

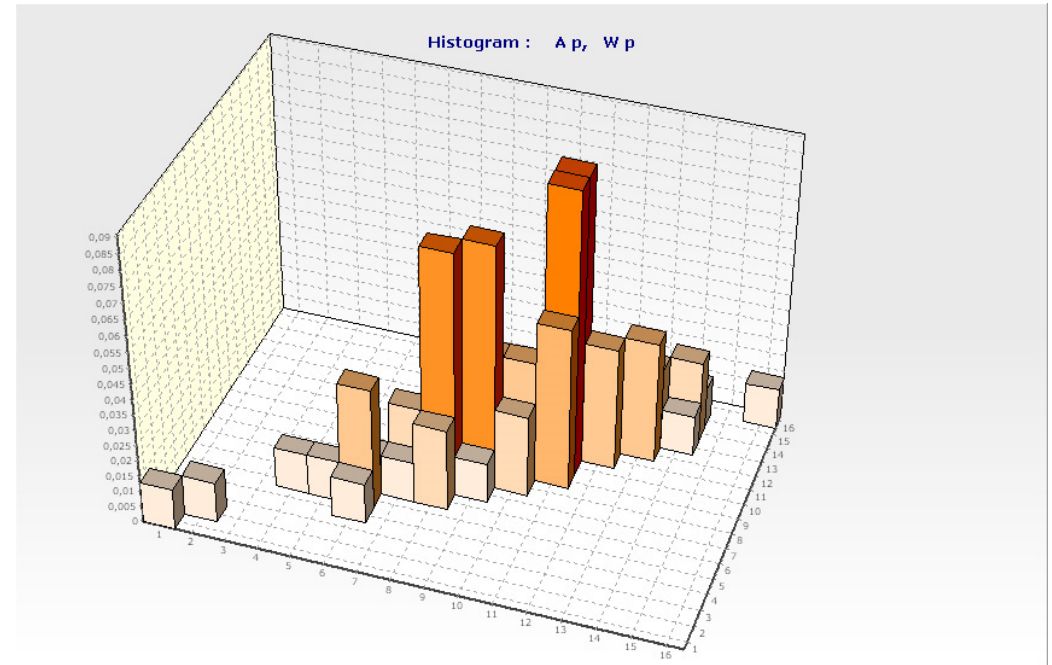
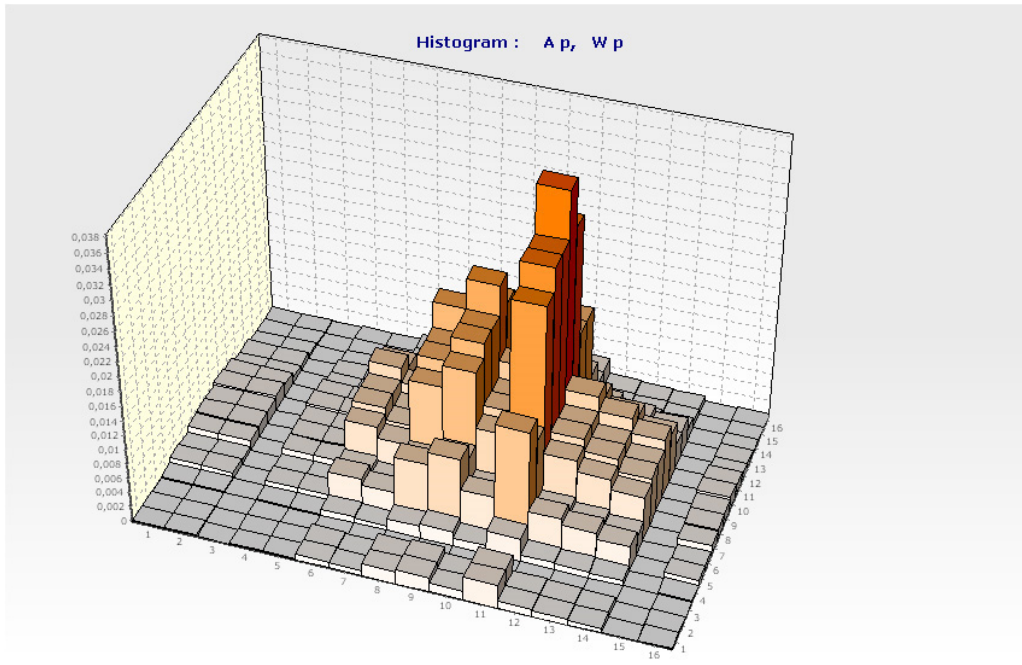
Téma 6:

Statistická závislost vstupních náhodných veličin

- Úvod do problematiky
- Korelační koeficient a korelační matice
- Dvojný a trojný histogram
- Příklady statistické závislosti ve stavitelství

Statistická závislost vstupních náhodných veličin

Některé vstupní proměnné mohou být **statisticky závislé** (korelované), např. průřezové charakteristiky, materiálové a pevnostní vlastnosti atd.



Statistická analýza naměřených dat

Pearsonův korelační koeficient

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

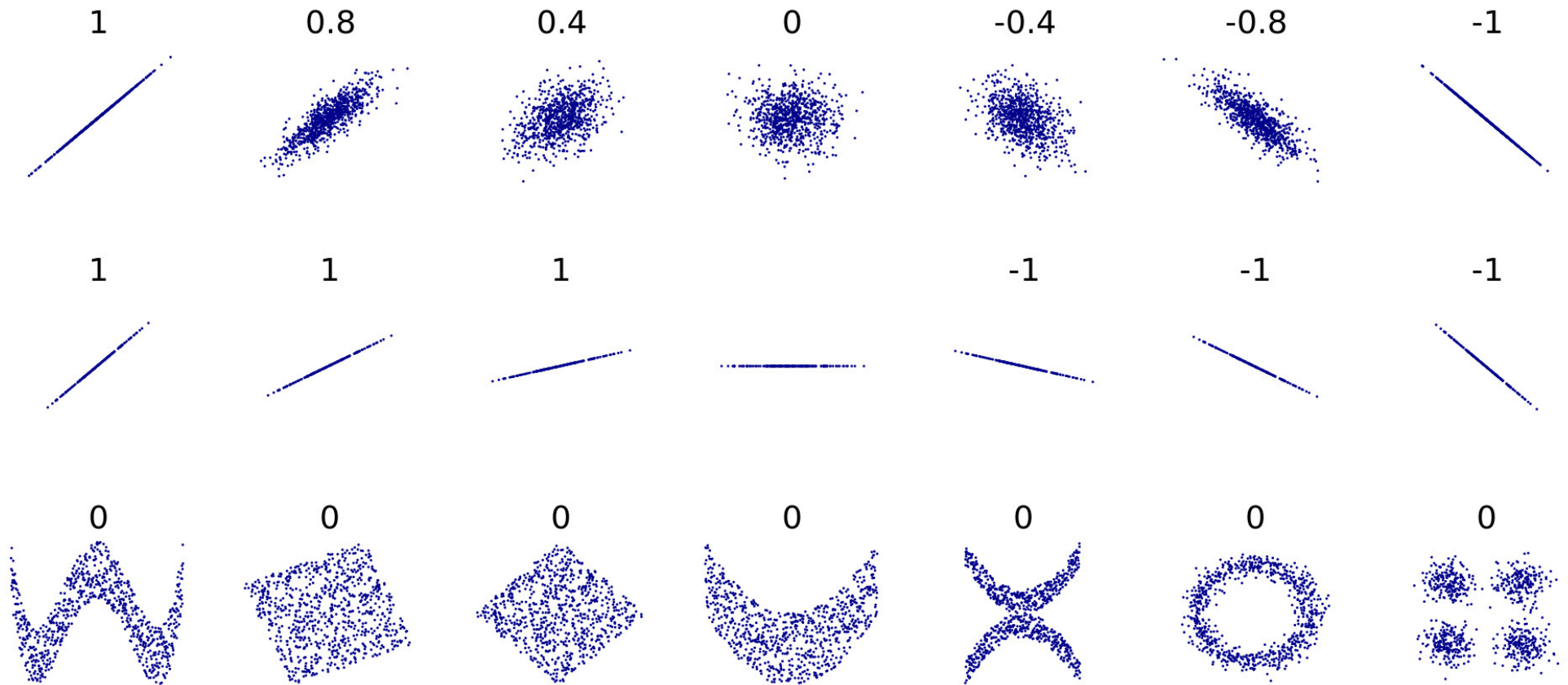
kde x_i a y_i jsou prvky dvou náhodných proměnných, \bar{x} a \bar{y} pak střední hodnota těchto veličin

Spearmanův korelační koeficient (Spearmanův koeficient pořadové korelace)

$$\rho = 1 - \frac{6 \cdot \sum_{i=1}^n (p_i - q_i)^2}{n \cdot (n^2 - 1)}$$

je určen pomocí n uspořádaných hodnot x_i a y_i dvou náhodných veličin a přiřazením příslušných pořadových čísel p_i a q_i v obou množinách hodnot.

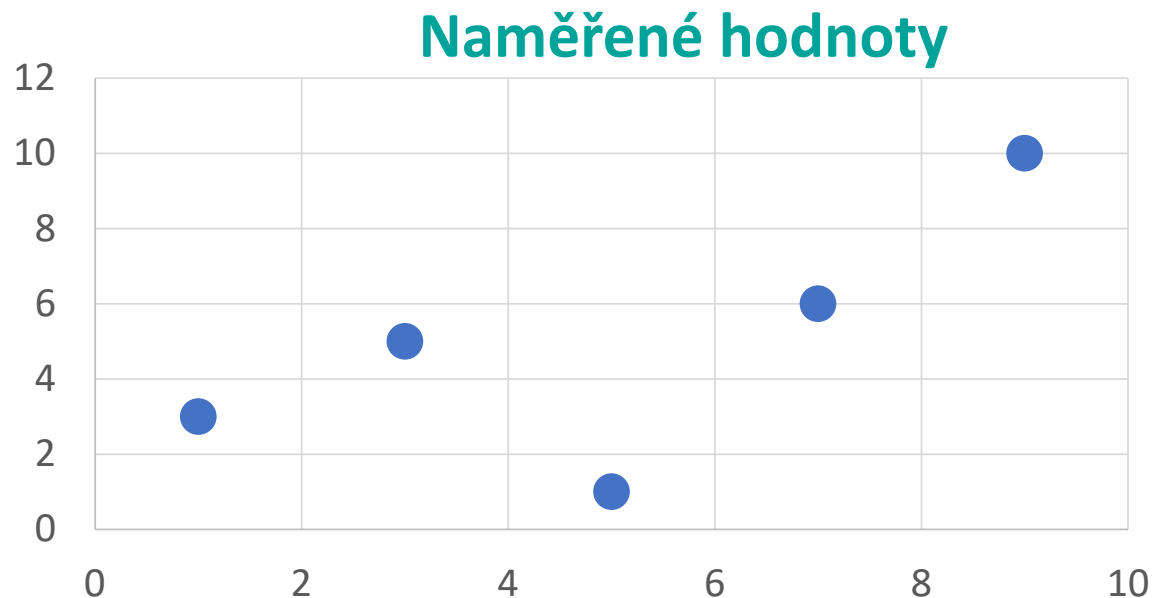
Statistická analýza naměřených dat



Příklad 1

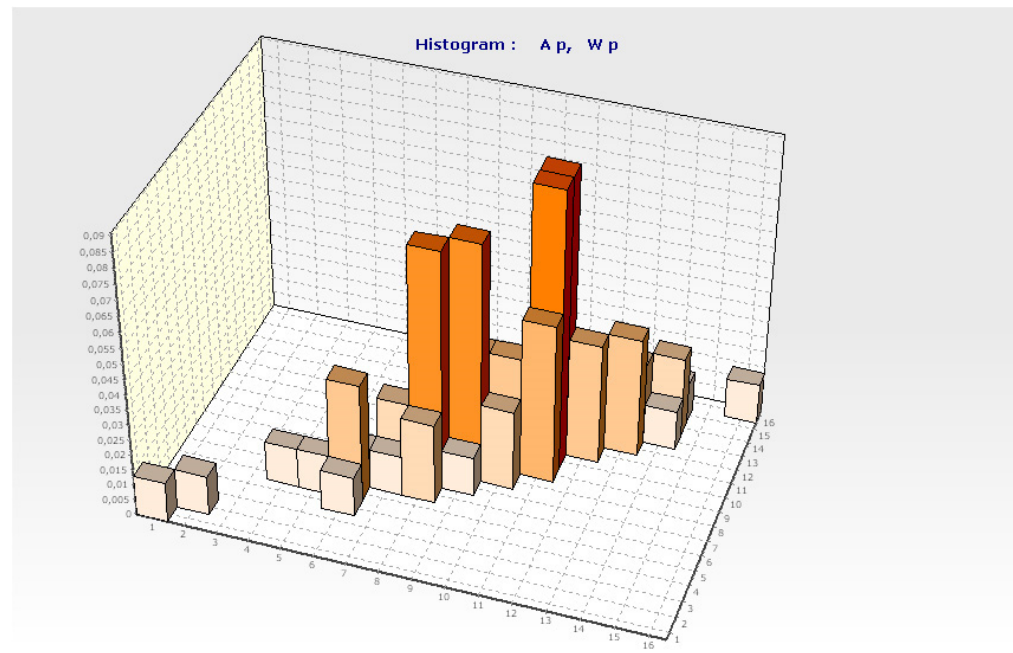
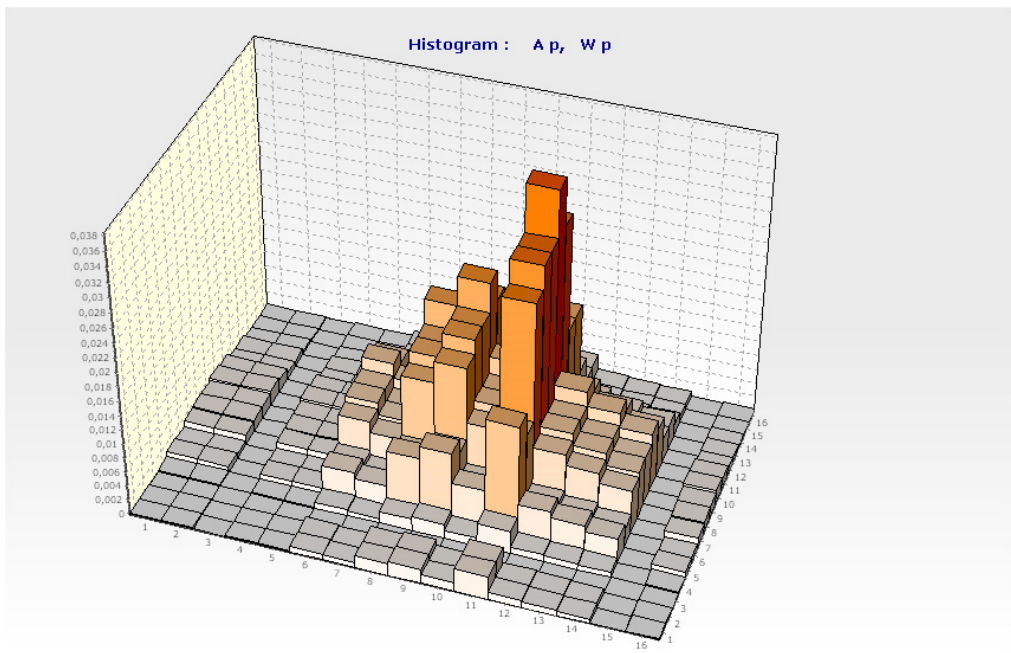
Proveďte statistickou analýzu závislosti dvou náhodných proměnných s využitím **Pearsonova** a **Spearmanova korelačního koeficientu** a naměřených dat.

