

# Vícerozměrné statistické metody

Vícerozměrné statistické rozdělení a testy, operace s vektory a maticemi

Jiří Jarkovský, Simona Littnerová

# Vícerozměrné statistické metody

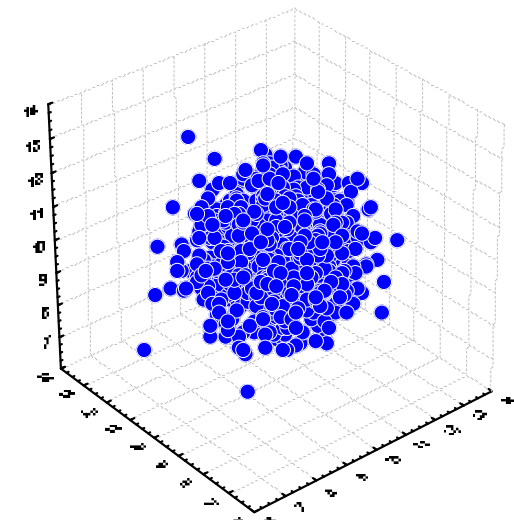
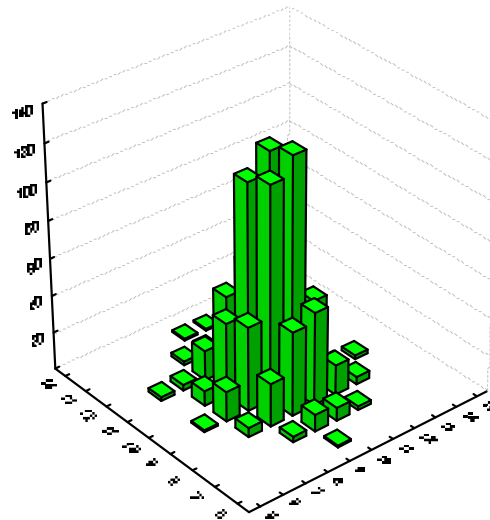
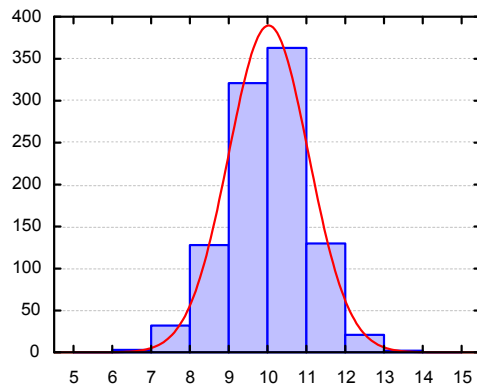
Vícerozměrné statistické rozdělení a testy

# Význam rozdělení ve vícerozměrném prostoru

- Použitelnost mnohých klasických statistických metod a postupů vyžaduje předpoklad o normálním rozdělení sledovaných proměnných.
- Podmínka normality vyplývá z toho, že metody založené na tomto předpokladu mohou využít kompletní matematický aparát schovaný za danou statistickou metodou. Tyto metody jsou také relativně snadno pochopitelné a se získanými řešeními se dobře pracuje.
- Ovšem v reálném světě bývá obtížné předpoklad o normálním rozložení dodržet, v mnohých oblastech přírodních a mnohdy i technických oborů není tento předpoklad samozřejmostí.
- Předpokládejme však normalitu a předpoklad o jedné normálně rozložené náhodné proměnné můžeme rozšířit na předpoklad simultánního normálního rozložení dvou a více náhodných proměnných. Některé vícerozměrné postupy a metody vycházejí z předpokladu vícerozměrného normálního rozdělení. Vícerozměrné normální rozdělení může být také velmi užitečnou aproximací různých jiných simultánních rozdělení.

# Rozdělení dat ve vícerozměrném prostoru

- Klasická jednorozměrná rozdělení a testy mají svůj protějšek ve vícerozměrném prostoru; analogii lze nalézt v podstatě ke každému z nich
- Obrázky zobrazují 1D, 2D a 3D normální rozdělení
- Při popisu vícerozměrných dat se uplatňují stejné charakteristiky jako při popisu dat jednorozměrných, nicméně nyní již ne jako jedno číslo, ale jako vektor



# Pojmy popisu vícerozměrných rozdělání

- Centroid
  - průměr nebo medián nebo jiná charakteristika středu spočtená pro všechny dimenze
  - Je popsán vektorem charakteristik středu
  - Používán jako popisná statistika nebo i jako součást výpočtu shlukovacích metod
  - „virtuální střed vícerozměrného shluku“
- Medoid
  - Medoid je reprezentativní objekt datového souboru nebo shluku v datech, jehož průměr podobnosti od všech ostatních objektů v datech nebo ve shluku je minimální.
  - Medoid má podobný význam jako průměr nebo centroid, jen je vždy reprezentován reálným objektem z datového souboru.
  - Medoid bývá nejčastěji používán tam, kde není definován průměr nebo centroid (např. tří a vícerozměrný prostor). Tento termín se používá při shlukové analýze.

# Vícerozměrné charakteristiky rozdělení

- Základní charakteristikou vícerozměrného rozdělení je vektor středních hodnot (vektor průměrů)

$$E(\mathbf{X}) = \begin{bmatrix} E(X_1) \\ E(X_2) \\ \vdots \\ E(X_p) \end{bmatrix}$$

- a kovariační matice

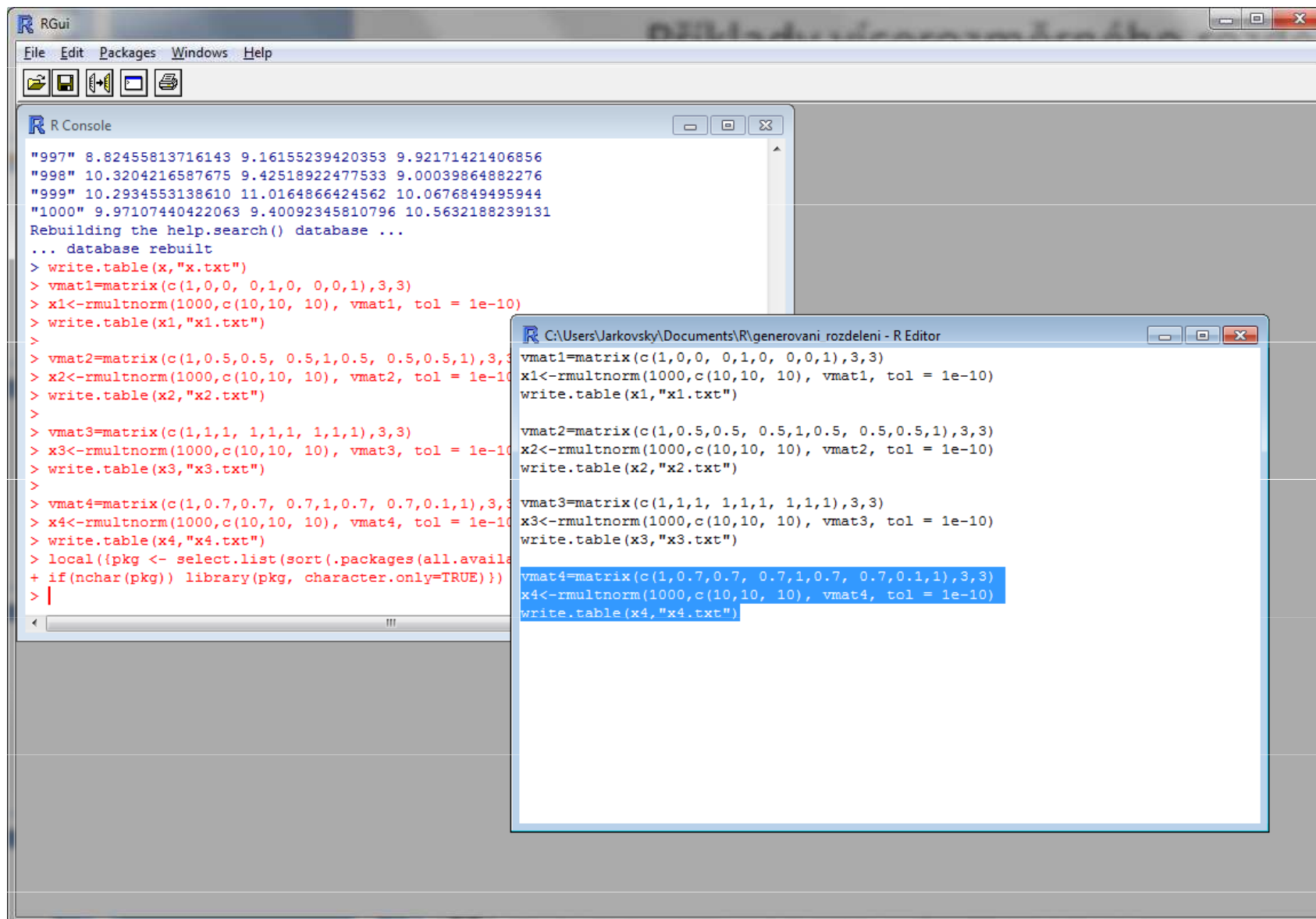
$$\Sigma = \text{var}(\mathbf{X}) = \text{cov}(\mathbf{X}) = \begin{pmatrix} \sigma_1^2 & \sigma_1\sigma_2 & \cdots & \sigma_1\sigma_p \\ \sigma_2\sigma_1 & \sigma_2^2 & \cdots & \sigma_2\sigma_p \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_p\sigma_1 & \sigma_p\sigma_2 & \cdots & \sigma_p^2 \end{pmatrix}$$

