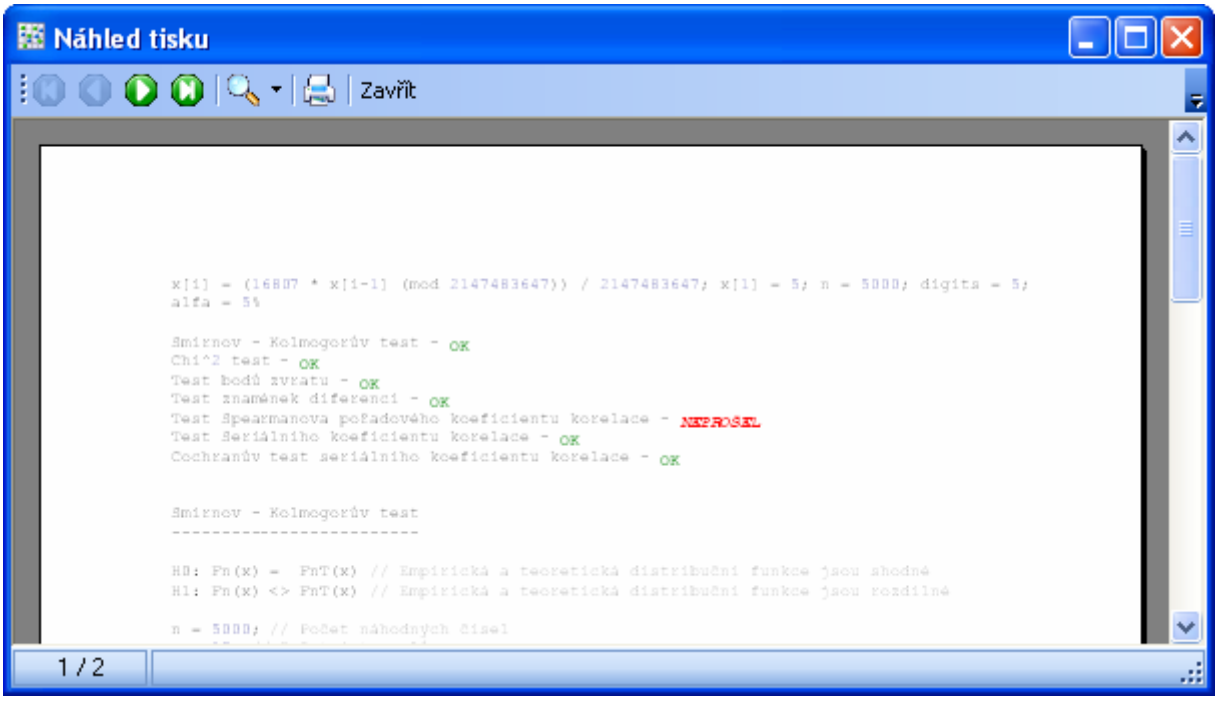
3.4.1. Práce se souborem

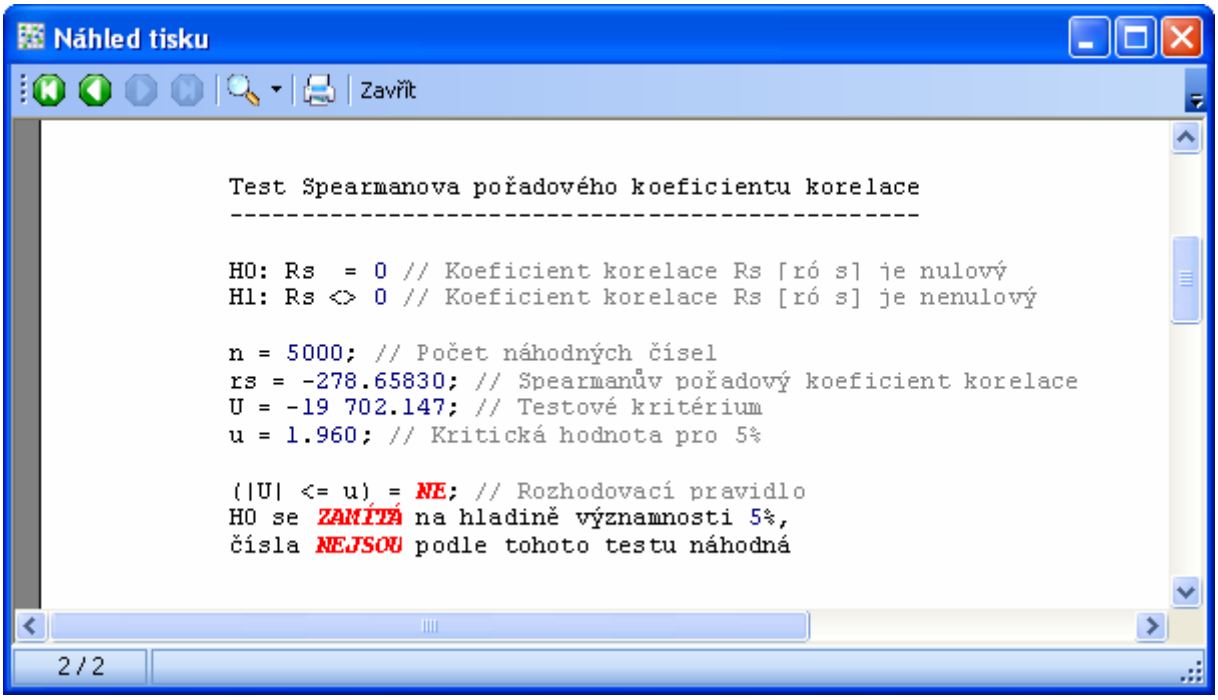
Vygenerované hodnoty, včetně všech testů na nich učiněných je možné uložit do samostatného souboru na disku a později je načíst . Tyto soubory mají koncovku *.gen*.