x	y
9	10
7	6
5	1
3	5
1	3



Statistická závislost vstupních náhodných veličin

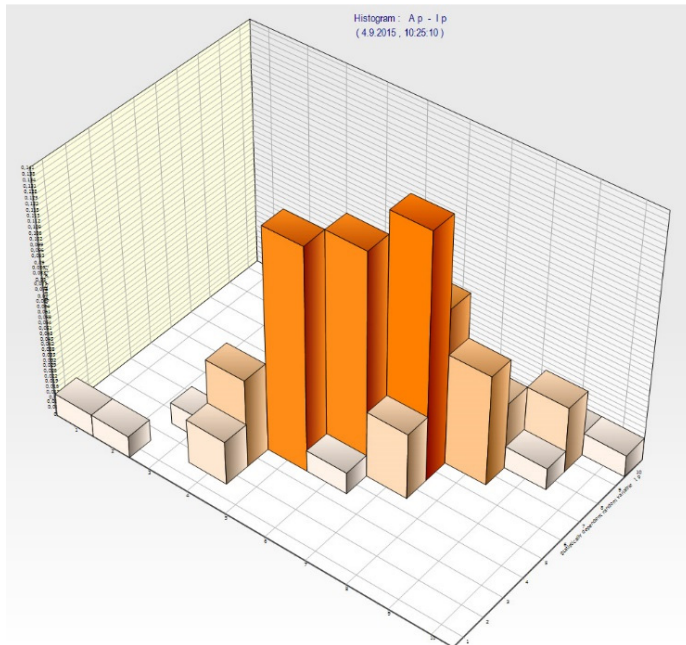
Statisticky závislé náhodné veličiny mohou být zadávány do pravděpodobnostního výpočtu pomocí **dvojných** nebo **trojných histogramů**.



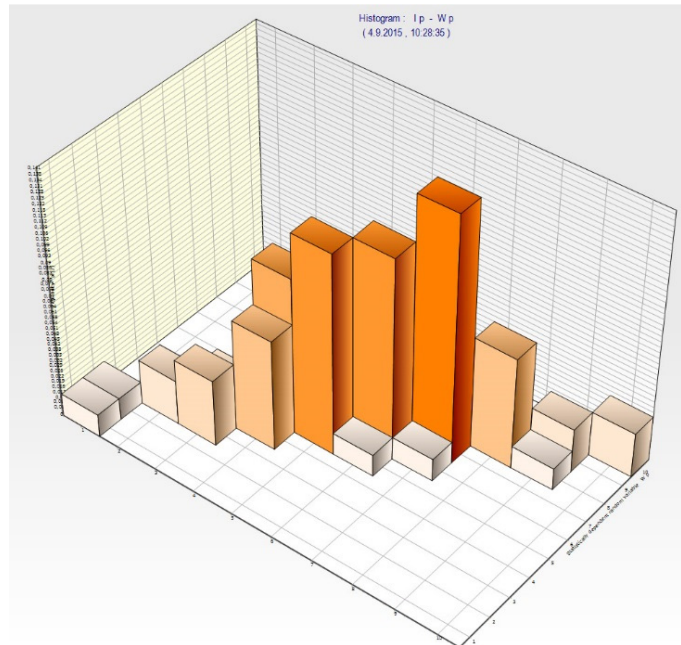
Pracovní plocha programu HistAn2D: dvojný histogram dvou statisticky nezávislých (vlevo) a závislých (vpravo) náhodných proměnných

Statistická závislost vstupních náhodných veličin

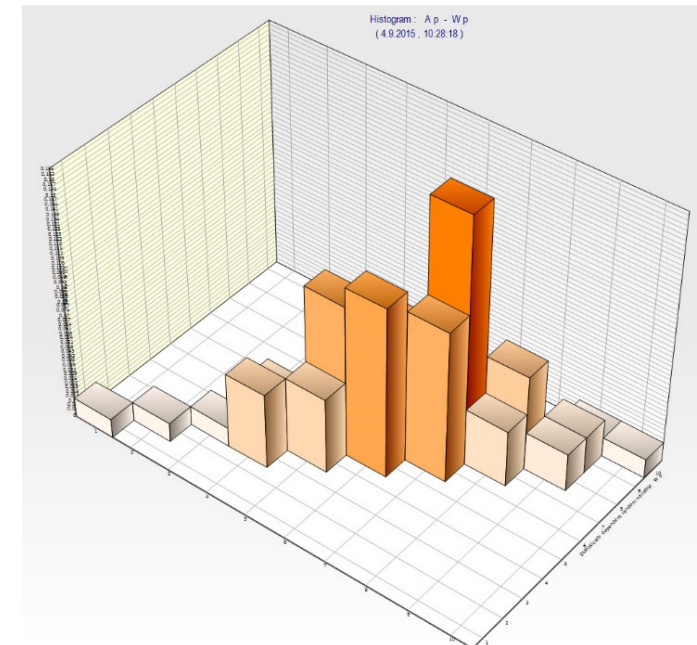
Dvojné histogramy pro pravděpodobnostní vyjádření **statisticky závislých průřezových charakteristik** profilu **HE300B**.



$A_{var}, I_{y,var}$



$I_{y,var}, W_{y,var}$



$A_{var}, W_{y,var}$

Statistická závislost vstupních náhodných veličin

Teoretické pozadí: V každém standardním histogramu A vodorovná osa obsahuje intervaly a_j , které jsou omezeny hodnotami a_{\min} a a_{\max} , zatímco svislá osa obvykle popisuje pravděpodobnost p_{a_j} výskytu hodnot těchto intervalů a_j .

Součet pravděpodobností ve všech intervalech a_j je v histogramu $\sum p_{a_j} = 1$.

Ve **dvojném histogramu** dvou náhodných proměnných Z_1 a Z_2 je proměnná Z_1 omezena $Z_{1,\min}$ a $Z_{1,\max}$, zatímco Z_2 hodnotami $Z_{2,\min}$ a $Z_{2,\max}$.

Hodnota náhodné proměnné může být rozdělena s využitím kroku Δz_1 do N_1 intervalů pro náhodnou proměnnou Z_1 , nebo s využitím kroku Δz_2 do N_2 intervalů pro náhodnou proměnnou Z_2 . Celkový počet intervalů je pak:

$$N_1 = \frac{Z_{1,\max} - Z_{1,\min}}{\Delta z_1} \text{ a } N_2 = \frac{Z_{2,\max} - Z_{2,\min}}{\Delta z_2}.$$

Statistická závislost vstupních náhodných veličin

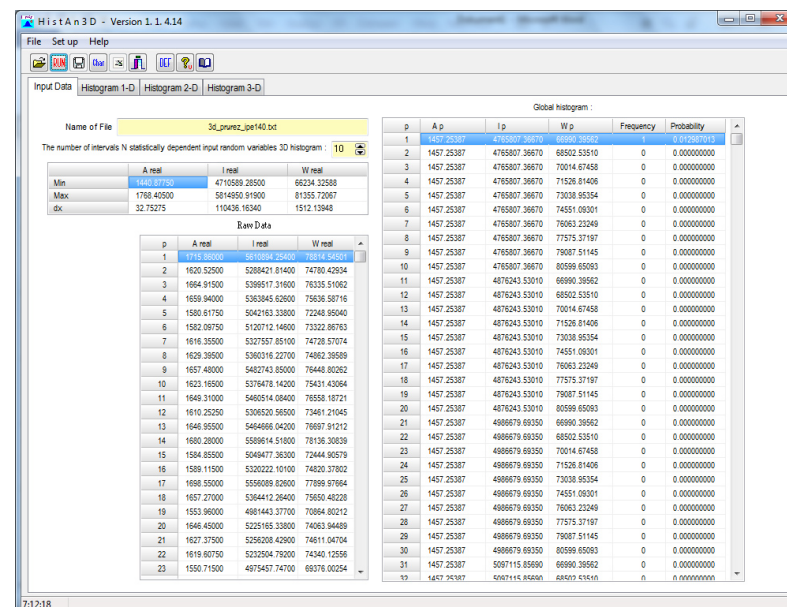
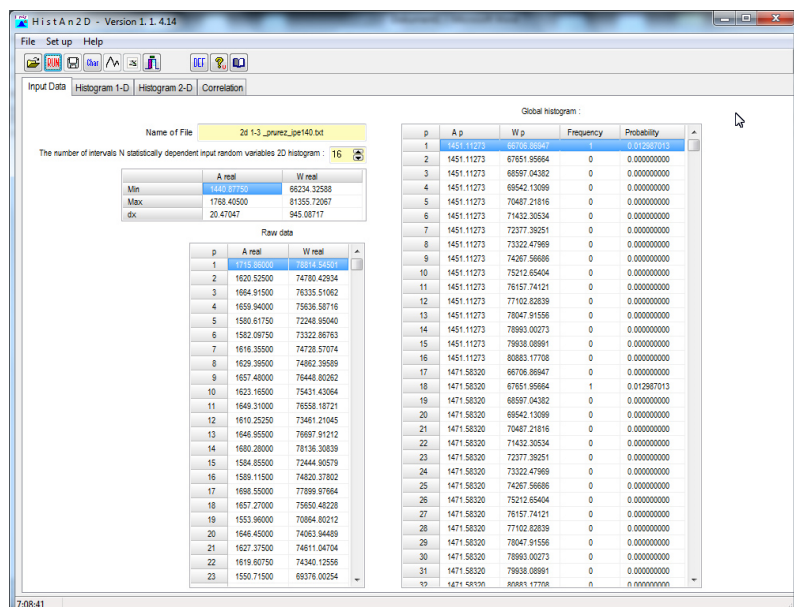
Teoretické pozadí: Pokud je hodnota vstupní náhodné proměnné z_1 z j -tého intervalu $z_{1,j}$, teoreticky hodnota náhodné proměnné z_2 může nabývat hodnot: $z_{2,1}, z_{2,2}, \dots, z_{2,j}, \dots, z_{2,N_2}$, tedy N_2 hodnot.

Dvojný histogram dvou náhodných veličin z_1 a z_2 může obsahovat $N_1 \cdot N_2$ intervalů. Znamená to, že každý interval dvojného histogramu obsahuje dvě hodnoty $z_{1,j}$ a $z_{2,j}$ a pravděpodobnost výskytu hodnoty každého intervalu $p_{z_{1,j}, z_{2,j}}$. Opět platí: $\sum p_{z_{1,j}, z_{2,j}} = 1$.

Počet intervalů s nenulovou pravděpodobností může dosáhnout součinu $N_1 \cdot N_2$. Pokud jsou náhodné veličiny statisticky závislé, může být počet intervalů dvojného histogramu s nenulovou pravděpodobností podstatně nižší než součin $N_1 \cdot N_2$.

Programové nástroje: HistAn2D a HistAn3D

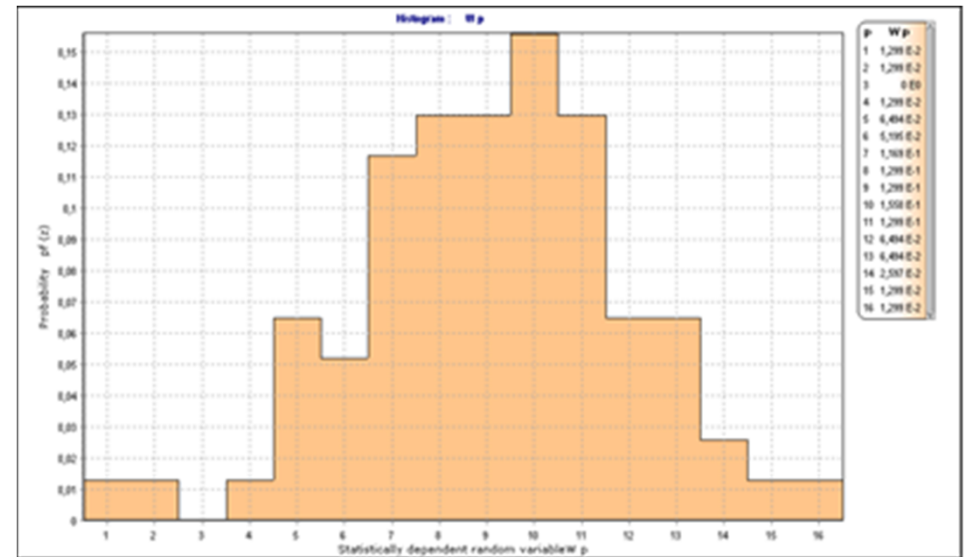
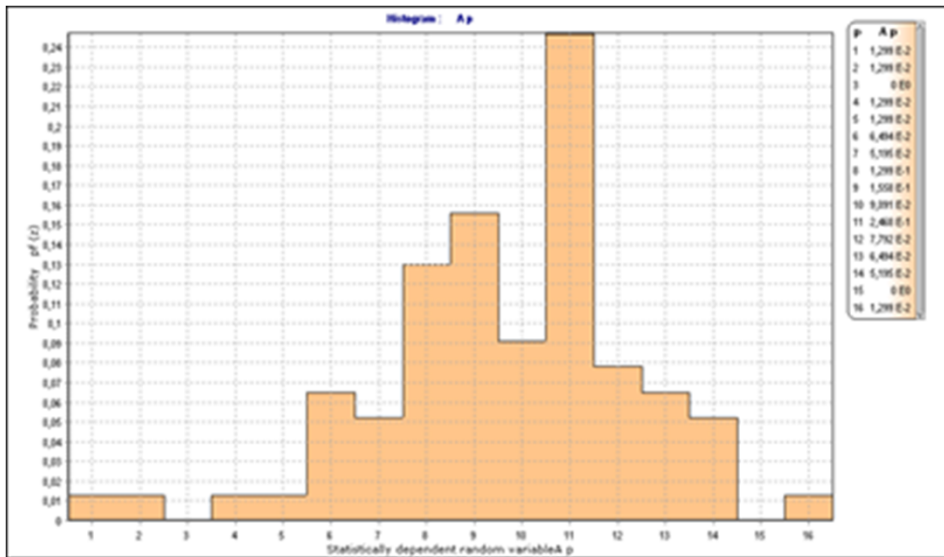
Byly vytvořeny speciální softwarové aplikace **HistAn2D** (vlevo) a **HistAn3D** (vpravo) pro tvorbu **dvojných** a **trojných histogramů**, které umožňují zohlednit **statistickou závislost** 2 nebo 3 vstupních náhodných proměnných.