- kde je  $\sigma_{ij}$  kovariance dvou náhodných veličin, tj.

$$\sigma_{ij} = \text{cov}(X_i, X_j) = E(X_i - E(X_i))(X_j - E(X_j))$$

# Příklady vícerozměrného rozdělení

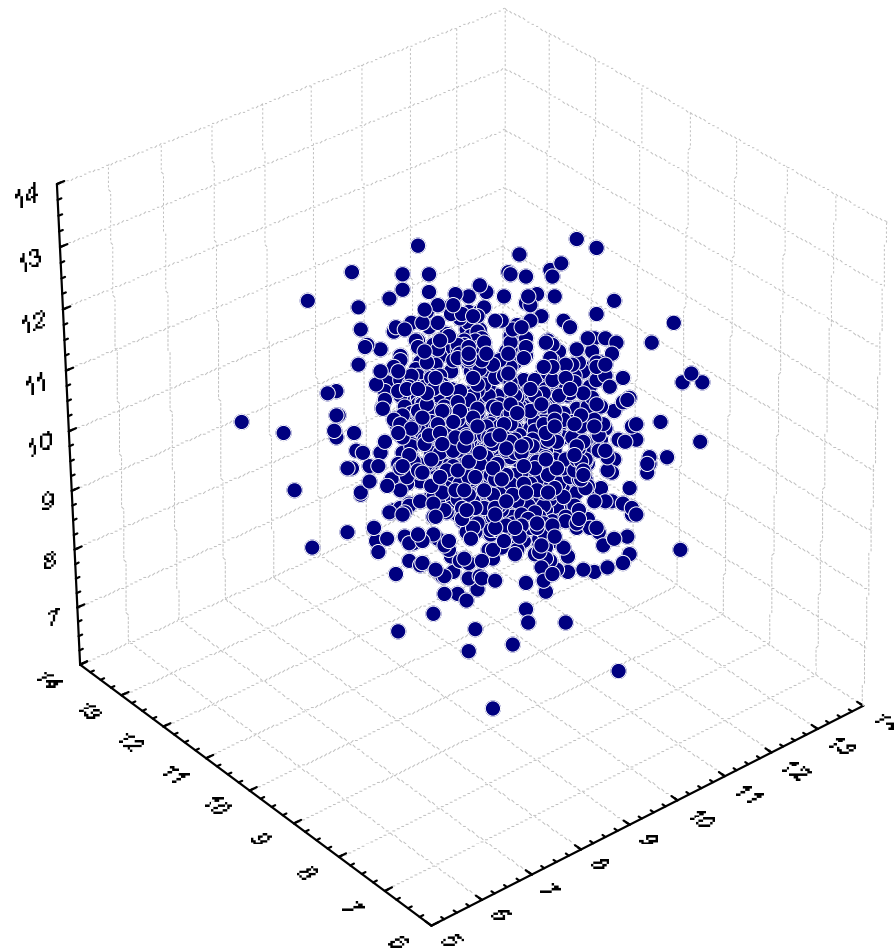
- R – knihovna MSBVAR



```
RGui
File Edit Packages Windows Help
R Console
"997" 8.82455813716143 9.16155239420353 9.92171421406856
"998" 10.3204216587675 9.42518922477533 9.00039864882276
"999" 10.2934553138610 11.0164866424562 10.0676849495944
"1000" 9.97107440422063 9.40092345810796 10.5632188239131
Rebuilding the help.search() database ...
... database rebuilt
> write.table(x,"x.txt")
> vmat1=matrix(c(1,0,0, 0,1,0, 0,0,1),3,3)
> x1<-rmultnorm(1000,c(10,10, 10), vmat1, tol = 1e-10)
> write.table(x1,"x1.txt")
>
> vmat2=matrix(c(1,0.5,0.5, 0.5,1,0.5, 0.5,0.5,1),3,3)
> x2<-rmultnorm(1000,c(10,10, 10), vmat2, tol = 1e-10)
> write.table(x2,"x2.txt")
>
> vmat3=matrix(c(1,1,1, 1,1,1, 1,1,1),3,3)
> x3<-rmultnorm(1000,c(10,10, 10), vmat3, tol = 1e-10)
> write.table(x3,"x3.txt")
>
> vmat4=matrix(c(1,0.7,0.7, 0.7,1,0.7, 0.7,0.1,1),3,3)
> x4<-rmultnorm(1000,c(10,10, 10), vmat4, tol = 1e-10)
> write.table(x4,"x4.txt")
> local({pkg <- select.list(sort(.packages(all.available)
+ if(nchar(pkg) library(pkg, character.only=TRUE))})
> |
C:\Users\Jarkovsky\Documents\R\generovani rozdeleni - R Editor
vmat1=matrix(c(1,0,0, 0,1,0, 0,0,1),3,3)
x1<-rmultnorm(1000,c(10,10, 10), vmat1, tol = 1e-10)
write.table(x1,"x1.txt")
vmat2=matrix(c(1,0.5,0.5, 0.5,1,0.5, 0.5,0.5,1),3,3)
x2<-rmultnorm(1000,c(10,10, 10), vmat2, tol = 1e-10)
write.table(x2,"x2.txt")
vmat3=matrix(c(1,1,1, 1,1,1, 1,1,1),3,3)
x3<-rmultnorm(1000,c(10,10, 10), vmat3, tol = 1e-10)
write.table(x3,"x3.txt")
vmat4=matrix(c(1,0.7,0.7, 0.7,1,0.7, 0.7,0.1,1),3,3)
x4<-rmultnorm(1000,c(10,10, 10), vmat4, tol = 1e-10)
write.table(x4,"x4.txt")
```

# Příklad vícerozměrného rozdělení I

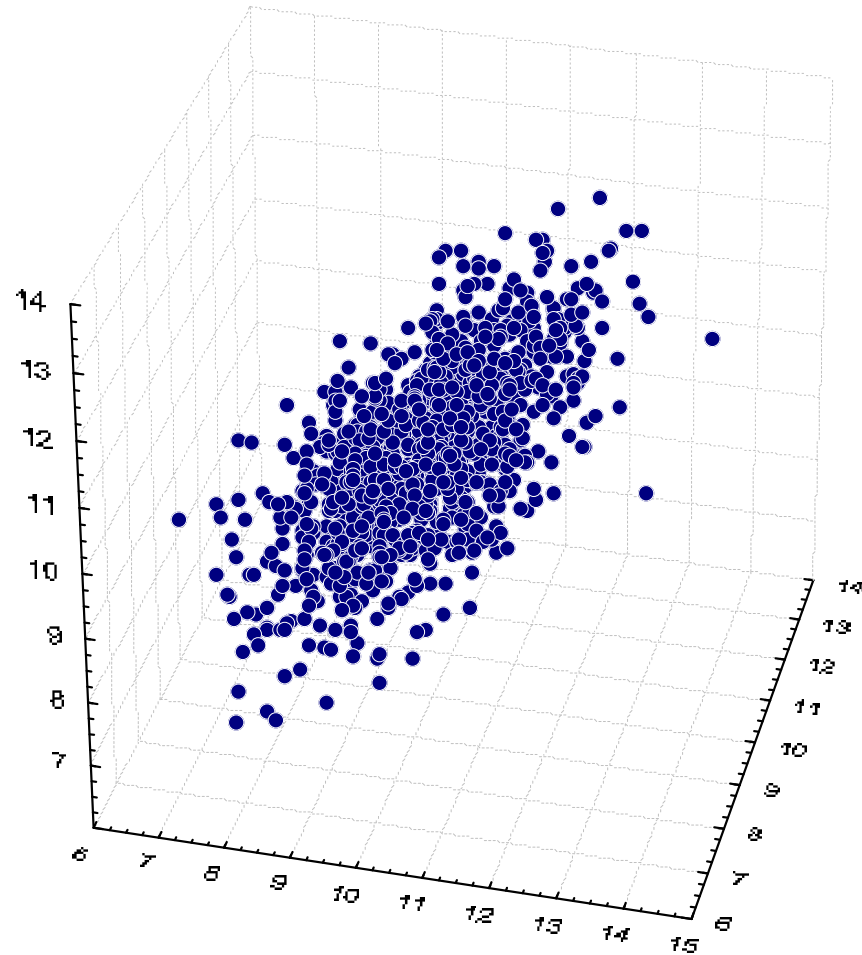
```
vmat1=matrix(c(1,0,0, 0,1,0, 0,0,1),3,3)  
x1<-rmultnorm(1000,c(10,10, 10), vmat1, tol = 1e-10)  
write.table(x1,"x1.txt")
```