3.4.2. Tisk

Výsledky testů je také možné vytisknout na tiskárně. Vytištěny budou vždy všechny provedené testy, takže pokud chce uživatel vytisknout jen některé, musí provést výhradně jen je.

Po kliknutí funkce Tisk se otevře nejprve náhled tisku. Souhlasí-li uživatel se zobrazeným výstupem, který bude shodný s konečným tiskem, klikne zde na ikonu s tiskárnou , vybere tiskárnu a klikne na tisk.



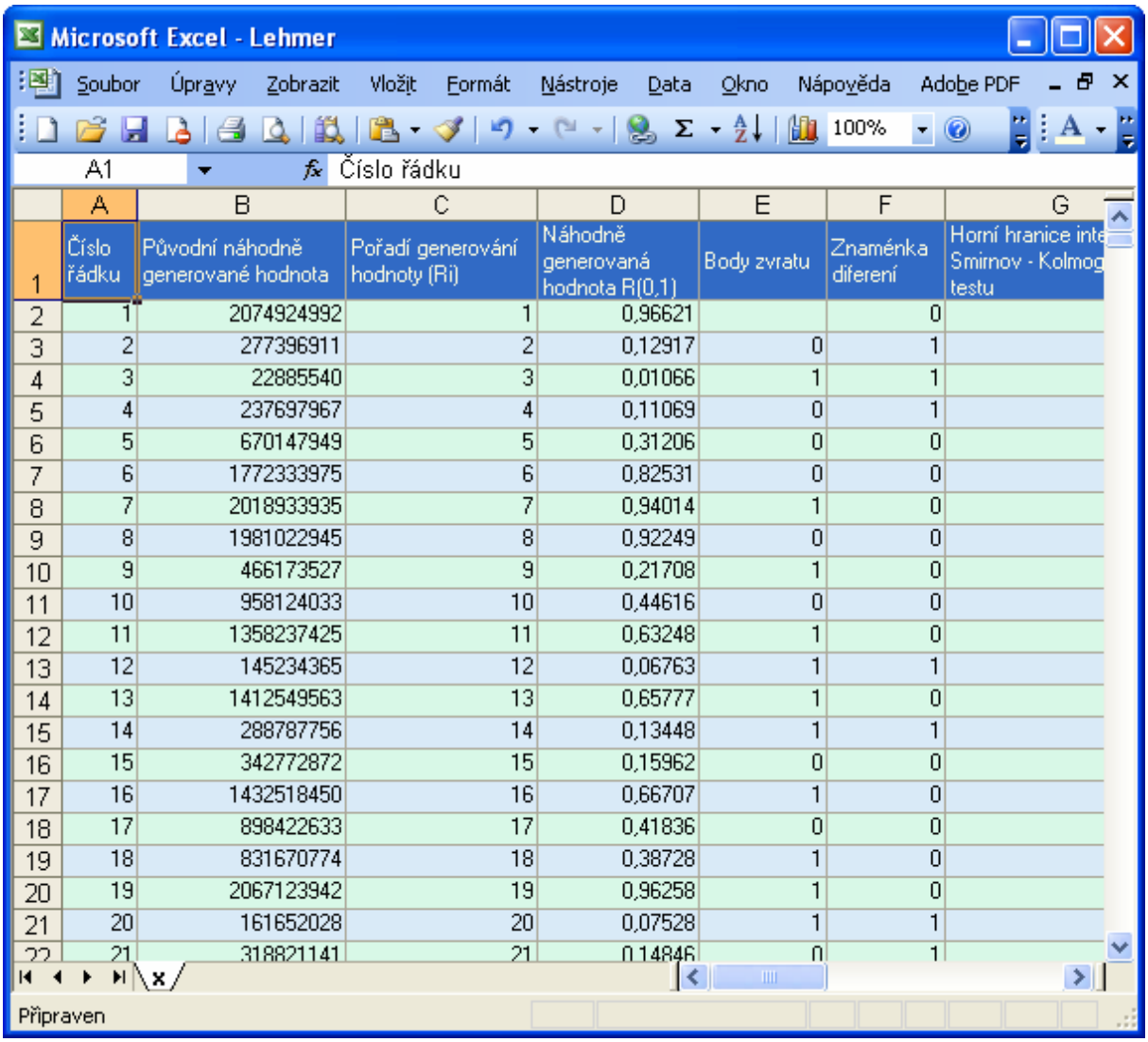


Pomocí ikon na horní liště je možné projít všechny stránky k tisku, zmenšit či zvětšit náhled, vytisknout jej a případně zavřít toto okno s náhledem tisku, aniž by k samotnému tisku vůbec došlo.

Obsah tisku je následující: nejprve je uveden vzorec, z něhož byly hodnoty vygenerovány, v němž jsou dosazeny již konkrétní hodnoty. Další parametry generátoru jsou vypsány u něho. Dále následuje souhrn výsledků všech uskutečněných testů. Za nimi pak jsou již vypsány průběhy všech těchto testů, včetně zápisu hypotéz, testových kritérií, kritických hodnot a výsledků těchto testů.