Pracovní plocha programů **HistAn2D** (vlevo) a **HistAn3D** (vpravo): zpracování naměřených hodnot průřezových charakteristik profilu IPE 140.

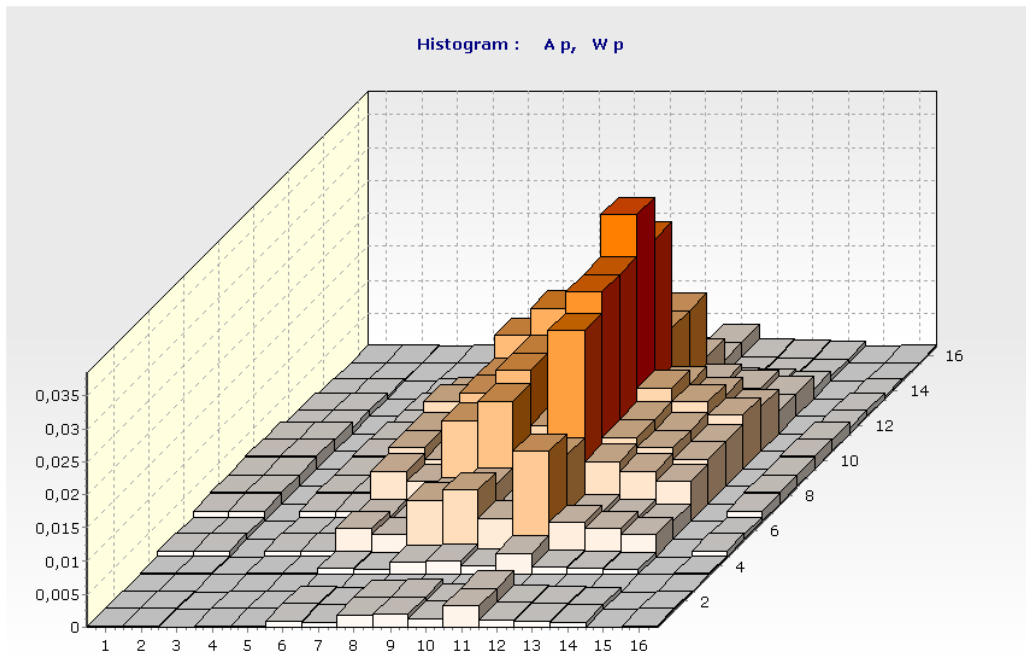
Programové nástroje: HistAn2D a HistAn3D

Pomocí tohoto softwaru je možné pro každou náhodnou veličinu zobrazit jednoduchý histogram s neparametrickým (empirickým) rozdělením pravděpodobnosti i vícerozměrný histogram, který popisuje statistickou závislost mezi dvojicí (trojicí) náhodných veličin.



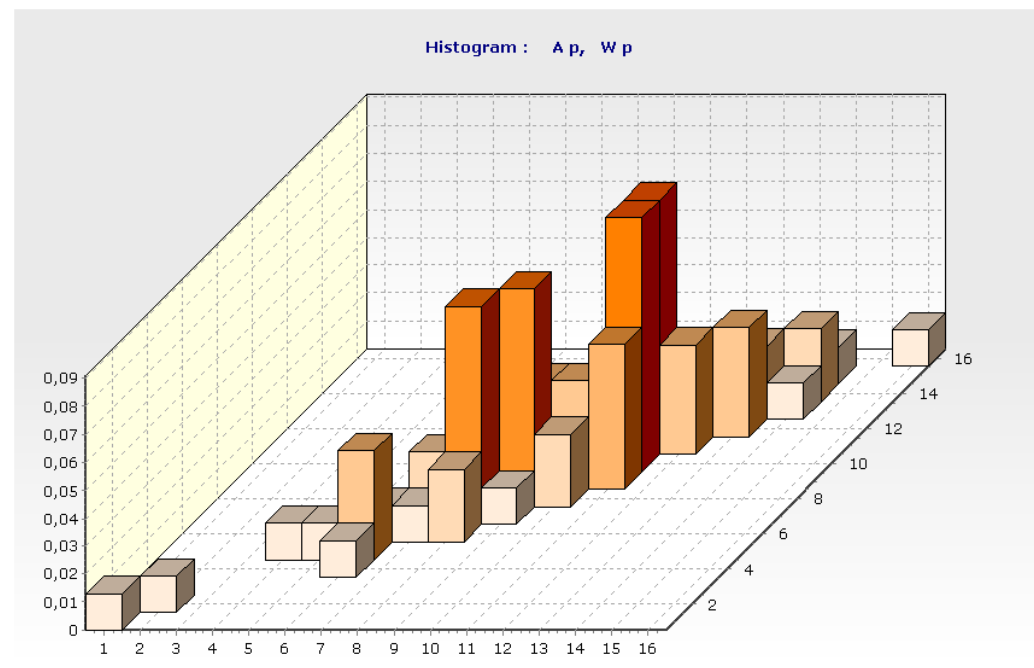
Histogramy s **neparametrickým** (empirickým) **rozdělením pravděpodobnosti**: histogram průřezové plochy A (vlevo) a průřezového modulu W_y (vpravo) profilu IPE140.

Programové nástroje: HistAn2D a HistAn3D



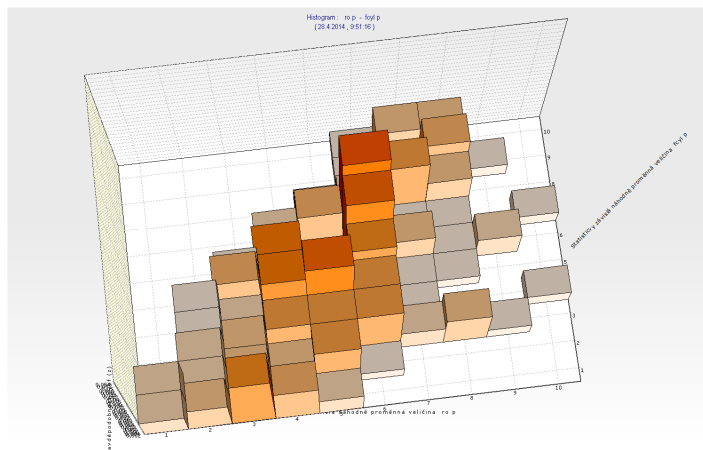
Dvojný histogram pro dvě **statisticky závislé** náhodné proměnné – průřezovou plochu A a průřezový modul W_y .

Dvojný histogram pro dvě **statisticky nezávislé** náhodné proměnné – průřezovou plochu A a průřezový modul W_y .

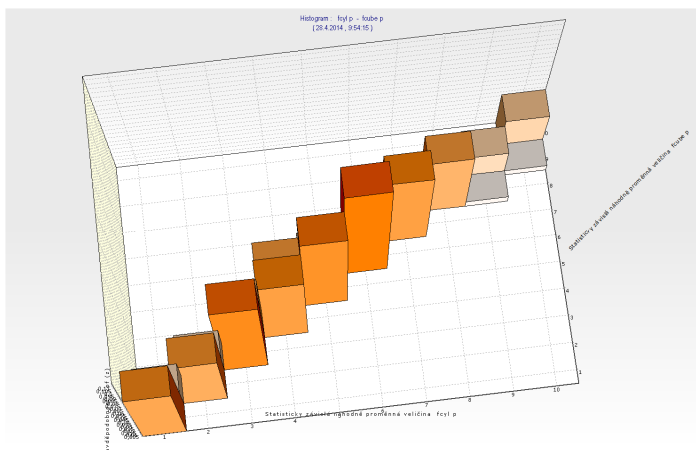


Programové nástroje: HistAn2D a HistAn3D

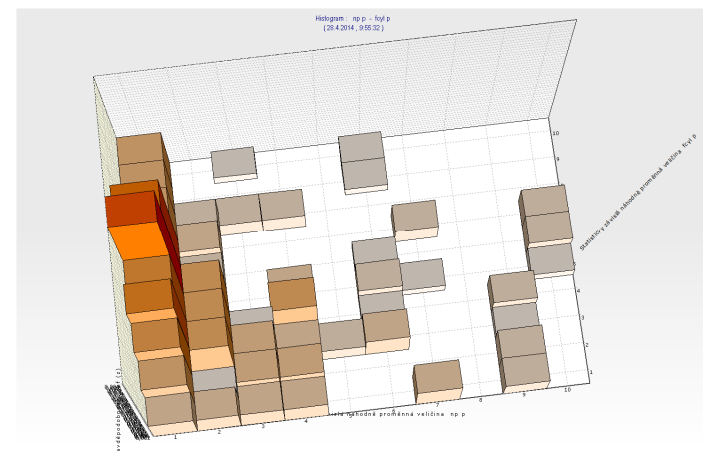
Histogramy dvou (tří) **statisticky závislých** náhodných vstupních veličin může vstupovat do pravděpodobnostního výpočtu s využitím programu ProbCalc.



objemová hmotnost vs. pevnost v tlaku, korelace 60,8 % až 62,2 %



krychelná vs. válcová pevnost v tlaku, korelace 99,8 % až 100,0 %



pevnost betonu v tlaku vs. výška podlaží v budově, korelace -21,1 % až -25,8 %

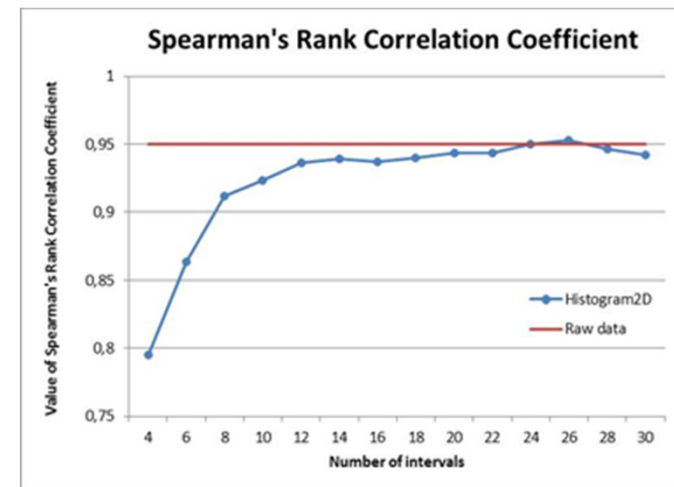
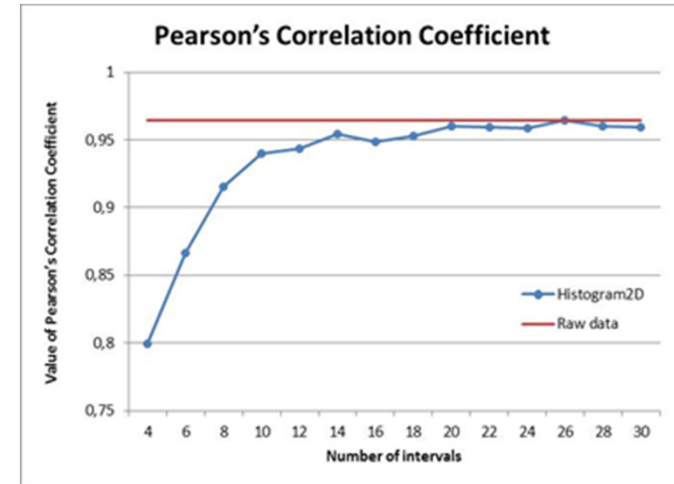
Programové nástroje: HistAn2D a HistAn3D

Korelační koeficienty dvojného histogramu statisticky závislých náhodných proměnných s rozdílnými počty intervalů

(Pearsonův a Spearmanův korelační koeficient pro naměřené hodnoty je roven 0,9645; resp. 0,9499).

Počet intervalů ve dvojném histogramu	Pearsonův korelační koeficient	Spearmanův pořadový korelační koeficient	Počet intervalů ve dvojném histogramu	Pearsonův korelační koeficient	Spearmanův pořadový korelační koeficient
$4^2 = 16$	0,79985097	0,79507798	$18^2 = 324$	0,95267109	0,94023800
$6^2 = 36$	0,86661900	0,86360377	$20^2 = 400$	0,96046634	0,94378886
$8^2 = 64$	0,91530000	0,91194405	$22^2 = 484$	0,95940904	0,94355084
$10^2 = 100$	0,93984931	0,92352904	$24^2 = 576$	0,95903334	0,94989866
$12^2 = 144$	0,94381175	0,93613068	$26^2 = 676$	0,96464064	0,95260826
$14^2 = 196$	0,95443331	0,93939308	$28^2 = 784$	0,96017017	0,94660574
$16^2 = 256$	0,94876401	0,93694950	$30^2 = 900$	0,95938019	0,94245225

Pearsonův korelační koeficient (nahore) a **Spearmanův pořadový korelační koeficient** (dole) dvojného histogramu vs. počet intervalů

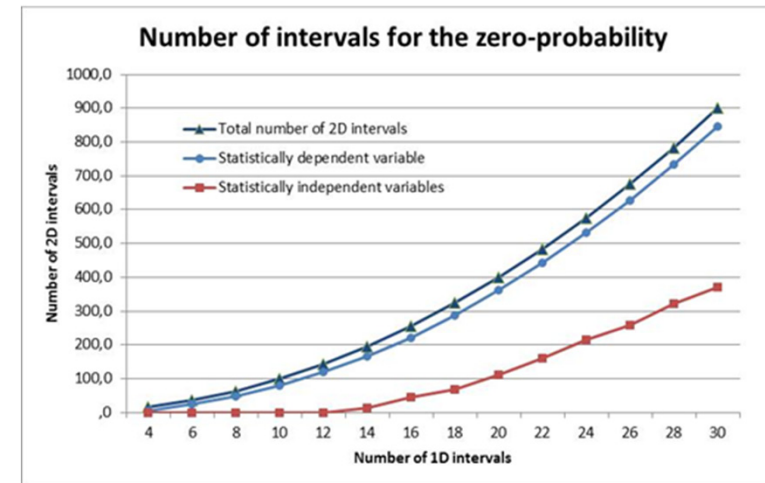


Programové nástroje: HistAn2D a HistAn3D

Celkový počet intervalů ve dvojném histogramu	Počet intervalů s nulovou pravděpodobností		Celkový počet intervalů ve dvojném histogramu	Počet intervalů s nulovou pravděpodobností	
	Statisticky závislé náhodné veličiny	Statisticky nezávislé náhodné veličiny		Statisticky závislé náhodné veličiny	Statisticky nezávislé náhodné veličiny
$4^2 = 16$	6	0	$18^2 = 324$	288	69
$6^2 = 36$	24	0	$20^2 = 400$	361	112
$8^2 = 64$	48	0	$22^2 = 484$	443	160
$10^2 = 100$	80	0	$24^2 = 576$	531	216
$12^2 = 144$	119	0	$26^2 = 676$	627	258
$14^2 = 196$	166	14	$28^2 = 784$	735	322
$16^2 = 256$	222	46	$30^2 = 900$	847	372

Počet intervalů dvojného histogramu **s nulovou pravděpodobností** vs. celkový počet intervalů

Počet intervalů ve dvojném histogramu: celkový počet a počet intervalů s nulovou pravděpodobností pro statisticky závislé a nezávislé náhodné veličiny.