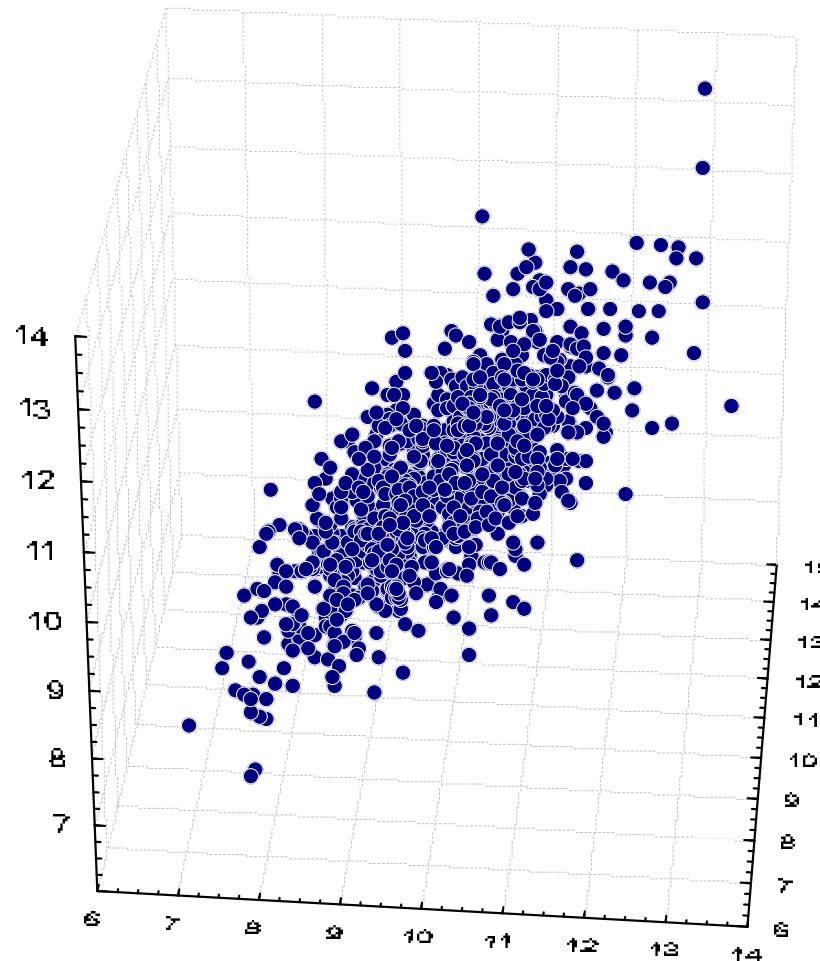
# Příklad vícerozměrného rozdělení II

```
vmat2=matrix(c(1,0.5,0.5, 0.5,1,0.5, 0.5,0.5,1),3,3)  
x2<-rmultnorm(1000,c(10,10, 10), vmat2, tol = 1e-10)  
write.table(x2,"x2.txt")
```



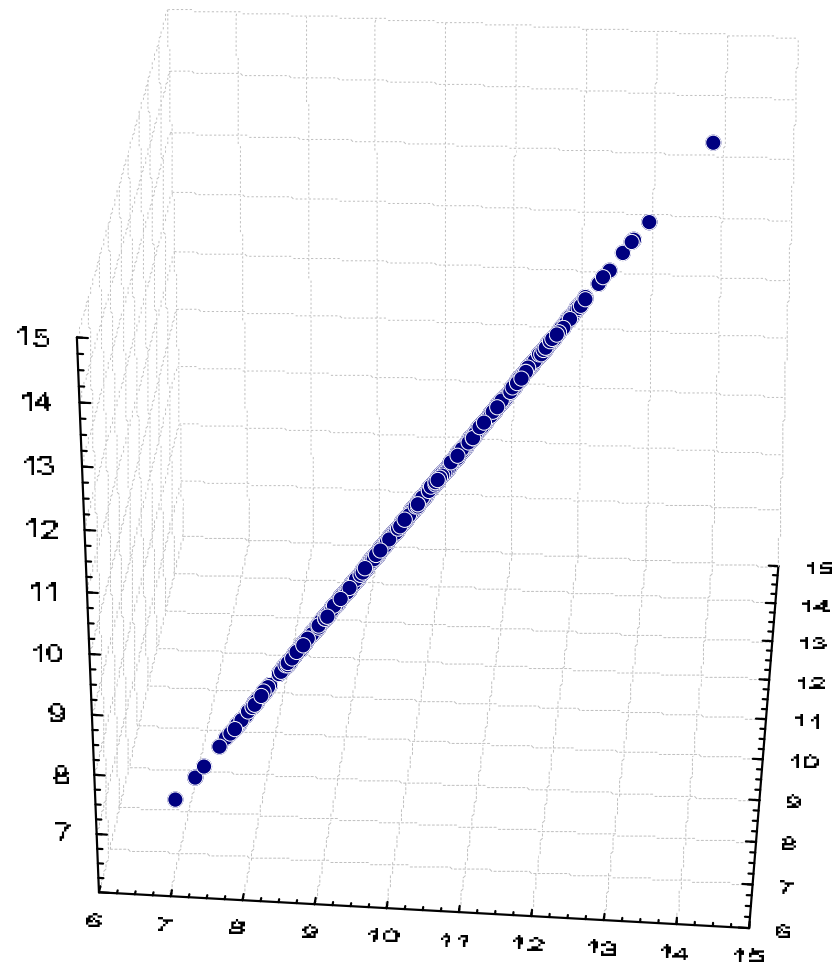
# Příklad vícerozměrného rozdělení III

```
vmat4=matrix(c(1,0.7,0.7, 0.7,1,0.7, 0.7,0.1,1),3,3)  
x4<-rmultnorm(1000,c(10,10, 10), vmat4, tol = 1e-10)  
write.table(x4,"x4.txt")
```



# Příklad vícerozměrného rozdělení IV

```
vmat3=matrix(c(1,1,1, 1,1,1, 1,1,1),3,3)  
x3<-rmultnorm(1000,c(10,10, 10), vmat3, tol = 1e-10)  
write.table(x3,"x3.txt")
```



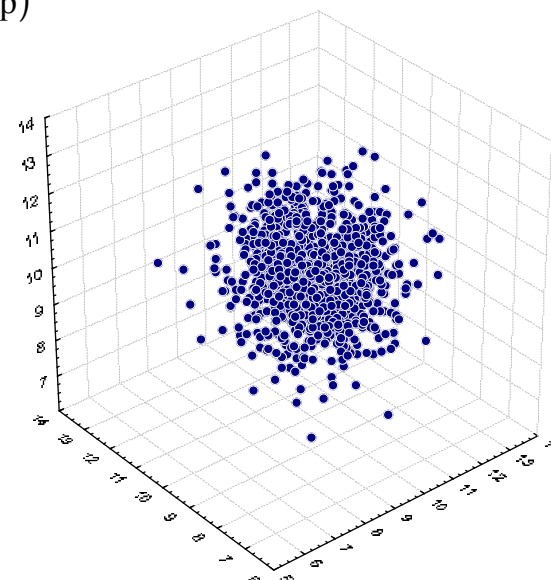
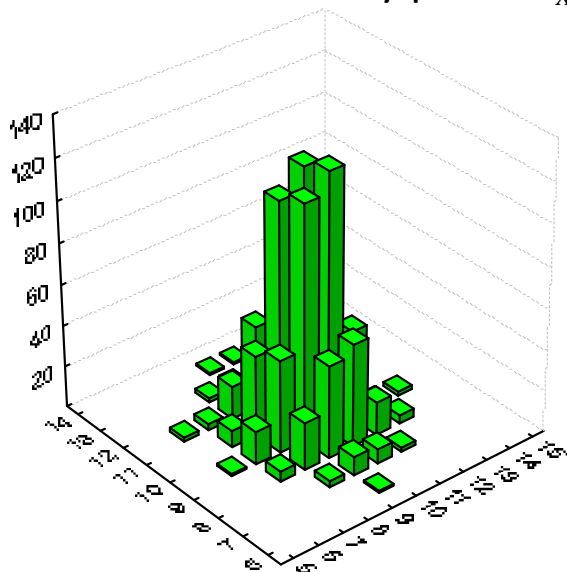
# Wishartovo rozdělení