3.4.3. Export

Vygenerované hodnoty, a vůbec všechny hodnoty v tabulce, jejichž sloupce jsou aktuálně zobrazeny, lze vyexportovat do Microsoft Excelu. K tomu slouží buď funkce v menu Exportovat do Excelu, nebo je možné vybrané řádky v tabulce označit (vše se označí Ctrl+A), klávesovou zkratkou Ctrl+C je zkopírovat do schránky a v Excelu (či v kterémkoli jiném editoru) je poté vložit pomocí Ctrl+V.



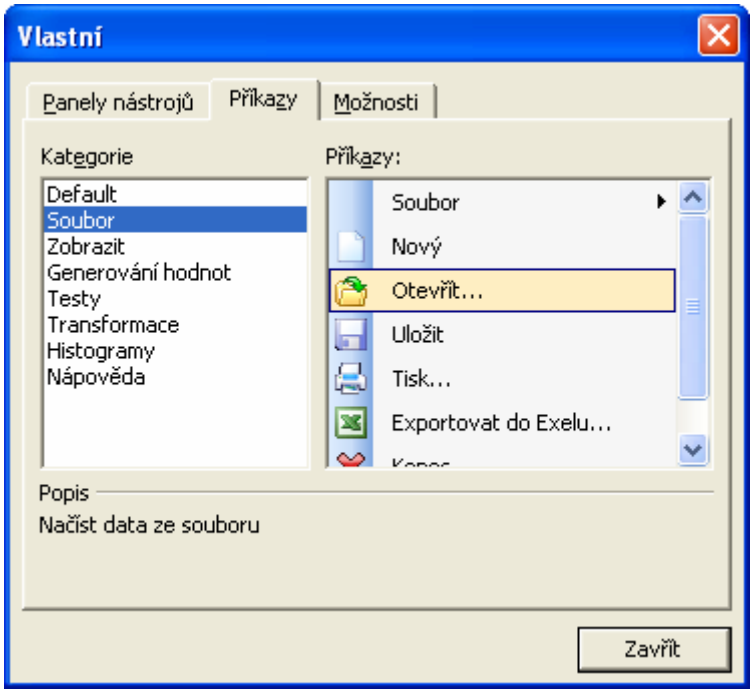
Číslo řádku	Původní náhodně generované hodnota	Pořadí generování hodnoty (Ri)	Náhodně generovaná hodnota R(0,1)	Body zvratu	Znaménka diferení	Horní hranice inte Smirnov - Kolmog testu
1	2074924992	1	0,96621		0	
2	277396911	2	0,12917	0	1	
3	22885540	3	0,01066	1	1	
4	237697967	4	0,11069	0	1	
5	670147949	5	0,31206	0	0	
6	1772333975	6	0,82531	0	0	
7	2018933935	7	0,94014	1	0	
8	1981022945	8	0,92249	0	0	
9	466173527	9	0,21708	1	0	
10	958124033	10	0,44616	0	0	
11	1358237425	11	0,63248	1	0	
12	145234365	12	0,06763	1	1	
13	1412549563	13	0,65777	1	0	
14	288787756	14	0,13448	1	1	
15	342772872	15	0,15962	0	0	
16	1432518450	16	0,66707	1	0	
17	898422633	17	0,41836	0	0	
18	831670774	18	0,38728	1	0	
19	2067123942	19	0,96258	1	0	
20	161652028	20	0,07528	1	1	
21	318821141	21	0,14846	0	1	

3.5. Ovládání menu

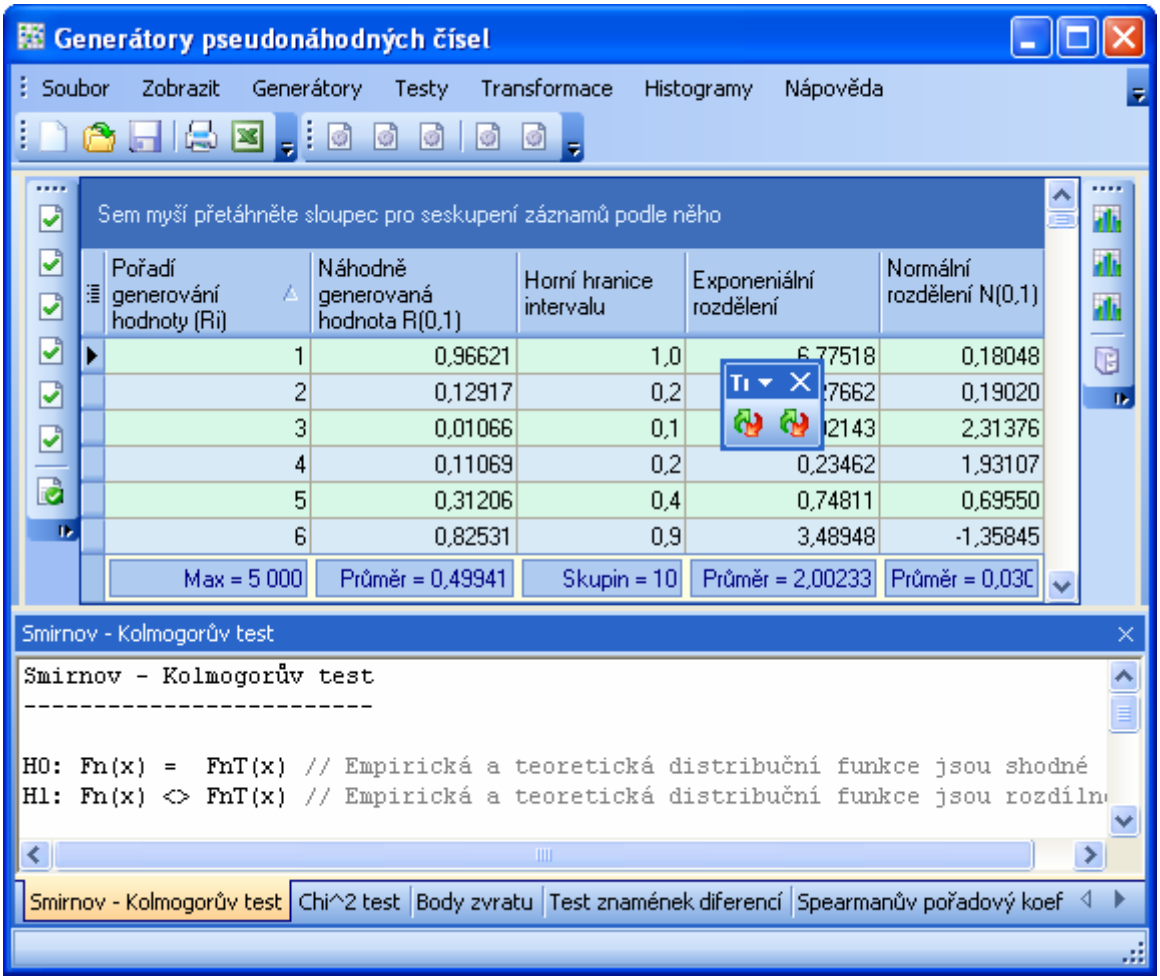
Menu programu je naprosto dynamické a proto si jej každý uživatel může přizpůsobit dle svého vkusu a potřeb. Skládá se z hlavního menu (Soubor, Zobrazení, Generátory, Testy, Transformace, Histogramy, Nápověda) a panelů nástrojů. Standardně je zobrazen pouze panel nástrojů Soubor. Ostatní je možné zviditelnit zaškrtnutím přes hlavní menu Zobrazit – Panely nástrojů.