Programové nástroje: HistAn2D a HistAn3D

Numerický korelační index – upožňuje vyjádřit závislost mezi náhodnými veličinami nejenom pro lineární vztahy mezi dvojicí veličin, ale i pro nelineární závislost, nebo i pro více než dvě náhodné veličiny:

$$I_k = \frac{T_M - T_C}{T_M}$$

kde T_M je celkový počet intervalů dvojného nebo trojného histogramu (optimální počet intervalů v závislosti na množství naměřených dat), T_C je počet intervalů s nenulovou pravděpodobností.

Pro **statisticky závislé veličiny**:

Úprava při nedostatečném množství dat:

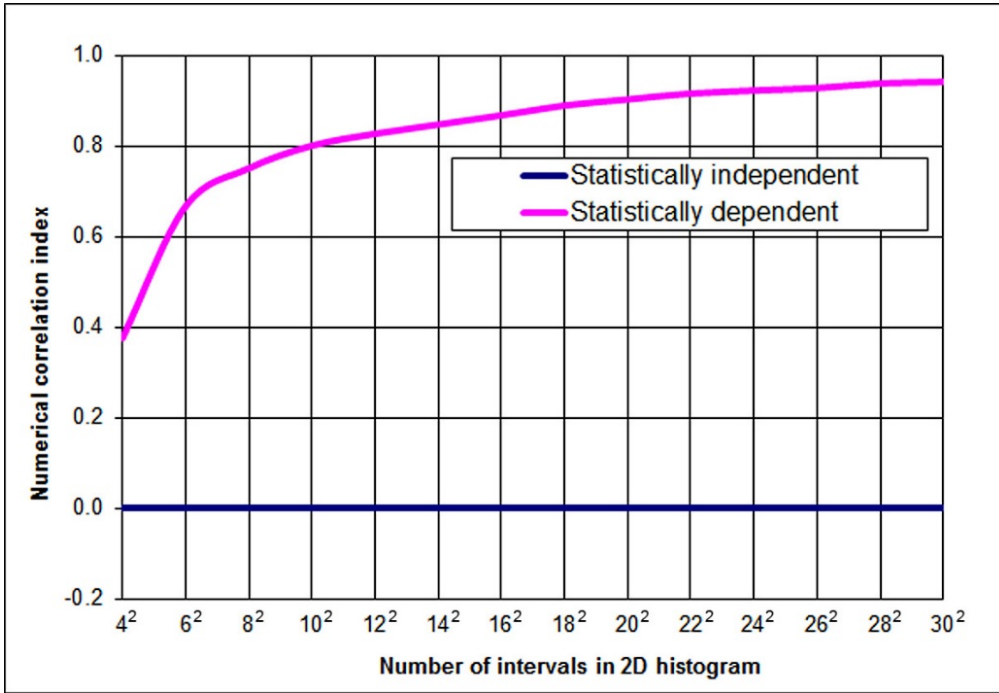
kde $n_1, n_2, n_3, \dots, n_t$ jsou počty intervalů v histogramech,

$p_1, p_2, p_3, \dots, p_t$ jsou počty intervalů bez jediné naměřené hodnoty.

2 závislé proměnné: $T_M = (n_1 - p_1) \cdot (n_2 - p_2)$

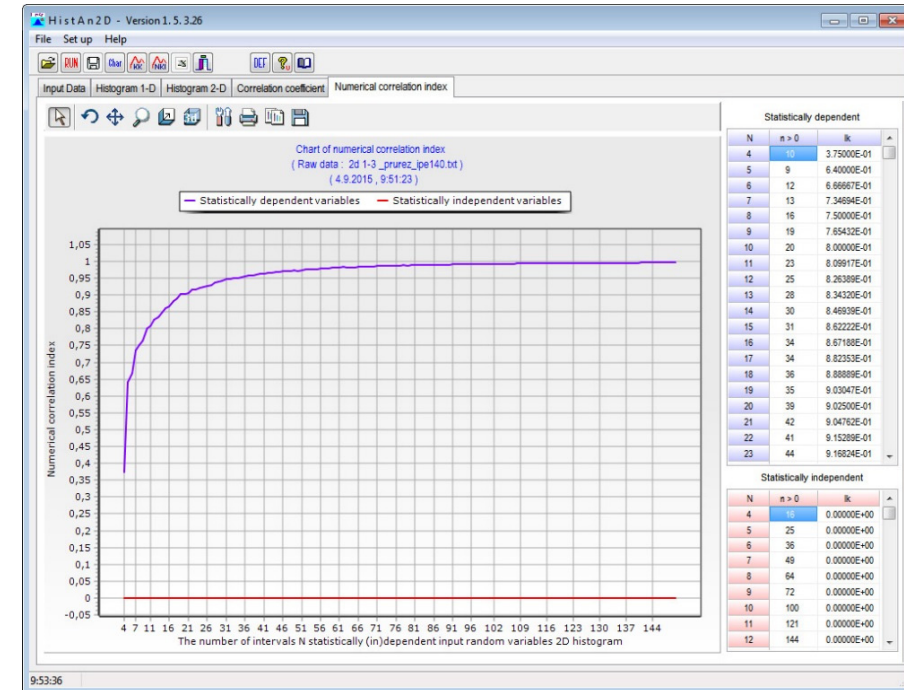
t závislých veličin: $T_M = (n_1 - p_1) \cdot (n_2 - p_2) \cdot (n_3 - p_3) \cdot \dots \cdot (n_t - p_t)$

Programové nástroje: HistAn2D a HistAn3D



Numerický korelační index pro dvě náhodné veličiny – průřezovou plochu A a průřezový modul W_y

Výpočet **numerického korelačního indexu** v programu HistAn2D v závislosti na počtu intervalů ve dvojném histogramu



Příklad 2, Posouzení spolehlivosti sloupu

Posouzení spolehlivosti sloupu

$l \dots 6 \text{ m}$

profil HEB 300, ocel S235, $E \dots 2.1 \cdot 10^{11} \text{ Pa}$

imperfekce: $a \dots \pm 30 \text{ mm}$

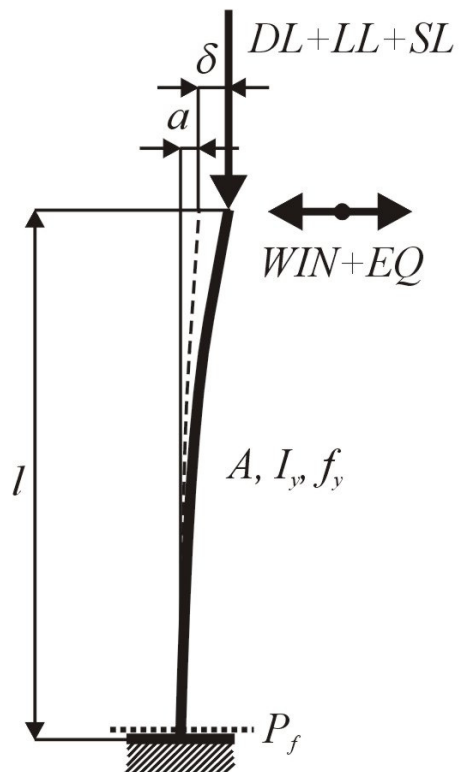


Schéma posuzované konstrukce

Zatížení	Typ	Extrémní hodnota [kN]
D	Stálé	350
L	Dlouhodobé užitné	75
S	Krátkodobé užitné	75
W	Vítr	40
EQ	Zemětřesení	$\frac{1}{20} \cdot (D + L + S) = \frac{500}{20} = 25$

Příklad 2, Posouzení spolehlivosti sloupu

Výpočet největší vodorovné výchylky δ s využitím teorie II. řádu a s uvažováním vlivu počátečních imperfekcí:

$$\delta = \frac{W + EQ + \frac{a}{l} \cdot F}{\frac{F}{l \cdot K}}$$

kde

$$K = \frac{\tan\left(l \cdot \sqrt{\frac{F}{EI}}\right)}{l \cdot \sqrt{\frac{F}{EI}}} - 1$$

Ohybový moment v kritickém průřezu:

$$M = \frac{\delta \cdot (1 + K)}{K} \cdot F$$

Napětí v krajních vláknech:

$$S = \sigma = \left| \frac{M}{W} \right| + \left| \frac{F}{A} \right| = F \cdot \left(\frac{|\delta| \cdot (1 + K)}{K \cdot W} + \frac{1}{A} \right)$$

Příklad 2, Posouzení spolehlivosti sloupu

Mezní stav únosnosti

$$RF = R - E$$

R ... odolnost konstrukce – napětí na mezi kluzu f_y

E ... účinek zatížení – normálové napětí σ v krajních vláknech

Mezní stav použitelnosti

$$RF = \delta_{tol} - |\delta|$$

δ_{tol} ... odolnost konstrukce – limitní deformace (35 mm)

δ ... účinek zatížení – maximální vodorovná deformace

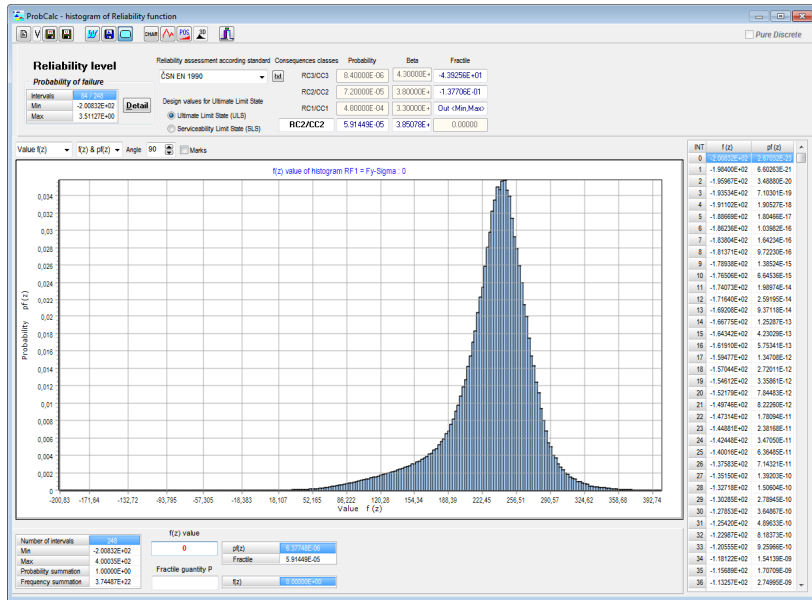
Vstupní náhodné veličiny:

- 5 typů zatížení,
- variabilita průřezových charakteristik,
- počáteční imperfekce sloupu,
- napětí na mezi kluzu f_y .

**Celkem 8 vstupních
náhodných veličin**

Příklad 2, Porovnání výsledků

Výsledný histogram funkce spolehlivosti RF , mezní stav únosnosti



Statisticky závislé průřezové charakteristiky

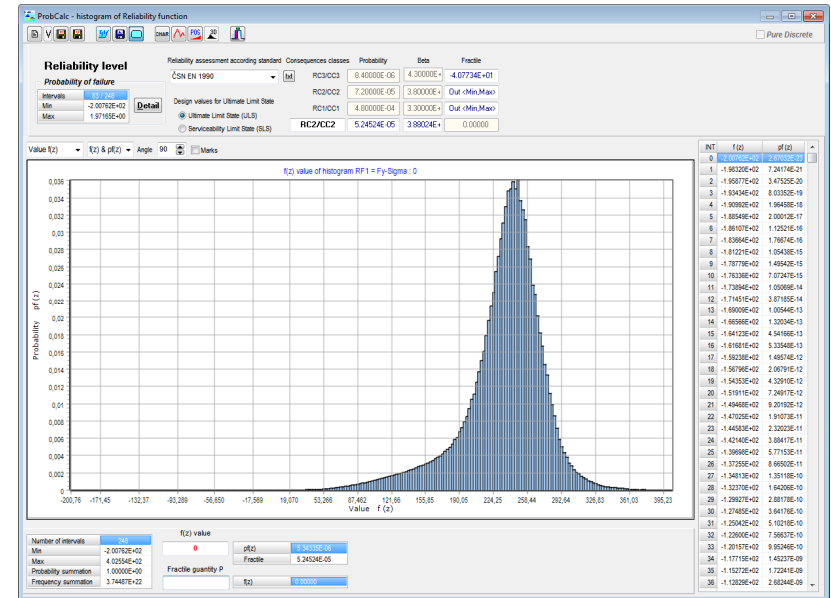
Pravděpodobnost poruchy $P_f = 5,247 \cdot 10^{-5}$ (RC2/CC2)

Doba výpočtu 9 sec.

Statisticky nezávislé průřezové charakteristiky

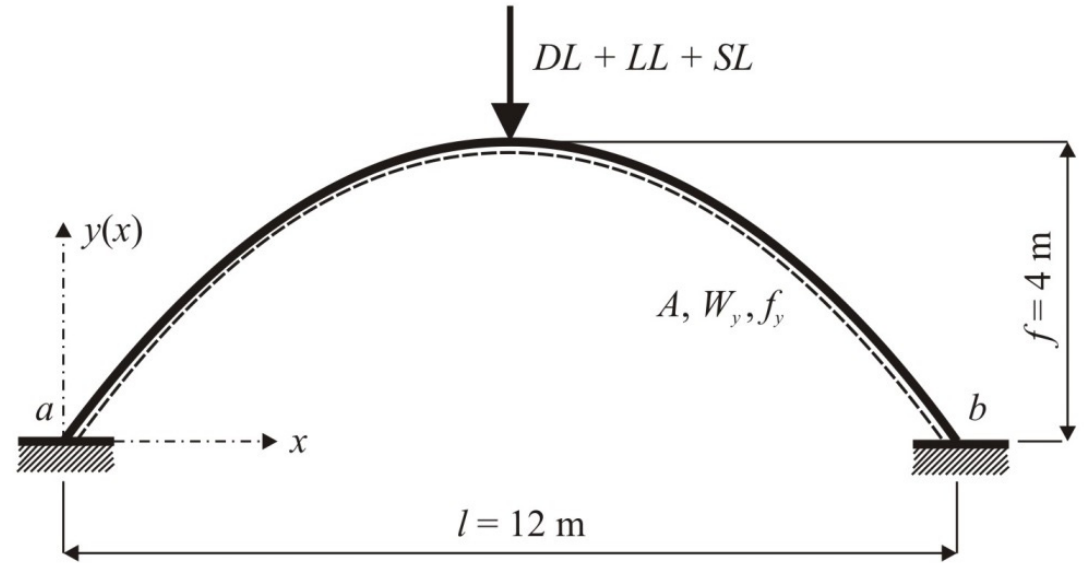
Pravděpodobnost poruchy $P_f = 5,133 \cdot 10^{-5}$ (RC2/CC2)

Doba výpočtu 3:20 min.