- Wishartovo rozdělení je vícerozměrným zobecněním chi-square rozdělení
- Při odvození některých důležitých algoritmů ve vícerozměrné statistické analýze se uplatňuje dále uvedená vlastnost Wishartova rozdělení.
- Součet nezávislých náhodných matic s Wishartovým rozdělením se shodnou střední hodnotou je rovněž Wishartovo rozdělení se stejnou střední hodnotou, přičemž stupně volnosti se sčítají.

$$\left. \begin{array}{l} \mathbf{A} = \mathbf{A}_1 + \mathbf{A}_2 + \dots + \mathbf{A}_H \\ \mathbf{A}_h \sim W_p(v_h, \Sigma), h = 1, 2, \dots, H \end{array} \right\} \longrightarrow \mathbf{A} \sim W_p\left(\sum_{h=1}^H v_h, \Sigma\right)$$

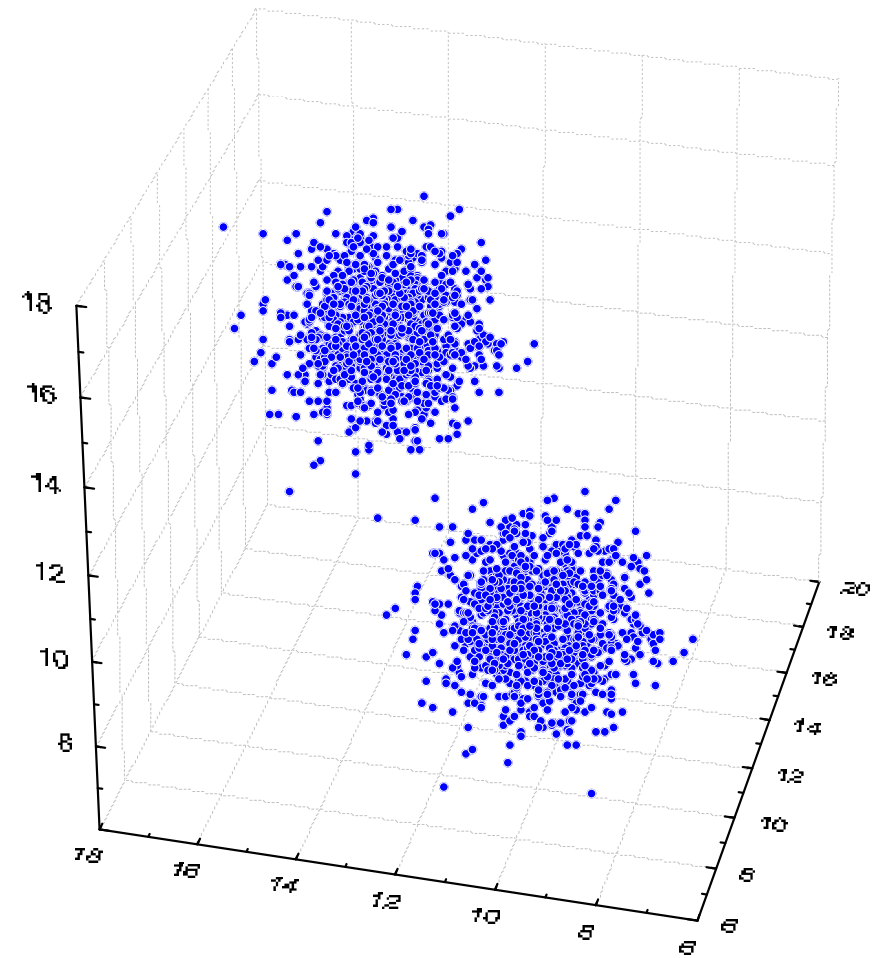
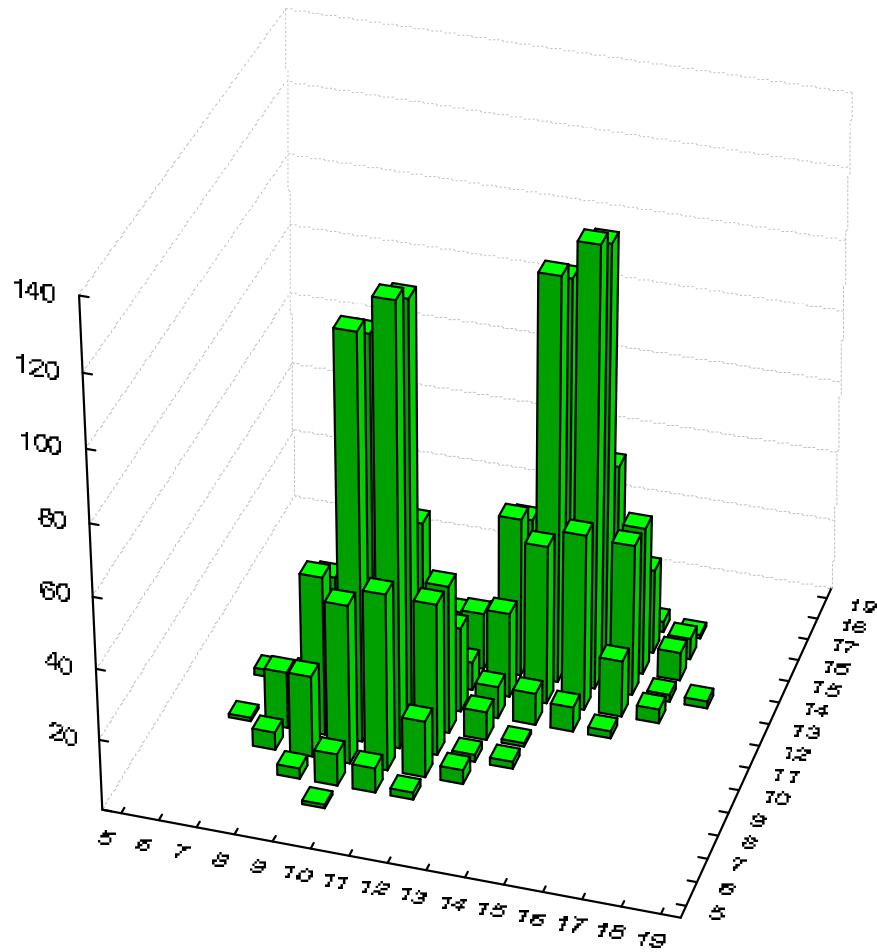
# Hotellingovo rozdělení

- Jedná se o zobecnění t- rozdělení pro  $p$ -rozměrný prostor
- Uvažujme regulární čtvercovou matici  $A$   $p$ -tého řádu a rozdělením  $W_p(\nu, \Sigma)$  a na  $A$  nezávislý  $p$ -položkový vektor  $\mathbf{a}$  s rozdělením  $N_p(\mathbf{0}_p, \Sigma/c)$  Potom kvadratická forma  $Q_1 = c \mathbf{a}^T A^{-1} \mathbf{a}$  má Hotellingovo rozdělení  $T^2(p, \nu - p + 1)$ .
- V jednorozměrném normálním rozdělení se při testování hypotéz o střední hodnotě používá statistika (jednovýběrový t-test)  $X \sim N(\mu, \sigma^2) \longrightarrow \frac{\bar{x} - \mu}{\sqrt{\frac{s^2(x)}{n}}} \sim t(n-1)$
- Druhou mocninu této statistiky můžeme upravit a zapsat ve tvaru  $t^2 = n(\bar{x} - \mu)[s^2(x)]^{-1}(\bar{x} - \mu)$  Tento výraz odpovídá  $p$ -rozměrné statistice, vhodné k úsudku o  $\mu$ , která má Hotellingovo rozdělení  $T^2$  s  $p$  a  $n-p$  stupni volnosti, jedná se tedy o zobecnění t- rozdělení pro  $p$ -rozměrný prostor. Můžeme tedy psát  $\mathbf{x} \sim N_p(\mu, \Sigma) \longrightarrow n(\mathbf{x} - \mu)^T S^{-1} \sim T^2(p, n - p)$