Všechny jednotlivé panely nástrojů je možné myší uchopit za jejich levý okraj a přetažením za stále stisknutého levého tlačítka myši jej přetáhnout na libovolné místo v okně i mimo něj do samostatného podokna. Jednotlivé ikony panelů nástrojů je možno také skrývat či zobrazovat. Po kliknutí na pravý okraj příslušného panelu nástrojů a ve zobrazeném vysouvacím menu lze zvolit požadované ikony.

Je také možné úplně měnit strukturu jednotlivých panelů nástrojů i hlavního menu, či vytvářet vlastní. Po kliknutí na menu Zobrazit – Panely nástrojů – Vlastní, nebo po kliknutí pravým tlačítkem myši do prázdného prostoru menu a volbou položky Vlastní.



V podokně, které se otevře lze vytvářet nové panely nástrojů, myší do nich (či z nich) přesouvat ikony (příkazy) ze všech kategorií a v možnostech nastavit obecné chování celého menu.

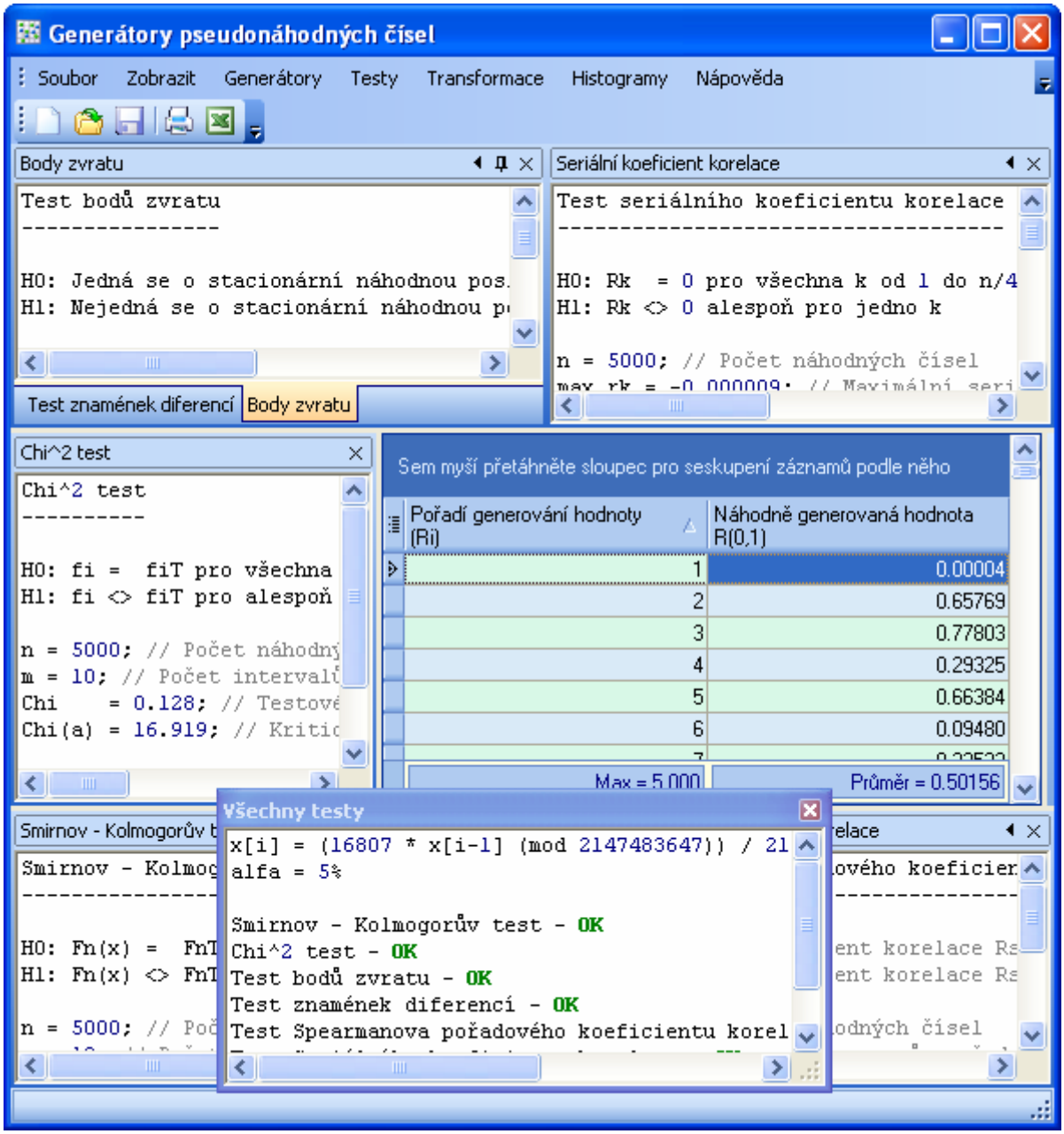


Všechny tyto změny v menu jsou při vypínání programu automaticky uloženy do souboru *settings.dat* nacházejícím se ve stejném adresáři jako samotná aplikace (*Generatory.exe*) a z něho jsou při dalším spuštění programu opět načteny. Smazáním tohoto souboru lze tedy obnovit výchozí nastavení programu.