Příklad 3, Zadání

Statické schéma jednoduché konstrukce oboustranně vetknutého **parabolického oblouku** a zatíženého kombinací tří silových zatížení.



Posudek spolehlivosti proveden s využitím interakčního vzorce:

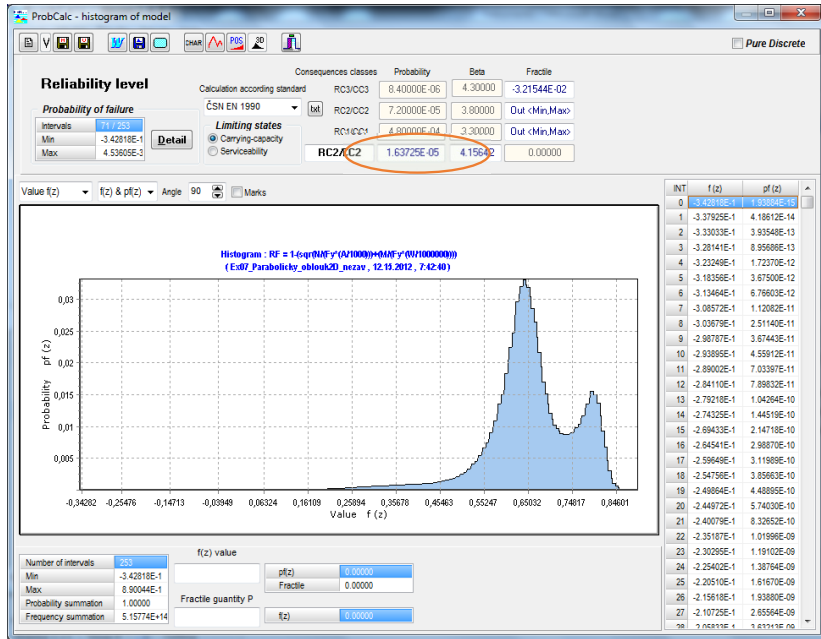
$$\left(\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}}\right)^2 + \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \leq 1$$

Pravděpodobnost poruchy P_f byla určena s využitím funkce spolehlivosti RF :

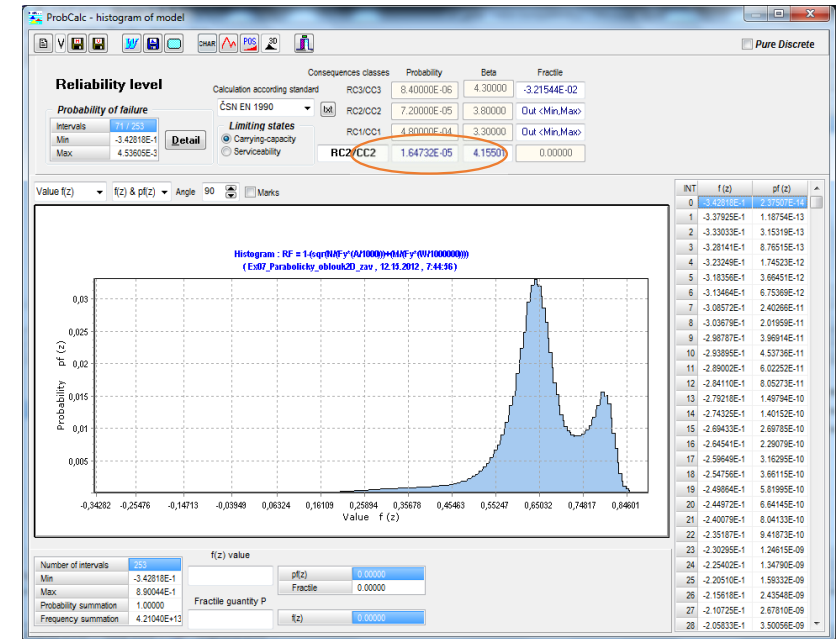
$$P_f = P(RF < 0) = P\left(1 - \left[\left(\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}}\right)^2 + \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right] < 0\right)$$

Příklad 3, Porovnání výsledků

Výsledný histogram funkce spolehlivosti RF , pravděpodobnostní výpočet se **statisticky nezávislými průřezovými charakteristikami**: průřezovou plochou A a průřezovým modulem W_y , pravděpodobnost poruchy $P_f = 1,637 \cdot 10^{-5}$.

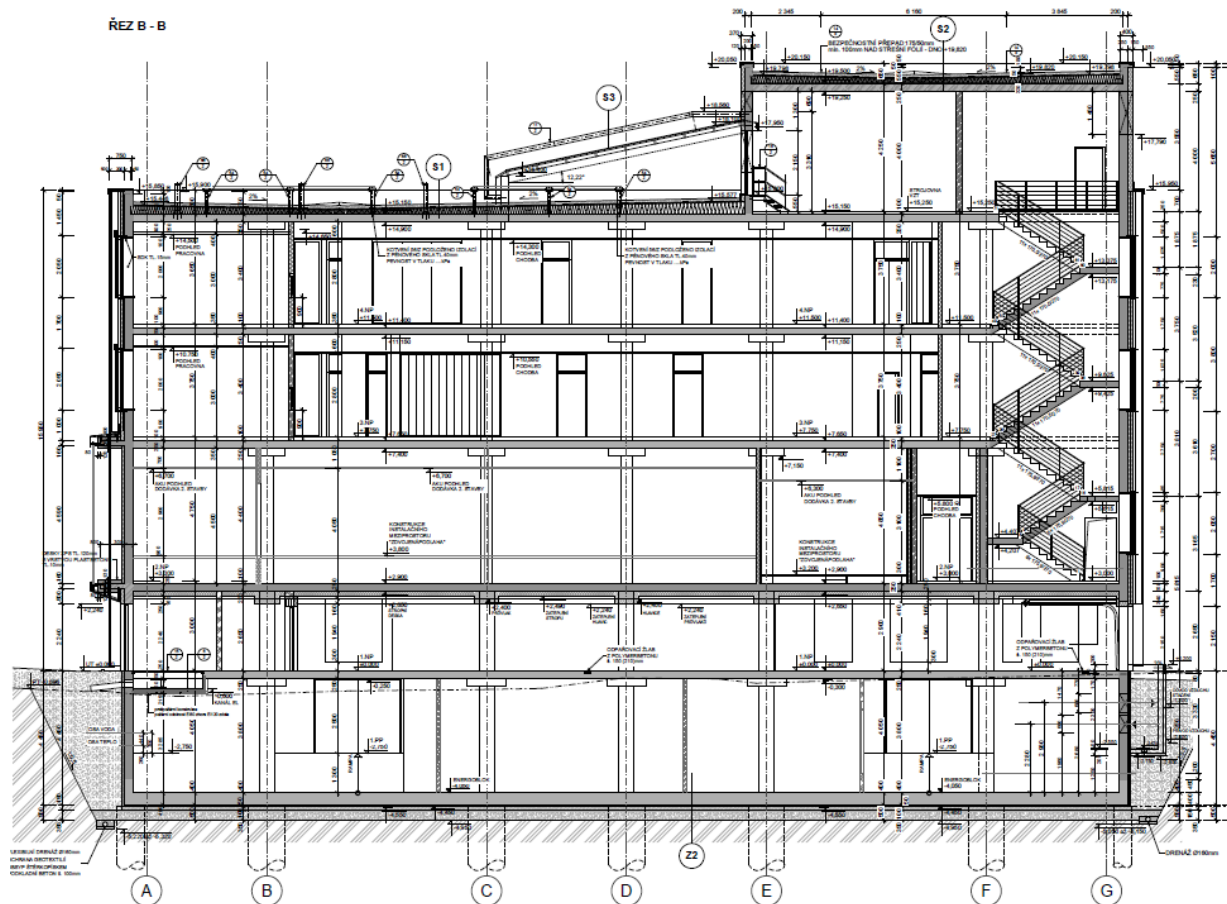


Výsledný histogram funkce spolehlivosti RF , pravděpodobnostní výpočet se **statisticky závislými průřezovými charakteristikami**: průřezovou plochou A a průřezovým modulem W_y , pravděpodobnost poruchy $1,647 \cdot 10^{-5}$.



Konstrukce superpočítačového centra <http://www.it4i.cz/>

- 5-ti podlažní budova,
- žebrová základová deska,
- železobetonová konstrukce se stěnami a sloupy.



Konstrukce superpočítačového centra <http://www.it4i.cz/>

Pohled na nosnou konstrukci
Superpočítačového centra
během výstavby



Konstrukce superpočítačového centra <http://www.it4i.cz/>

Pohled na nosnou
konstrukci
Superpočítačového
centra během
výstavby



Konstrukce superpočítačového centra <http://www.it4i.cz/>

Pohled na nosnou
konstrukci
Superpočítačového
centra během
výstavby



Konstrukce superpočítačového centra <http://www.it4i.cz/>

Pohled na nosnou konstrukci Superpočítačového centra během výstavby



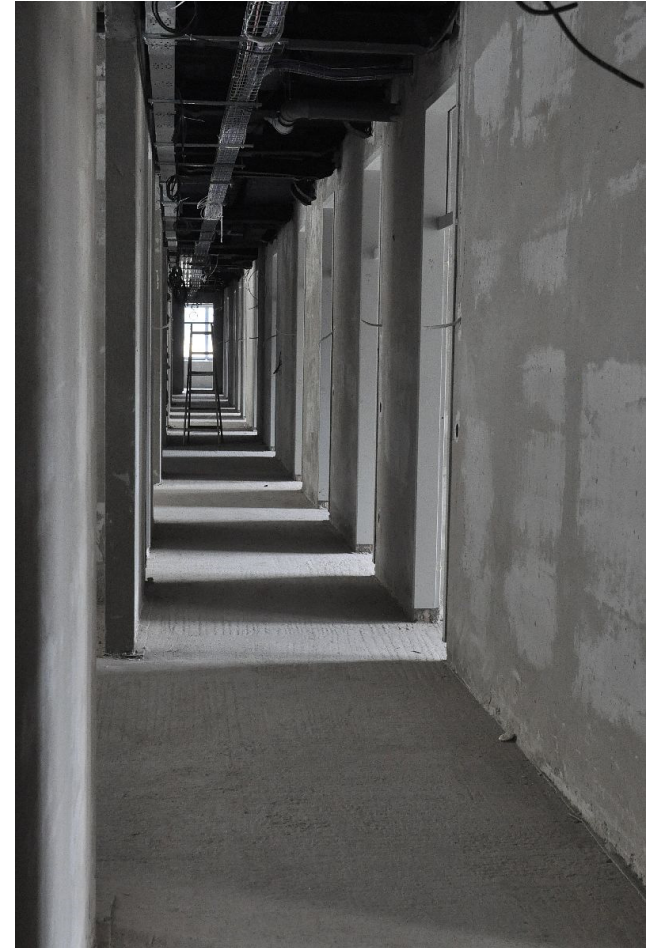
Konstrukce superpočítačového centra <http://www.it4i.cz/>

Pohled na nosnou konstrukci
Superpočítačového
centra během výstavby



Konstrukce superpočítačového centra <http://www.it4i.cz/>

Pohled na nosnou
konstrukci
Superpočítačového
centra během výstavby



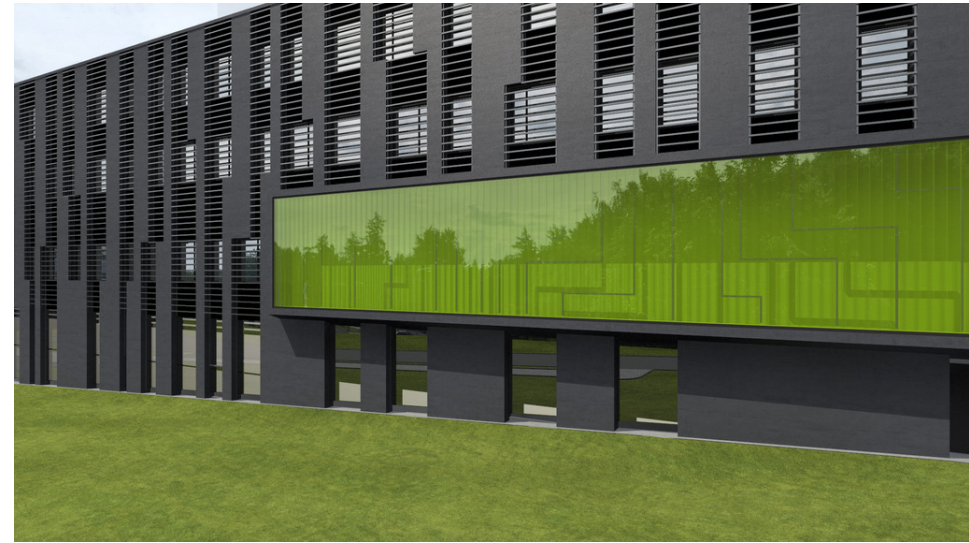
Konstrukce superpočítačového centra <http://www.it4i.cz/>

Pohled na nosnou konstrukci
Superpočítačového
centra během
výstavby



Konstrukce superpočítačového centra <http://www.it4i.cz/>

Národní superpočítačové centrum
IT4 Innovations, březen 2014



Základová konstrukce superpočítačového centra

- Základy pomocí pilot pod sloupy,
- Základová deska s žebry nahoru,
- Posuvný kloub na spodní ploše pro změnu objemu,
- Odstranění smršťovacích pásků.



Základová konstrukce superpočítačového centra

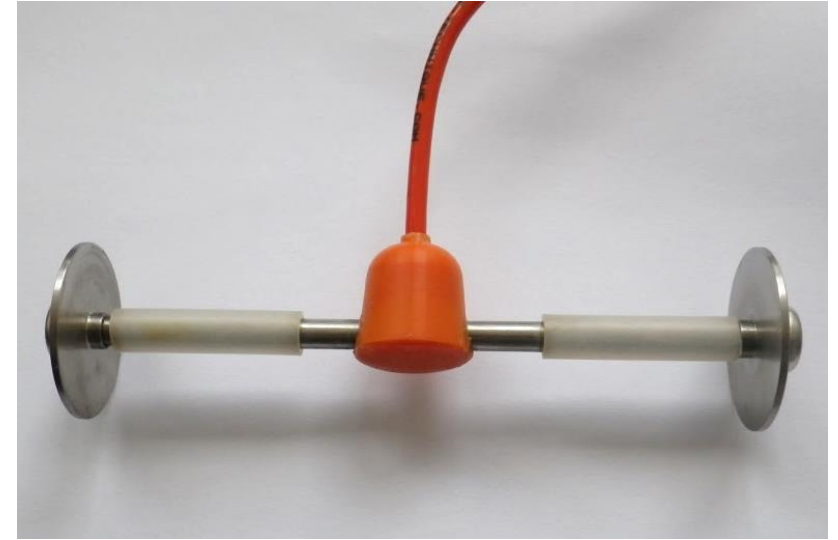
Cíle měření:

- Sledování hydratačního tepla při betonáži základové desky,
- Změna napětí v betonu,
- Porovnání tahových napětí s numerickým výpočtem.