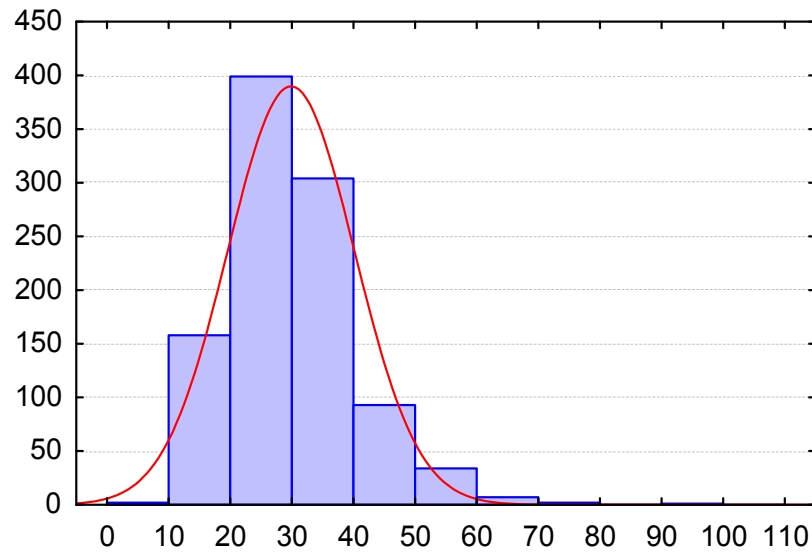


# Normalita ve vícerozměrném prostoru

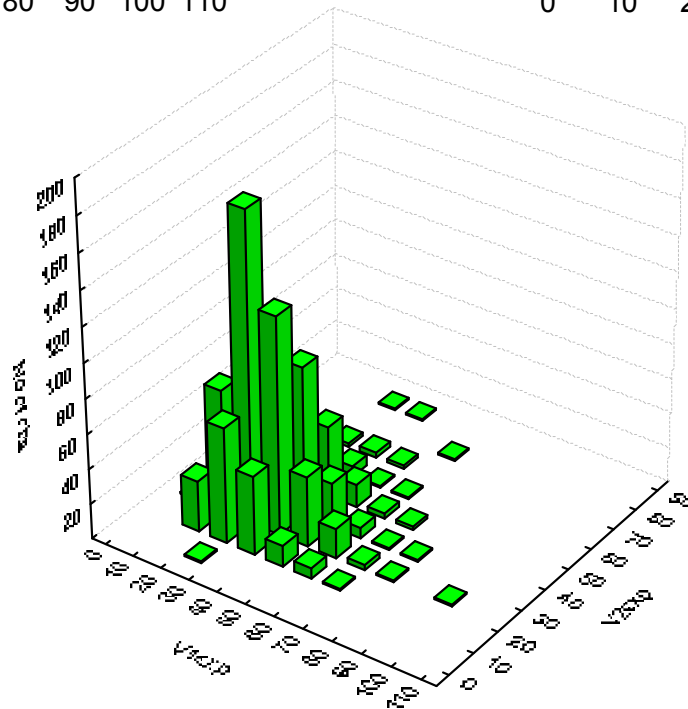
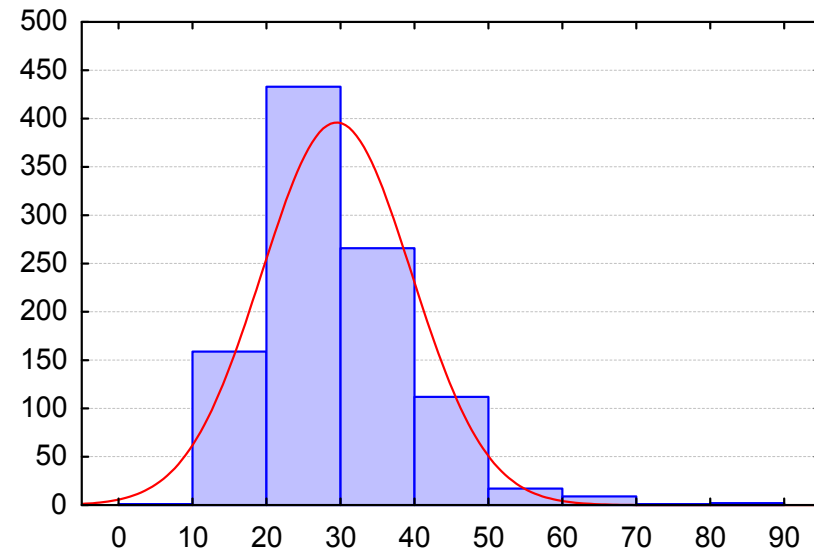
- Normalita ve vícerozměrném prostoru



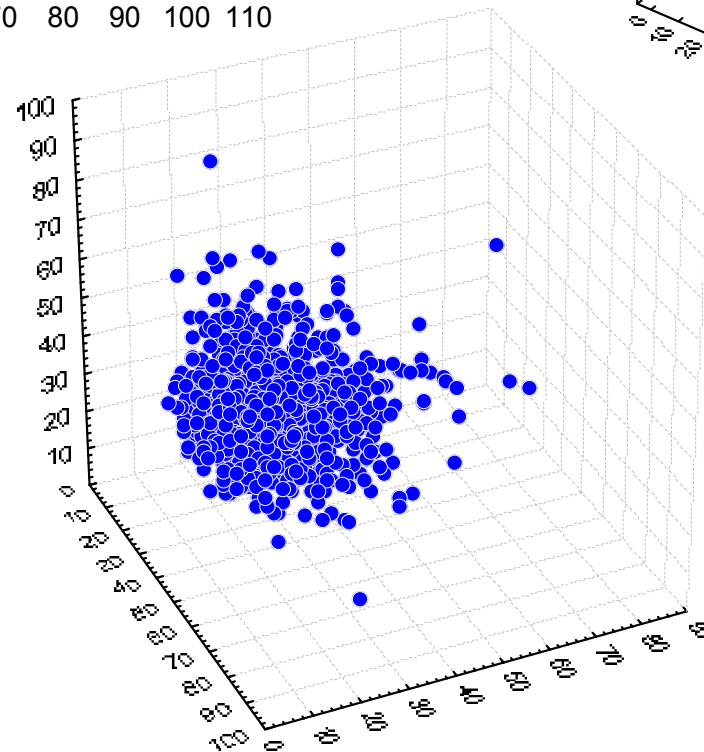
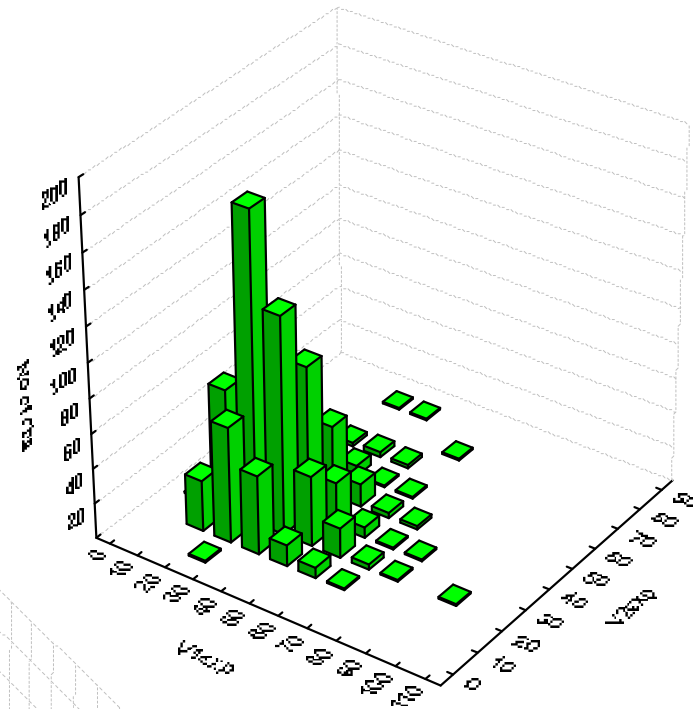
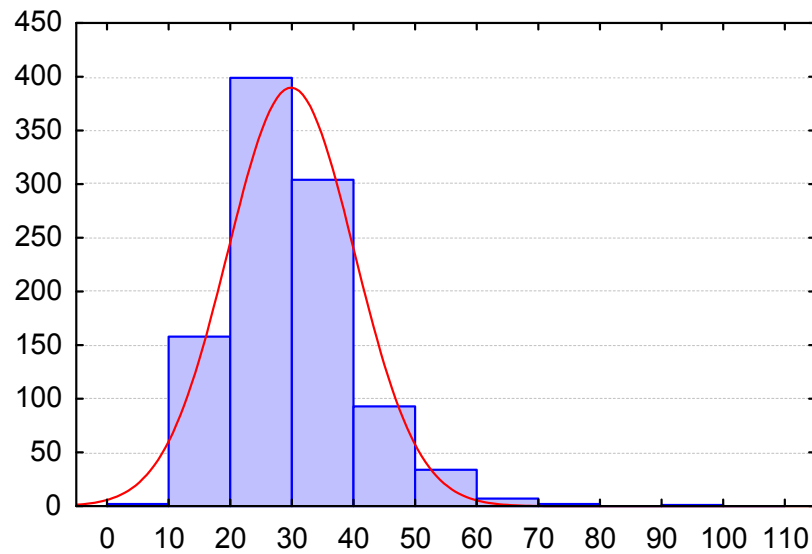
# Nenormální rozložení ve vícerozměrném prostoru