3.6. Ovládání oken s výsledky testů

Okna s výsledky testů se standardně nacházejí ukotvené ve spodní části hlavního okna a lze mezi nimi přepínat pomocí záložek. S každým z těchto oken lze ovšem pracovat zcela individuálně.

Všechna okna naráz je možné myší uchopit za horní lištu s názvem právě aktivního okna a jejím tažením je uvolnit z ukotvení v hlavním okně. Každé okno zvlášť lze pak uchopit přímo za jeho záložku a opět jej myší přetáhnout do samostatného okna. S těmito plovoucími okny je pak možné volně pohybovat po celé ploše obrazovky, opět je ukotvovat na všech čtyřech okrajích hlavního okna a také je seskupovat navzájem, umísťovat je vedle sebe nebo nad do sebe a listovat v nich pomocí záložek.



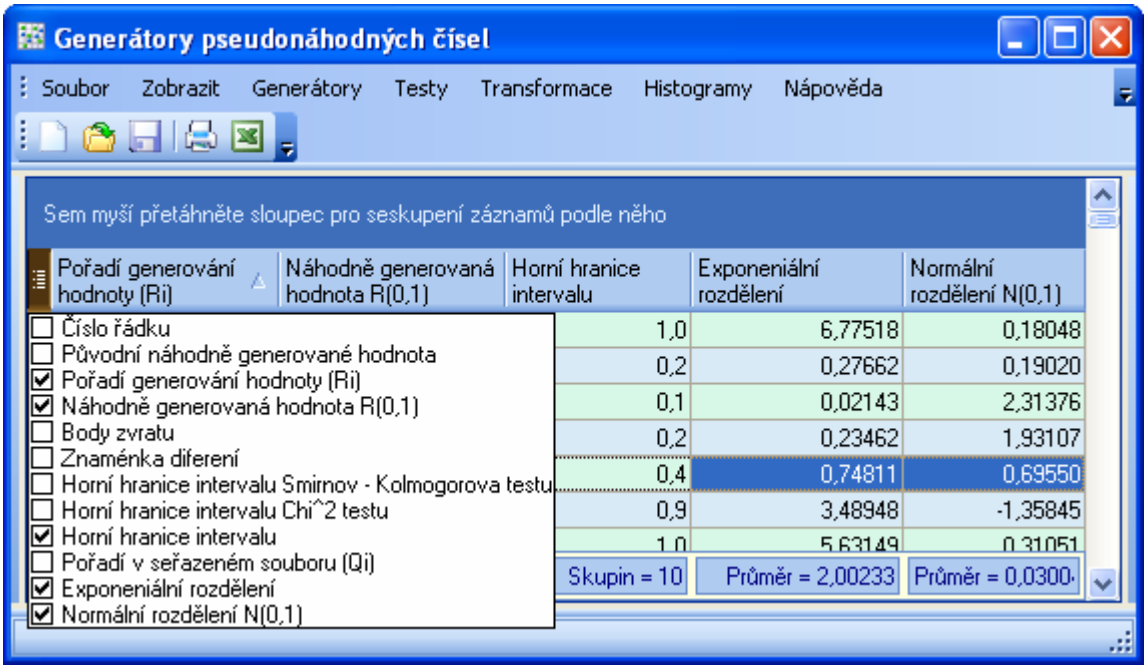
Tato okna je také možné zavřít (skrýt) kliknutím na křížek v jejich horním pravém rohu, případně měnit jejich viditelnost v menu Zobrazit.

Všechny tyto změny v podoknech s výsledky testů jsou při vypínání programu automaticky uloženy do souboru *settings.dat* (stejného jako je tomu u nastavení menu) a z něho jsou při dalším spuštění programu opět načteny.