Technologie měření

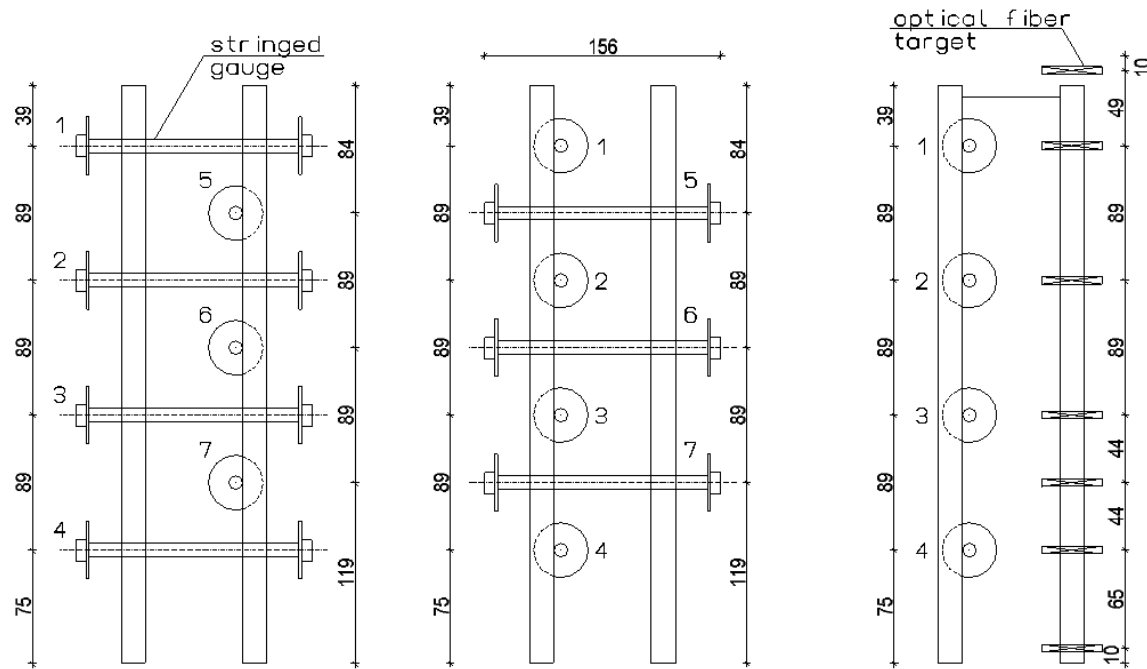
- optická vlákna - teplota
- strunové tenzometry - teplota/napětí
- fóliové tenzometry - deformace (napětí)
- digitální teploměr - teplota



Popis měřicího sloupku

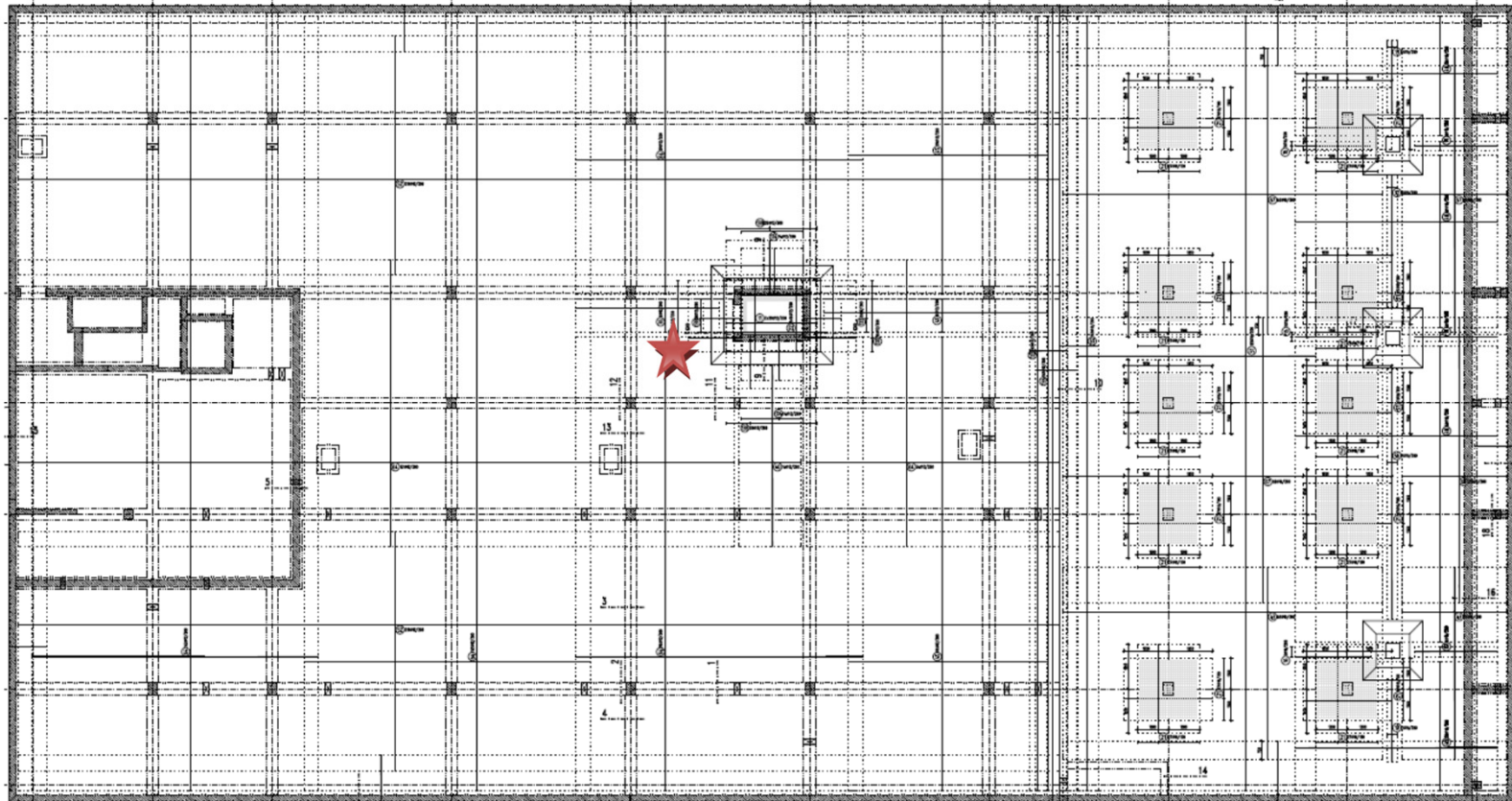
Měřicí sloupek namontovaný na železobetonové desce:

- 7x strunové tenzometry (3 v příčném a 4 v podélném směru)
- 6x svazky optických vláken



Půdorys základové desky

Schéma základové desky a umístění senzorů



Instalace měřicího sloupku do konstrukce



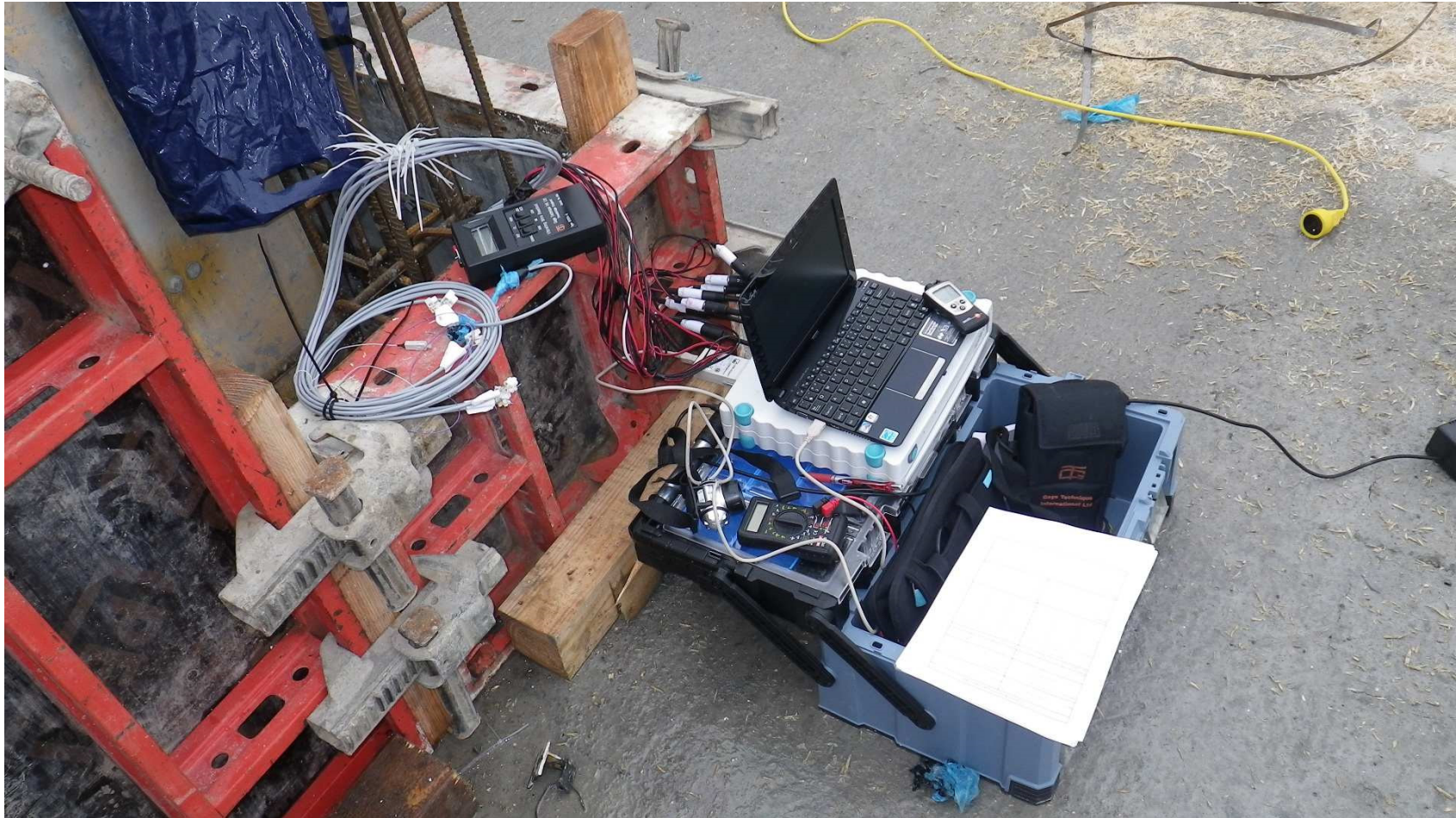
Instalace měřicího sloupku do konstrukce