+

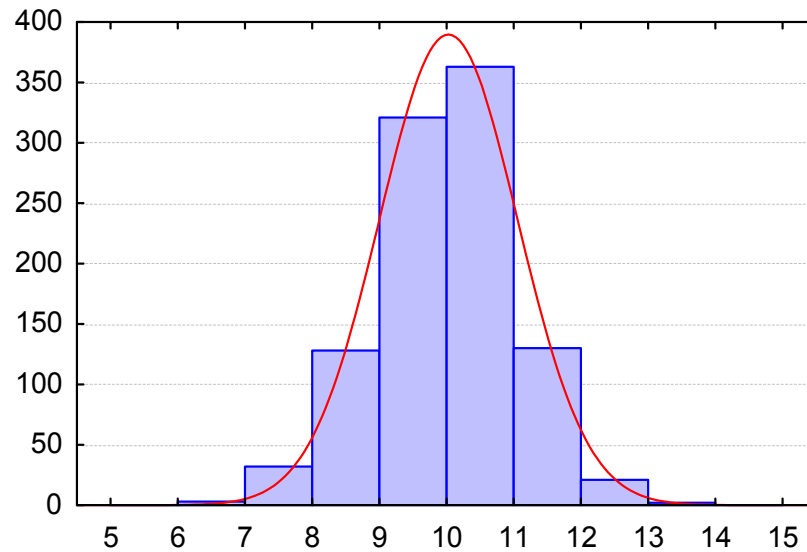


# Nenormální rozložení ve vícerozměrném prostoru

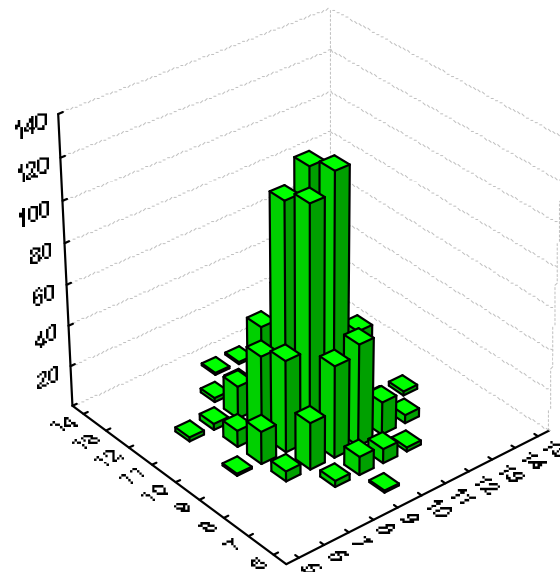
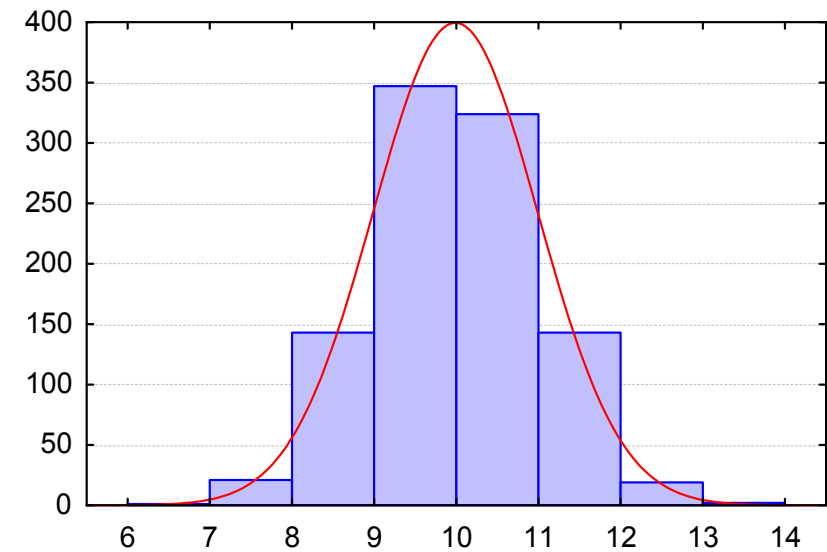




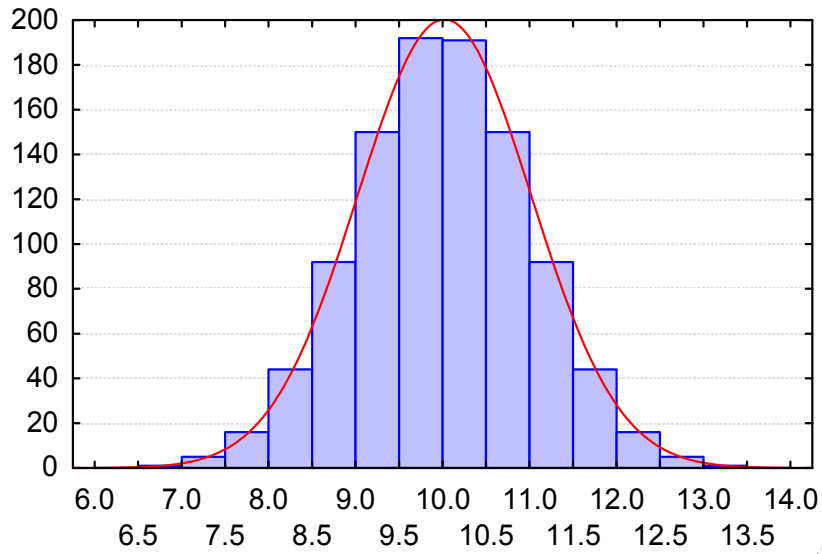
# Je normalita v jednorozměrném prostoru jedinou podmínkou vícerozměrné normality?



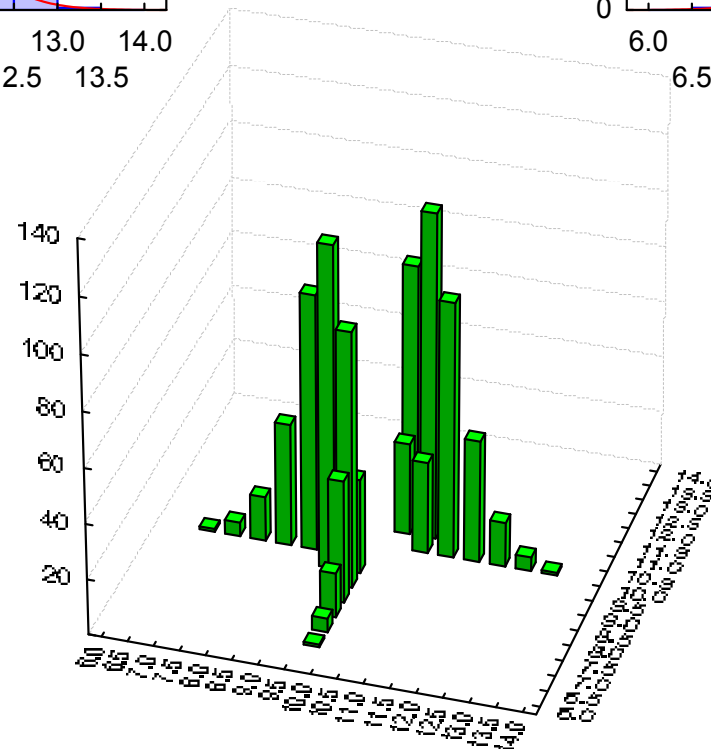
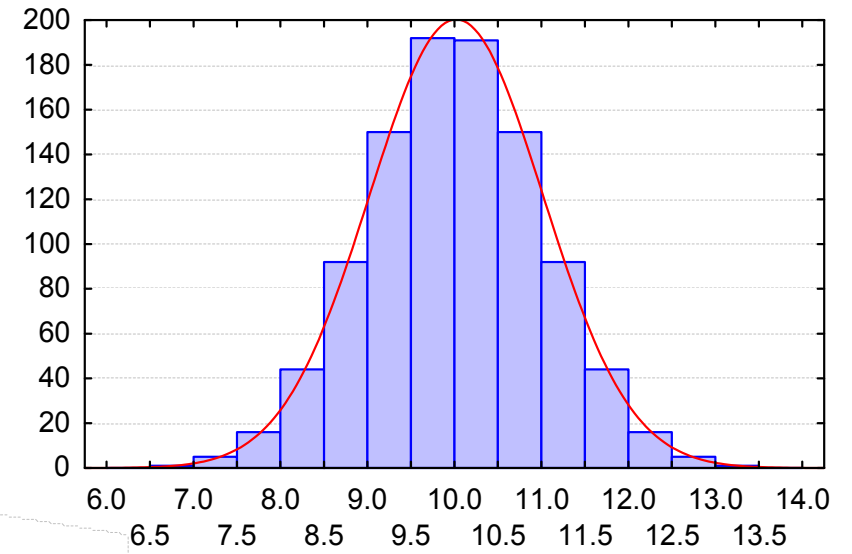
+