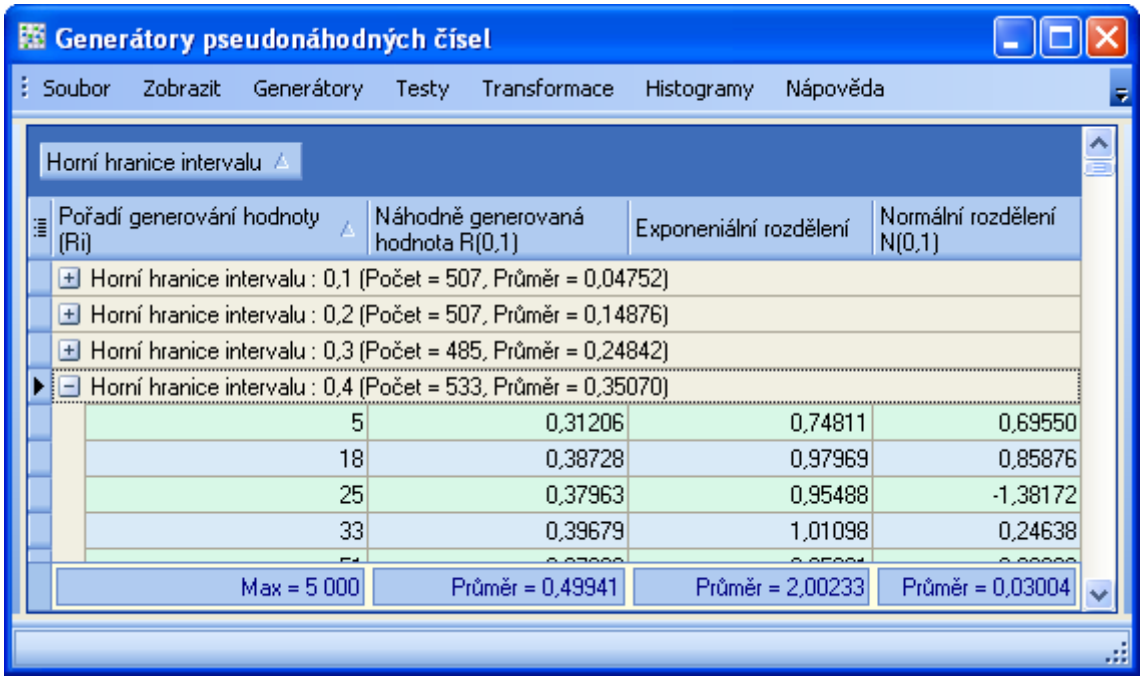
3.7. Práce s tabulkou

Samotná tabulka zobrazující vygenerovanou posloupnost pseudonáhodných čísel a z nich odvozených hodnot a pomocných výpočtů má celou řadu dalších funkcí. Jmenovitě jde o skrývání a zobrazování sloupců, měnění šířky těchto sloupců, řazení hodnot, seskupování řádků, rychlé vyhledávání, sumy a průměry a kopírování hodnot do schránky. Tyto funkce jsou dostupné těmito způsoby:

- Skrývání a zobrazování sloupců probíhá po kliknutí na záhlaví úplně levého sloupce (indikátoru) v menu, které se hned poté objeví. Zaškrtnutím či odškrtnutím políčka před názvem sloupce se pak mění jeho viditelnost.



- Měnění šířky sloupců se provádí stisknutím levého tlačítka myši na hranici dvou sloupců a následným tažením doleva či doprava až na požadované rozměry obou sousedních sloupců.
- K seřazení hodnot v daném sloupci dojde po kliknutí na jeho záhlaví. Ikona, která se v něm záhy objeví říká, je-li seřazení vzestupné či sestupné. Po opětovném kliknutí na záhlaví již seřazeného sloupce se směr tohoto řazení změní. Je-li třeba řadit podle více sloupců současně, stačí je postupně vybrat kliknutím na jejich záhlaví se současným držením klávesy Shift, v pořadí v jakém si přejeme data řadit. Kliknutím na záhlaví jediného seřazeného sloupce se současným stisknutím Ctrl je řazení vypnuto úplně.
- Seskupení řádků podle stejných hodnot je možné vytvořit přetažením příslušného záhlaví sloupce na horní panel hned nad tabulkou. Je možné sem přetáhnout i více sloupců současně. Řádky se stejnými hodnotami v daném sloupci jsou pak seskupeny pod otevírací řádek zahrnující jejich počet a v některých případech i průměr.

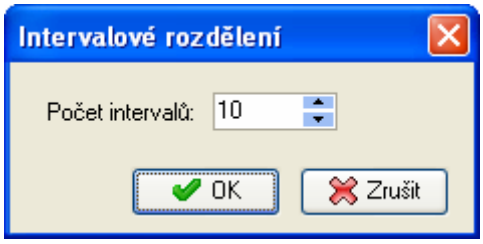


- Rychlé vyhledávání hodnoty v určitém sloupci probíhá tak, že se nejprve jedinou nevybarvenou buňkou označeného aktuálního řádku vybere sloupec ve kterém chceme hodnotu vyhledávat a pak se již jen začne klasicky psát. Ukazatel aktuálního řádku je automaticky okamžitě přesunut na řádek začínající psaným textem, který je v něm označen žlutým podbarvením.