Instalace měřicího sloupku do konstrukce

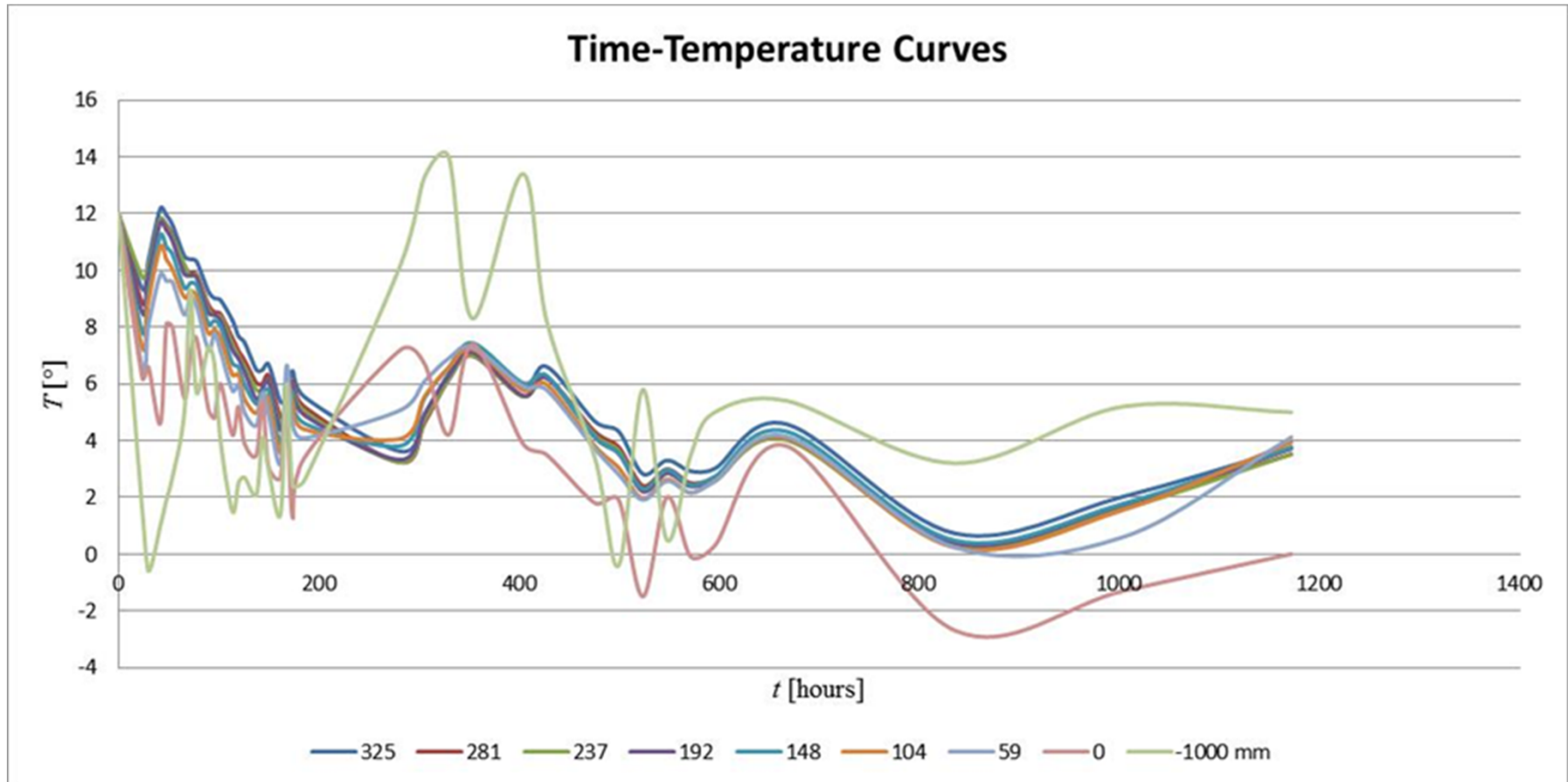


Sběr dat na staveništi



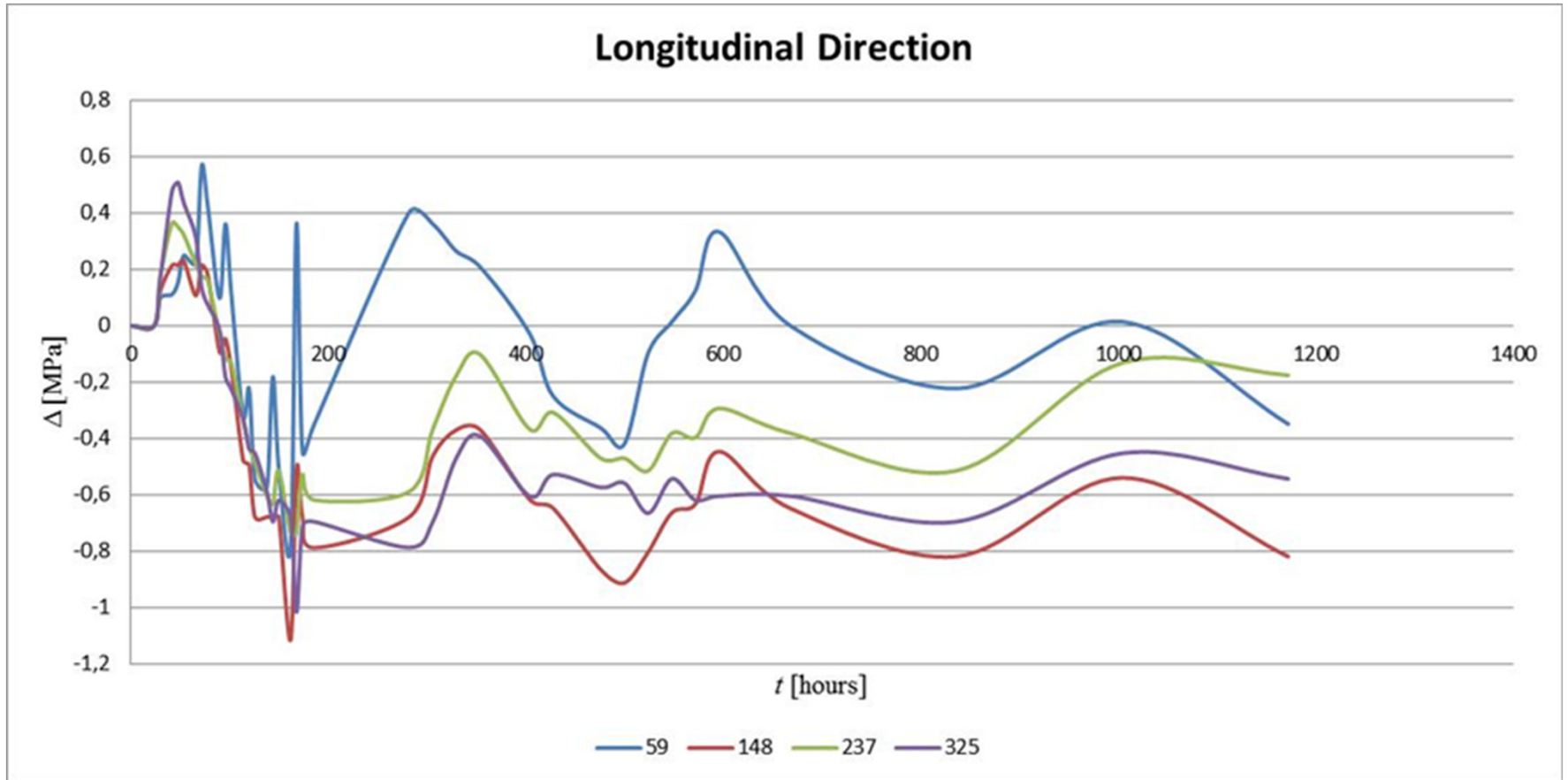
Časové záznamy naměřených dat

Časové záznamy teploty v betonové základové desce zhotovené pro 9 různých výšek



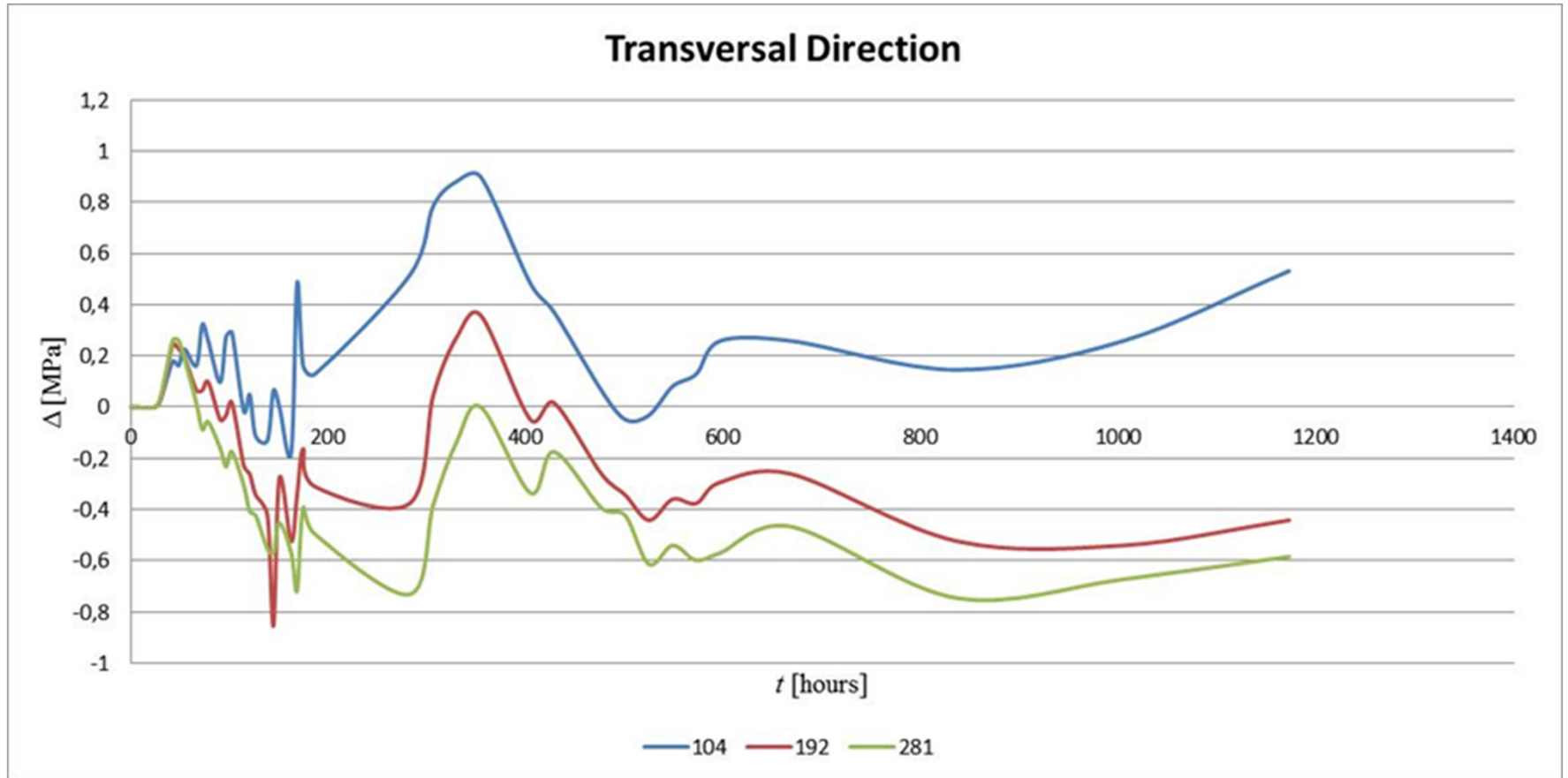
Časové záznamy naměřených dat

Změny normálového napětí v betonové desce v čase - v podélném směru pro 4 různé výšky



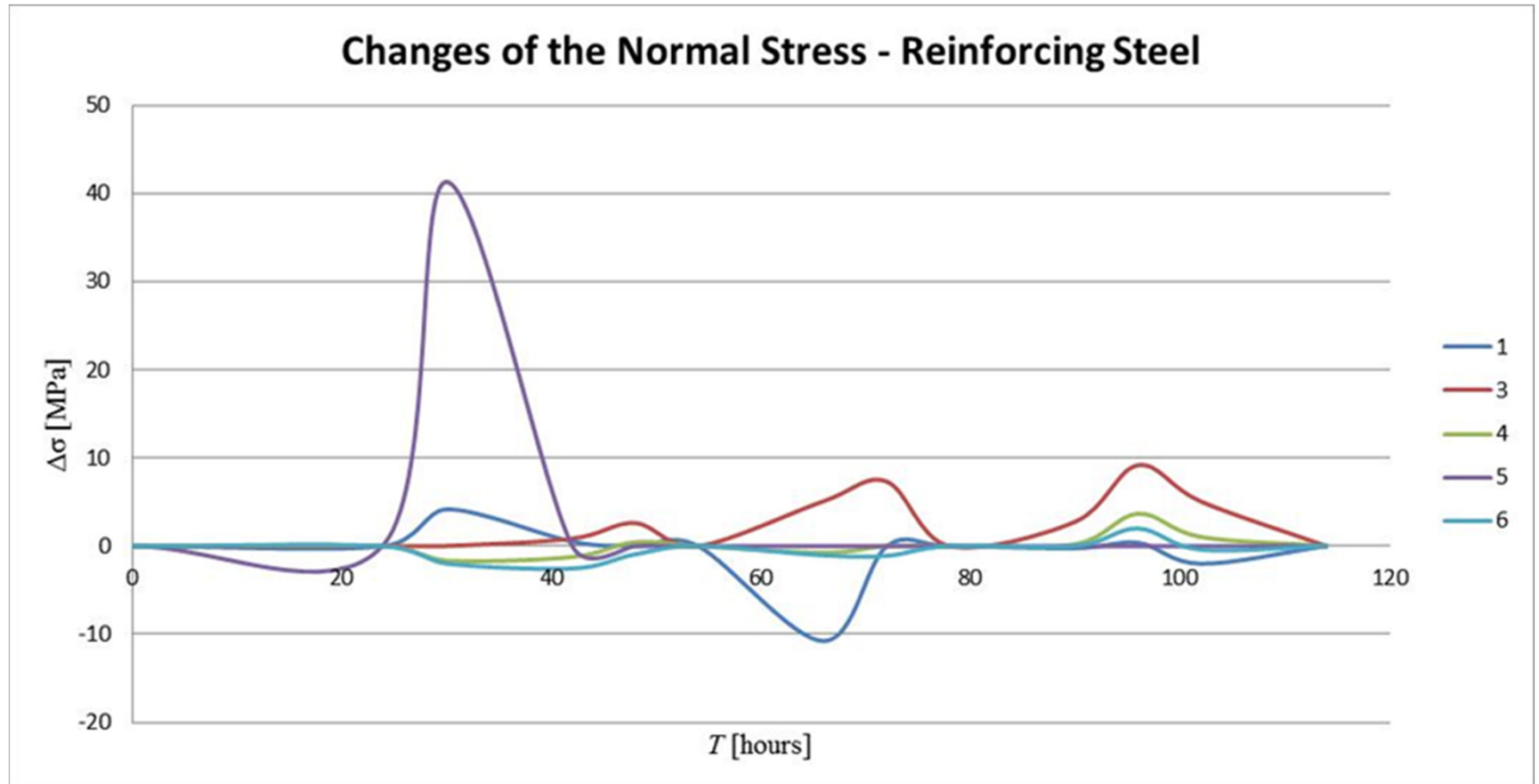
Časové záznamy naměřených dat

Změny normálového napětí v betonové desce v čase - v příčném směru pro 3 různé výšky



Časové záznamy naměřených dat

Změny normálového napětí v čase v ocelové výztuži základové desky



Analýza teploty v základové desce

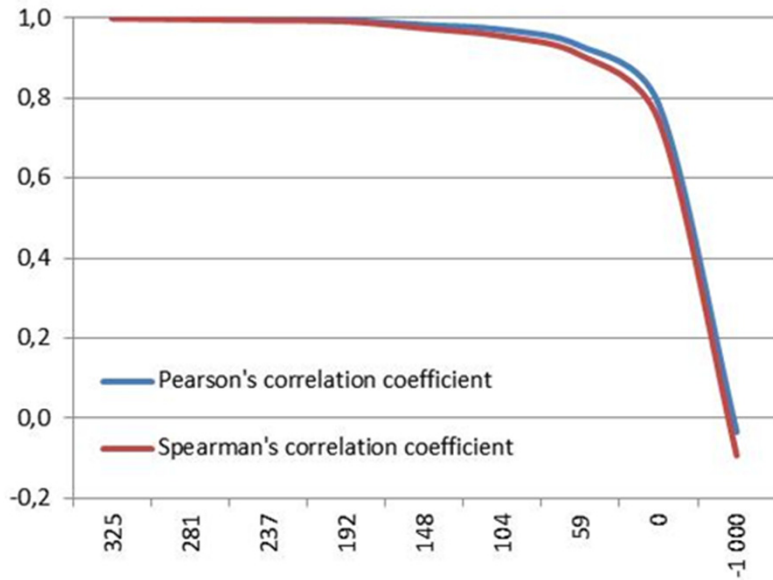
[mm]	325	281	237	192	148	104	59	0	-1000
325	1	0,999179	0,996923	0,995500	0,983759	0,971624	0,930670	0,785600	-0,034170
281		1	0,998172	0,997997	0,988557	0,978113	0,941768	0,793464	-0,129316
237			1	0,997222	0,988365	0,978245	0,942759	0,798301	-0,007715
192				1	0,995390	0,988138	0,957607	0,809621	0,028066
148					1	0,997432	0,978363	0,839512	0,106057
104						1	0,988934	0,859433	0,148671
59							1	0,899881	0,252198
0		sym.						1	0,298942
-1000									1

Korelační matice, která používá **Pearsonovy korelační koeficienty** k popisu statistické závislosti teploty v různých výškách základové desky a okolní teploty

[mm]	325	281	237	192	148	104	59	0	-1000
325	1	0,997100	0,994693	0,992175	0,974777	0,955080	0,907967	0,744175	-0,093153
281		1	0,998468	0,996990	0,981617	0,963234	0,919626	0,749822	-0,725701
237			1	0,998523	0,985556	0,969800	0,928818	0,762627	-0,051773
192				1	0,989439	0,975540	0,938054	0,769048	-0,024796
148					1	0,993216	0,967774	0,800925	0,068958
104						1	0,985939	0,836969	0,115915
59							1	0,881010	0,207761
0		sym.						1	0,244649
-1000									1