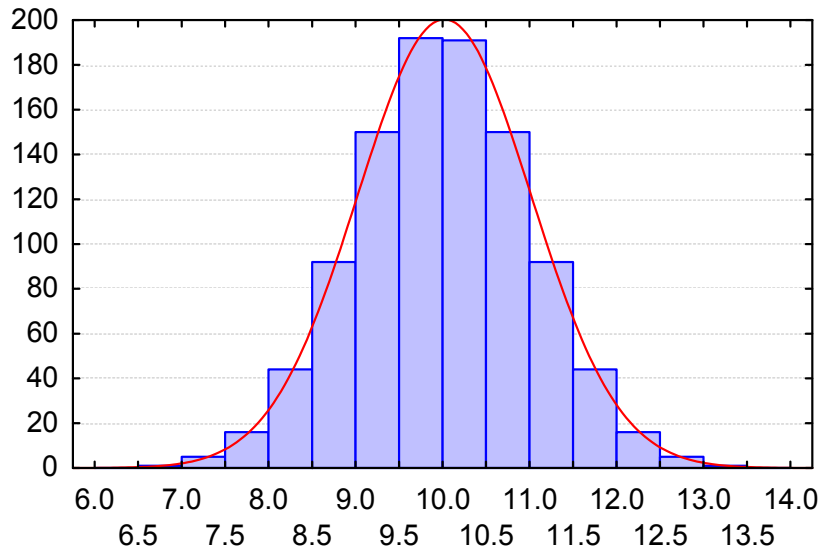
# Je normalita v jednorozměrném prostoru jedinou podmínkou vícerozměrné normality?



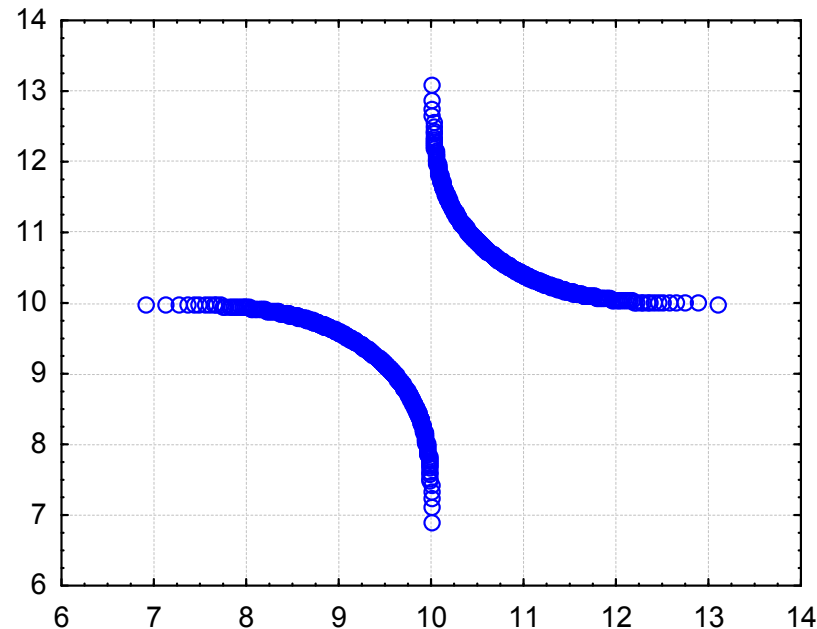
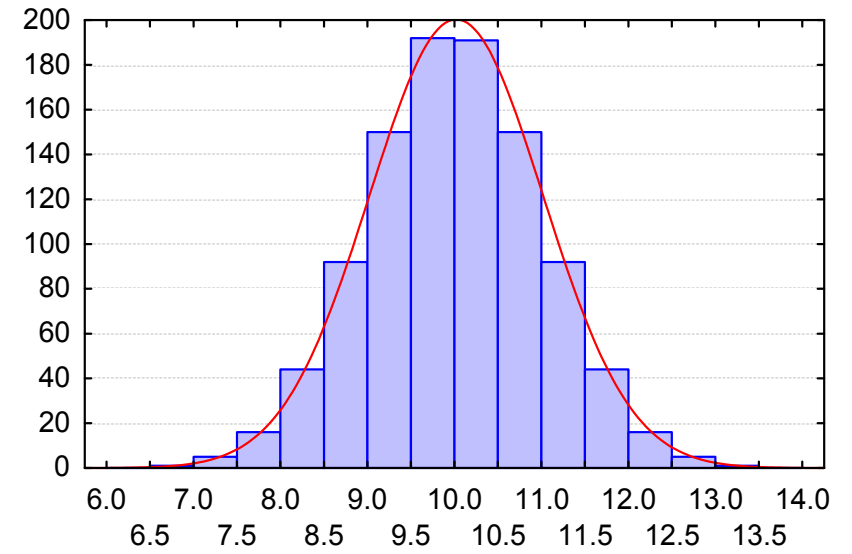
+



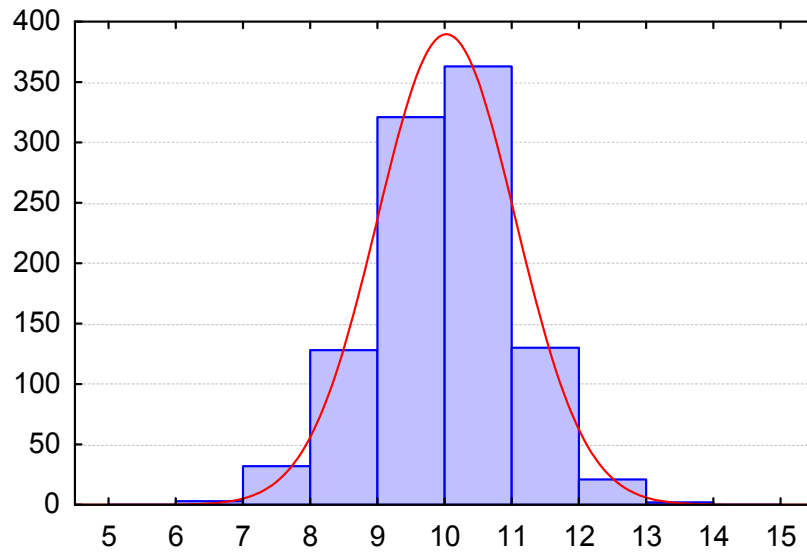
# Je normalita v jednorozměrném prostoru jedinou podmínkou vícerozměrné normality?



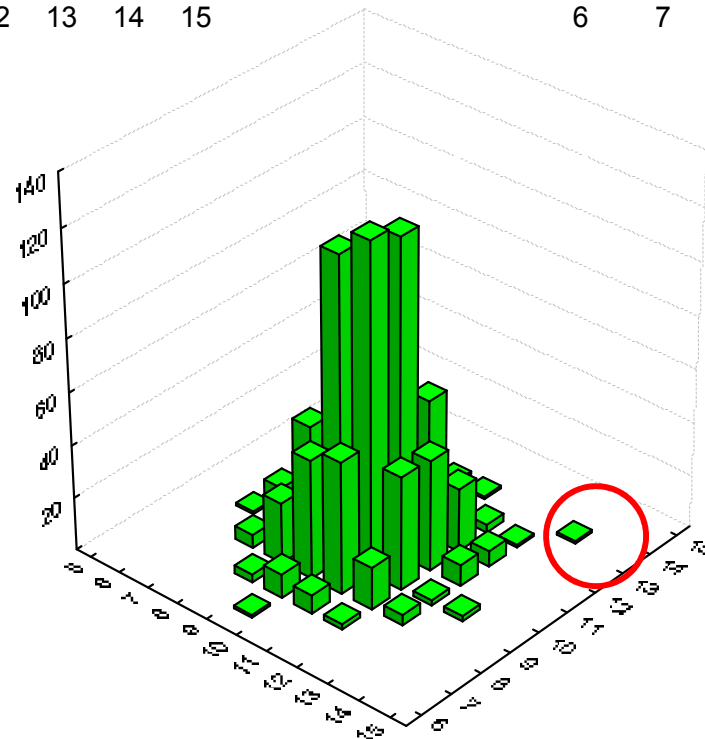
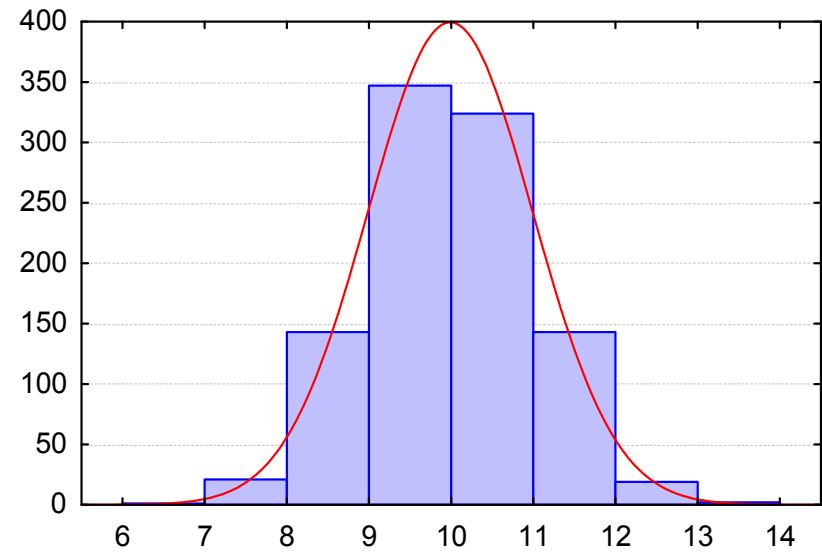
+