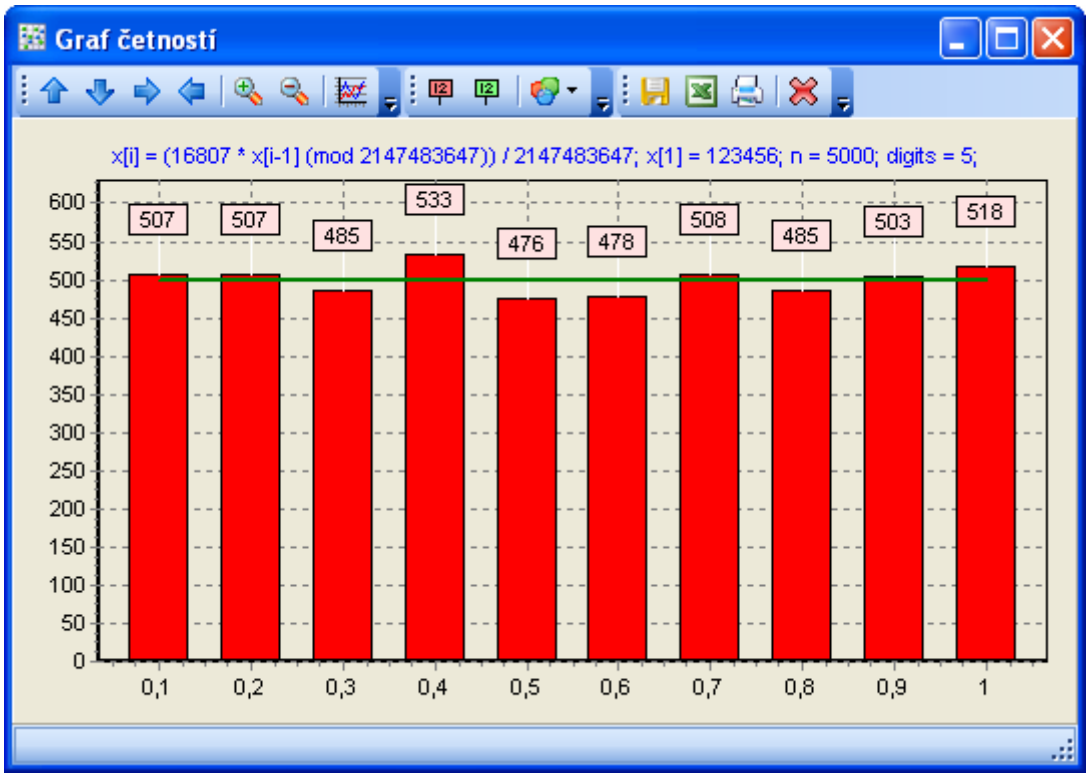
- Sumy a průměry (případně i jiné statistiky) jsou automaticky neustále zobrazeny vždy v zápatí daného sloupce a zobrazují jednu ze statistiky, pro daný sloupec nejpodstatnější. Její význam je vysvětlen textem před ní.
- Kopírování hodnot do schránky Windows proběhne po označení řádků, jejichž data chceme kopírovat a následném stisku kláves Ctrl+C. Poté lze takto zkopírovaná data vložit v podstatě do jakéhokoli textového či tabulkového editoru stiskem kláves Ctrl+V.

3.8. Okno s grafem četností

Okno s grafem četností (histogramem) lze zobrazit pro rozdělení R(0, 1), E(0, δ) a N(0, 1). Prvním krokem pro zobrazení zvoleného histogramu je zadání počtu intervalů, do kterých bude rozmezí v němž se vygenerované hodnoty pohybují rozděleno. Určení rozmezí je popsáno v kapitole 2.4 Histogramy.

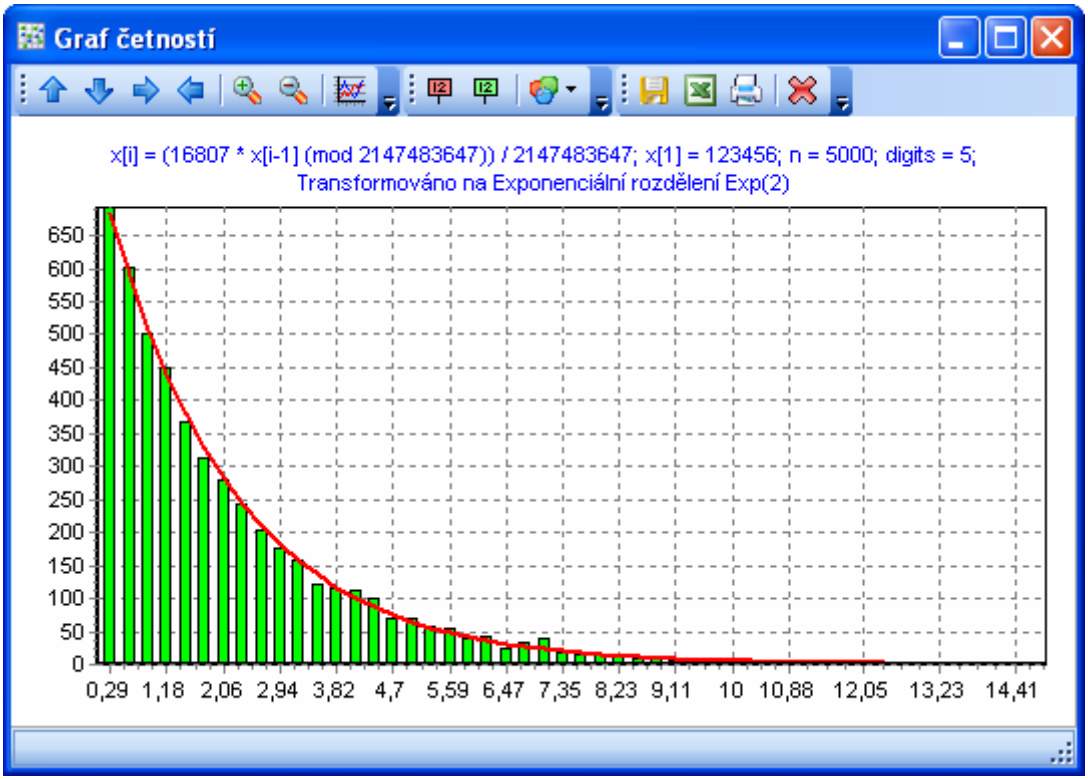


Po zvolení počtu intervalů je již rovnou zobrazen výsledný histogram.