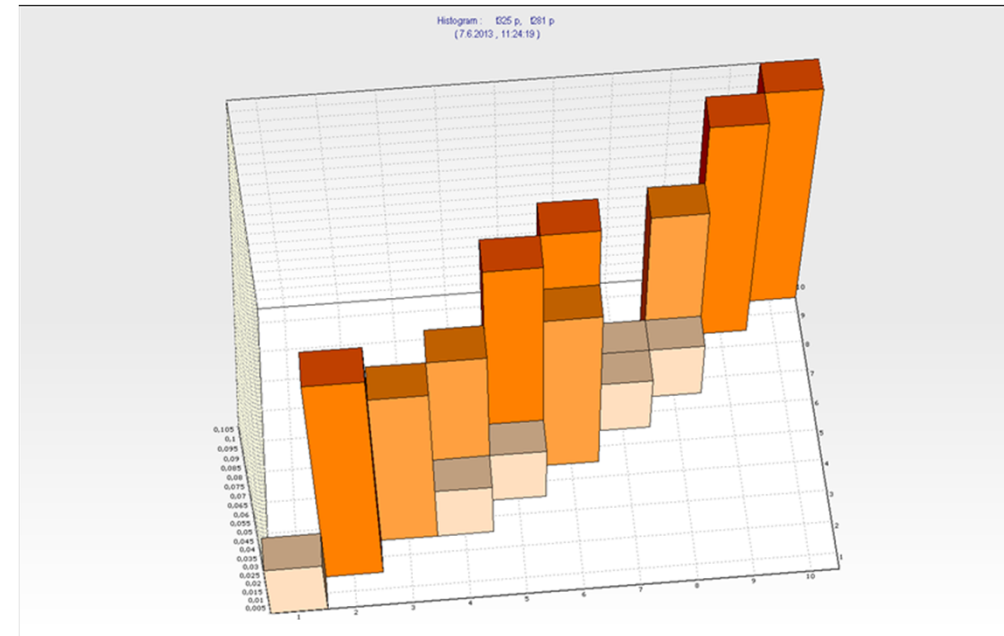
Korelační matice, která používá **Spearmanovy korelační koeficienty** k popisu statistické závislosti teploty v různých výškách základové desky a okolní teploty

Analýza teploty v základové desce



Pearsonovy a Spearmanovy korelační koeficienty mezi teplotami naměřenými ve výšce +325 mm a teplotami v ostatních měřicích úrovních

Pracovní plocha programu **HistAn2D**: Dvojný histogram popisující statistickou závislost náhodně proměnné teploty ve výškách +325 mm a +281 mm



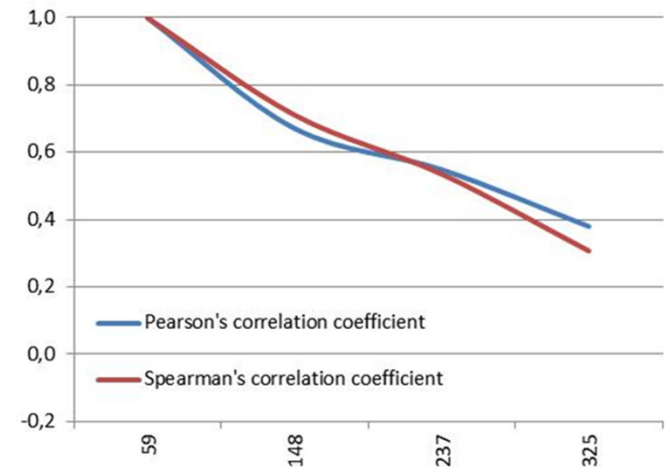
Analýza změn normálového napětí v desce

	59	148	237	325
59	1	0,671255	0,548708	0,379817
148		1	0,906740	0,894987
237			1	0,906740
325	sym.			1

	59	148	237	325
59	1	0,711119	0,535419	0,307283
148		1	0,860507	0,784488
237			1	0,860507
325	sym.			1

Korelační matice, která popisuje statistickou závislost změn **normálového napětí** v betonové desce v **podélném směru** ve čtyřech výškách pomocí **Pearsonova** (vlevo) a **Spearmanova** (vpravo) **korelačního koeficientu**

Pearsonův a **Spearmanův korelační koeficient** pro náhodně proměnnou hodnotu **normálového napětí** v základové desce v **podélném směru** měřeného ve výšce +59 mm v závislosti na hodnotách v jiných výškových úrovních



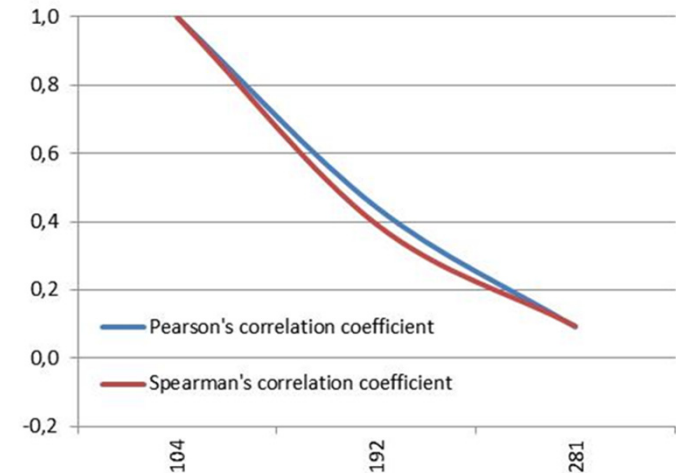
Analýza změn normálového napětí v desce

	104	192	281
104	1	0,443257	0,092120
192		1	0,874841
281			1

	104	192	281
104	1	0,393268	0,094875
192		1	0,918306
281			1

Korelační matice, která popisuje statistickou závislost změn **normálového napětí** v betonové desce v **příčném směru** ve třech výškách pomocí **Pearsonova** (vlevo) a **Spearmanova** (vpravo) **korelačního koeficientu**

Pearsonův a **Spearmanův korelační koeficient** pro náhodně proměnnou hodnotu **normálového napětí** v základové desce v **příčném směru** měřeného ve výšce +104 mm v závislosti na hodnotách v jiných výškových úrovních



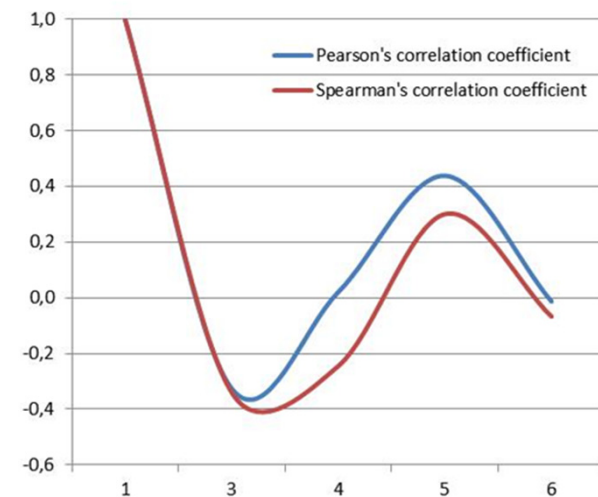
Analýza změn normálového napětí ve výztuži

senzor	1	3	4	5	6
1	1	-0,326076	0,020921	0,438671	-0,013040
3		1	0,659559	-0,267758	0,357575
4			1	-0,426226	0,861452
5				1	-0,401796
6					1

senzor	1	3	4	5	6
1	1	-0,340521	-0,244565	0,300965	-0,067029
3		1	0,369197	-0,254437	-0,172053
4			1	-0,541736	0,632246
5				1	-0,290020
6					1

Korelační matice popisující statistickou závislost změn **normálového napětí** v **ocelové výztuži** betonové desky s využitím pěti senzorů a **Pearsonova** (vlevo) a **Spearmanova korelačního koeficientu** (vpravo)

Pearsonův a **Spearmanův korelační koeficient** pro náhodně proměnnou hodnotu **normálového napětí** v **ocelové výztuži** základové desky měřenou senzorem #1 v kombinaci s hodnotami určenými senzory #3 až #6

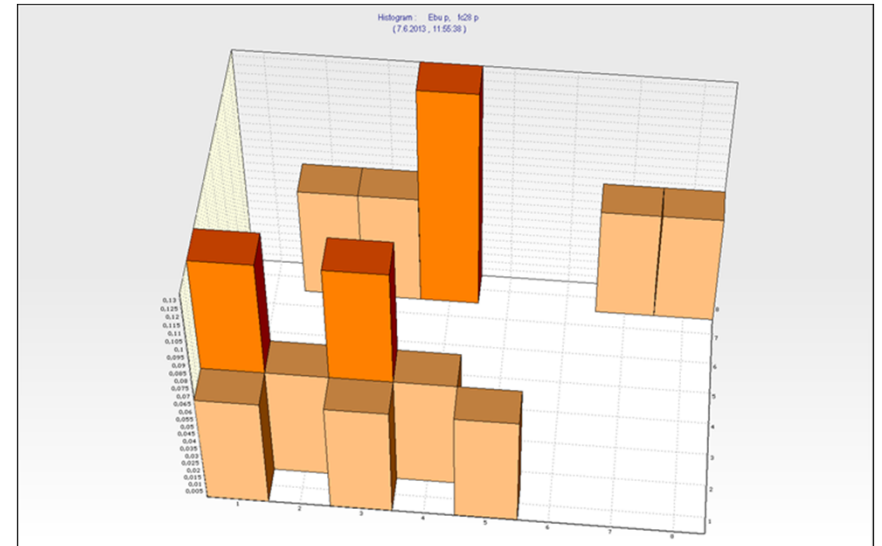


Analýza statistické závislosti

Analýza statistické závislosti **dynamického modulu pružnosti betonu** a **krychelné pevnosti betonu v tlaku**:

- **Dynamický modul pružnosti betonu** a **krychelná pevnost betonu v tlaku** – analýza pomocí **nedestruktivních testů**.
- Statistickou závislost mezi dvěma náhodně proměnnými veličinami lze opět popsat pomocí dvojice korelačních koeficientů (**Pearsonův** a **Spearmanův korelační koeficient** je roven 0,541351, resp. 0,524191) nebo pomocí dvojného histogramu.

Pracovní plocha programu HistAn2D: **Dvojný histogram**, který popisuje statistickou závislost **dynamického modulu pružnosti betonu** a **krychelné pevnosti betonu v tlaku**



Analýza statistické závislosti

Statistická analýza betonu v rámové konstrukci:

- Destruktivními zkouškami byly zjištěny fyzikální a mechanické parametry betonu v nosné konstrukci a podlahách při stavebně technickém průzkumu budovy Fakulty strojní VUT v Brně.
- Cílem tohoto průzkumu byla potřeba posoudit **kvalitu betonu** ve vybraných částech **vodorovných a svislých nosných konstrukcí**.

Pohled na konstrukci se starým opláštěním při kontrole



Analýza statistické závislosti

Statistická analýza betonu
v rámové konstrukci

Detail betonového rámu pod
obkladem před rekonstrukcí



Analýza statistické závislosti

Statistická analýza betonu v rámové konstrukci:

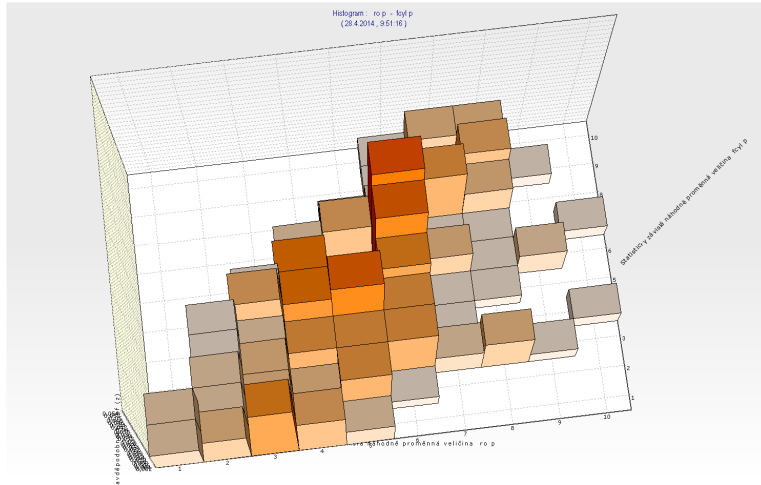
- Bylo provedeno 32 jádrových vrtů o průměru 45 mm na obvodových sloupech po celé výšce 17-ti patrové budovy.
- Ve vnitřních nosných sloupech mezi 1. a 10. nadzemním podlažím objektu bylo provedeno 25 jádrových vrtů.
- Ve vodorovných nosných konstrukcích bylo provedeno celkem 6 jádrových vrtů na 2., 4. a 6. podlaží.
- Ze všech jádrových vrtů bylo vytvořeno celkem 166 zkušebních těles pro stanovení pevnostních parametrů betonu.



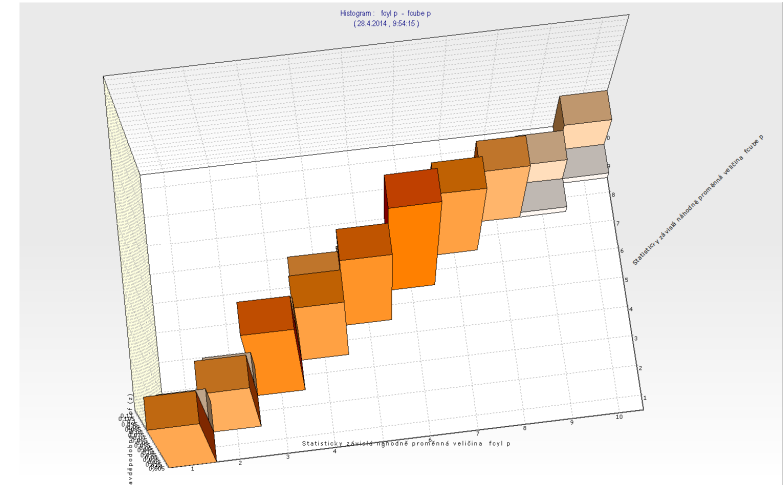
Analýza statistické závislosti

Statistická analýza betonu v rámové konstrukci:

Pomocí statistické a citlivostní analýzy byla následně zjištěna statistická závislost mezi **objemovou hmotností betonu** a **pevností betonu v tlaku** s korelací v rozmezí 60,8 % až 62,2 % a mezi **krychelnou** a **válcovou pevností betonu v tlaku** s korelací 99,8 % až 100,0 %.



objemová hmotnost vs. pevnost v tlaku,
korelace 60,8 % až 62,2 %



krychelná vs. válcová pevnost
v tlaku, korelace 99,8 % až 100,0 %

Analýza statistické závislosti

Statistická analýza betonu v rámové konstrukci:

- Dále byla provedena studie závislosti pevnostních vlastností betonu na výšce podlaží analyzovaného vzorku.
- Studie poukázala na mírnou statistickou korelaci mezi pevností betonu v tlaku a přízemím, kde byl jádrový vrt pro získání zkušebního vzorku proveden.
- Pevnost betonu v tlaku klesá s roustoucí výškou podlaží.

pevnost betonu v tlaku
vs. výška podlaží v budově,
korelace -21,1 % až -25,8 %