# Vícerozměrný outlier



+

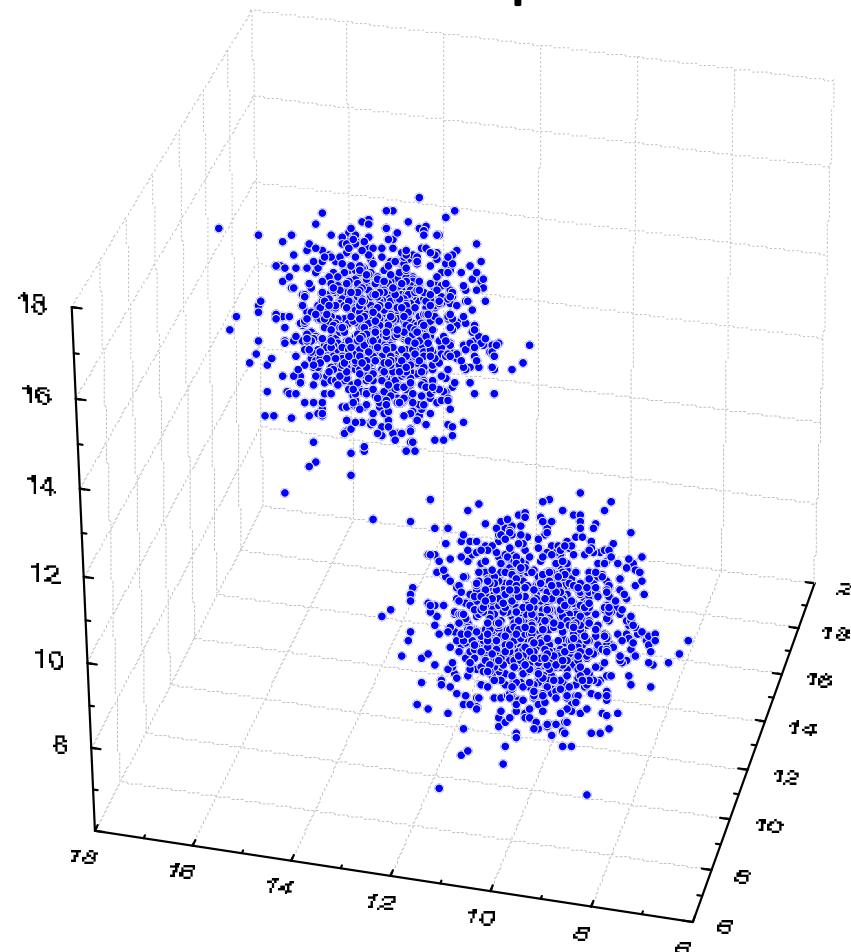


# Srovnání průměrů ve vícerozměrném prostoru

- Pro zobecnění t-testu pro  $p$  rozměrů se využívá Hotellingovo rozdělení

$$T^2 = \frac{n_1 n_2}{n} (\bar{x}_1 - \bar{x}_2 - \delta)^T \bar{S}^{-1} (\bar{x}_1 - \bar{x}_2 - \delta)$$

- kde  $\delta = \mu_1 - \mu_2$  (nejčastěji  $\delta = 0$ ), má opět Hotellingovo rozdělení s parametry  $p, n - p - 1$



T-tests; Grouping: group (vicerozmerne_modelove)											
Group 1: 1; Group 2: 2											
Hotelling T2=23280.9 F(3,1996)=7752.5 p<0.0000											
Variable	Mean 1	Mean 2	t-value	df	p	Valid N 1	Valid N 2	Std.Dev. 1	Std.Dev. 2	F-ratio Variances	p Variances
V1	10.00068	14.00068	-87.3755	1998	0.00	1000	1000	1.023659	1.023659	1.000000	1.000000
V2	9.96685	13.96685	-89.5768	1998	0.00	1000	1000	0.998503	0.998503	1.000000	1.000000
V3	10.00140	14.00140	-88.5272	1998	0.00	1000	1000	1.010342	1.010342	1.000000	1.000000

# Vícerozměrné statistické metody

Operace s vektory a maticemi

# Pojmy vícerozměrných analýz

- Vícerozměrné metody: Název vícerozměrné vychází z typu vstupních dat, tato data jsou tvořena jednotlivými objekty (i.e. klienti) a každý z nich je charakterizován svými parametry (věk, příjem atd.) a každý z těchto parametrů můžeme považovat za jeden rozměr objektu.
- Maticová algebra: Základem práce s daty a výpočtů vícerozměrných metod je maticová algebra, matice tvoří jak vstupní, tak výstupní data a probíhají na nich výpočty.
- $N \times P$  matice:  $N$  objektů s  $p$  parametry pak vytváří tzv.  $N \times P$  matici, která je prvním typem vstupu dat do vícerozměrných analýz.
- Asociační matice: Na základě těchto matic jsou počítány matice asociační na nichž pak probíhají další výpočty, jde o čtvercové matice obsahující informace o podobnosti nebo rozdílnosti (tzv. metriky) buď objektů (Q mode analýza) nebo parametrů (R mode analýza). Měřítko podobnosti se liší podle použité metody a typu dat, některé metody umožňují použití uživatelských metrik.

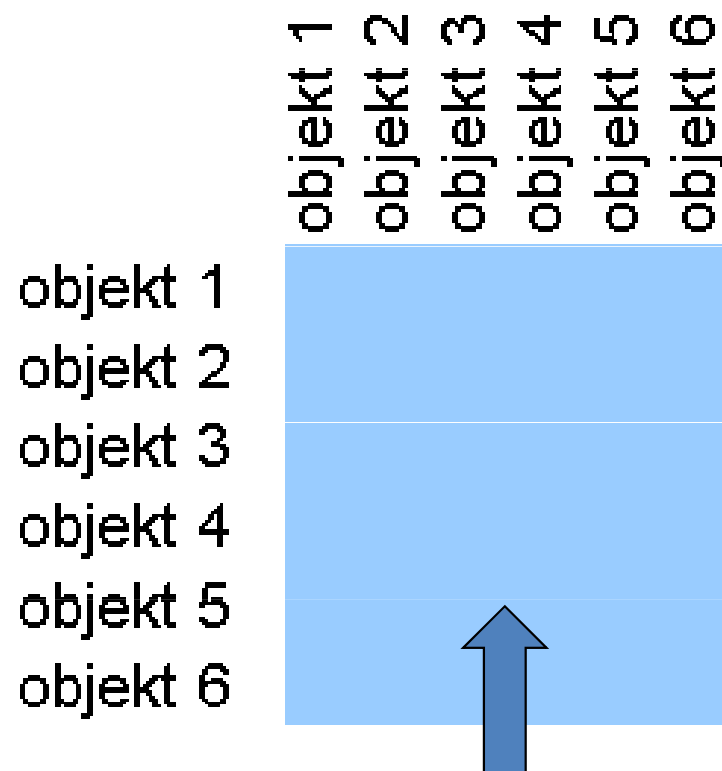
# Vstupní matice vícerozměrných analýz

## NxP MATICE



Hodnoty parametrů pro jednotlivé objekty

## ASOCIAČNÍ MATICE



Korelace, kovariance, vzdálenost, podobnost

Výpočet metriky  
podobností/  
vzdáleností