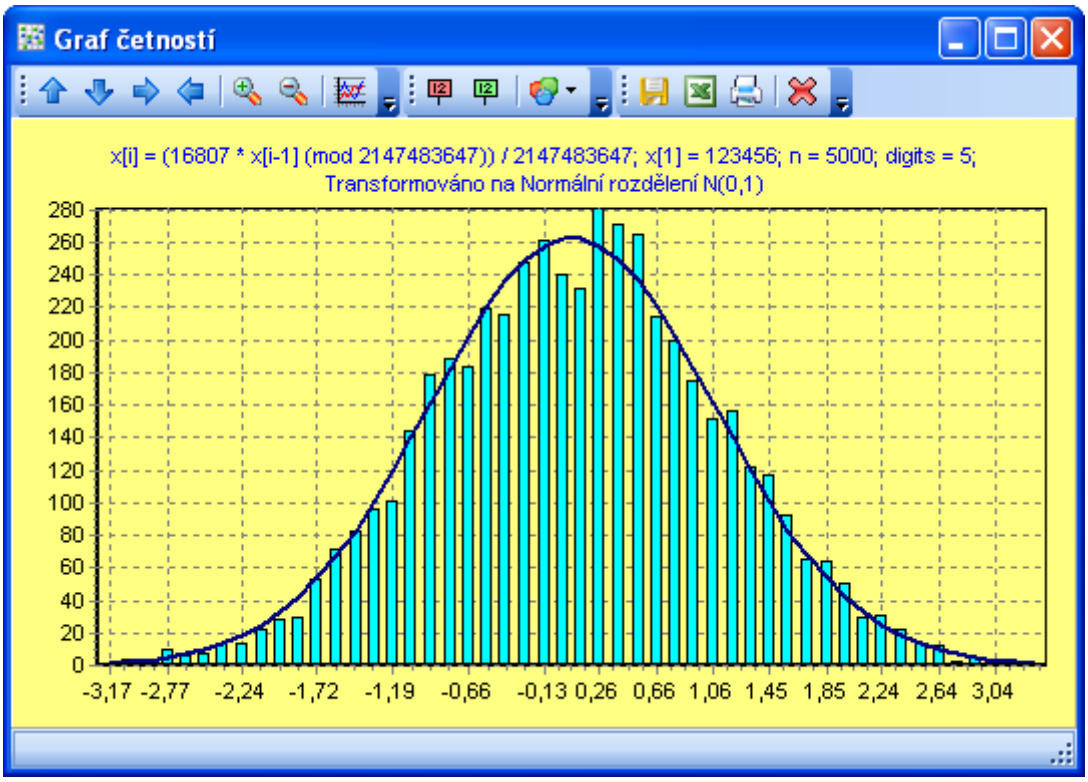


Nahoře se standardně nacházejí tři panely nástrojů, jejichž ovládání je stejné jako je tomu popsáno v kapitole 3.5 Ovládání menu.

Samotný graf lze s pomocí nástrojů na těchto panelech různě měnit a přizpůsobovat požadovanému zobrazení. Je jej tedy možné posouvat do všech směrů, zvětšovat, zmenšovat, případně vrátit do výchozího zobrazení. Posun lze také provádět stisknutím pravého tlačítka myši v oblasti grafu a tažením požadovaným směrem. Zvětšovat jde také vyznačením požadované oblasti v grafu za pomoci levého tlačítka myši.



Dále je možné zobrazit nebo skrýt konkrétní počty empirických hodnot v jednotlivých intervalech, či jejich počty teoretické. Také je možné libovolně měnit barvu pozadí grafu, sloupců empirických četností a křivky teoretických četností.



Graf lze uložit do vektorového obrázku wmf, exportovat jeho zdrojová data do MS Excelu, či graf přímo vytisknout.

4. Použité zdroje

4.1. Technologie

Program algoritmy byl vytvořen v programovacím prostředí Borland Delphi 7. Kromě standardních komponent byly využity komponenty Developer Express.

V programu Generátory jsou použity tyto převzaté funkce (včetně zdroje):

- NormSDist(z) - http://www.geocities.com/WallStreet/9245/vba6.htm
- NormSInv(p) - http://www.source-code.biz/snippets/vbasic/9.htm

Funkce *ChiInv(p, df)* a *TInv(p, df)* jsou řešeny obsáhlými tabulkami přesných hodnot vygenerovanými v MS Excelu a případné v nich chybějící hodnoty jsou dopočítávány na základě průměrných odhadů z hodnot ostatních.

4.2. Literatura

Program byl vytvořen na základě textů přednášek kurzu STOMO – Stochastické modelování na Fakultě informatiky a managementu Univerzity Hradec Králové.