



Katedra geotechniky a podzemního stavitelství

Modelování v geotechnice – Stochastické modelování
(prezentace pro výuku předmětu Modelování v geotechnice)

doc. RNDr. Eva Hrubešová, Ph.D.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Inovace studijního oboru Geotechnika CZ.1.07/2.2.00/28.0009.

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem ČR.

STOCHASTICKÉ MODELOVÁNÍ

variabilita vstupních dat vyplývající
z jejich náhodného charakteru



stochastická vstupní data modelu



deterministický výpočetní model



stochastické výsledky modelování

ZÁKLADNÍ PRINCIP SIMULAČNÍCH STOCHASTICKÝCH METOD

výpočetní model závislý na n vstupních parametrech popsán vztahem $Y=h(X_j), j=1,\dots,k$

X_j - vstupní náhodná veličina se známým rozložením pravděpodobnosti



náhodná generace hodnot vstupních náhodných veličin $X_j, j=1,\dots,k$



realizace parametrických výpočtů s nagegenerovanými hodnotami vstupních parametrů pro stanovení hodnot odezvy modelu

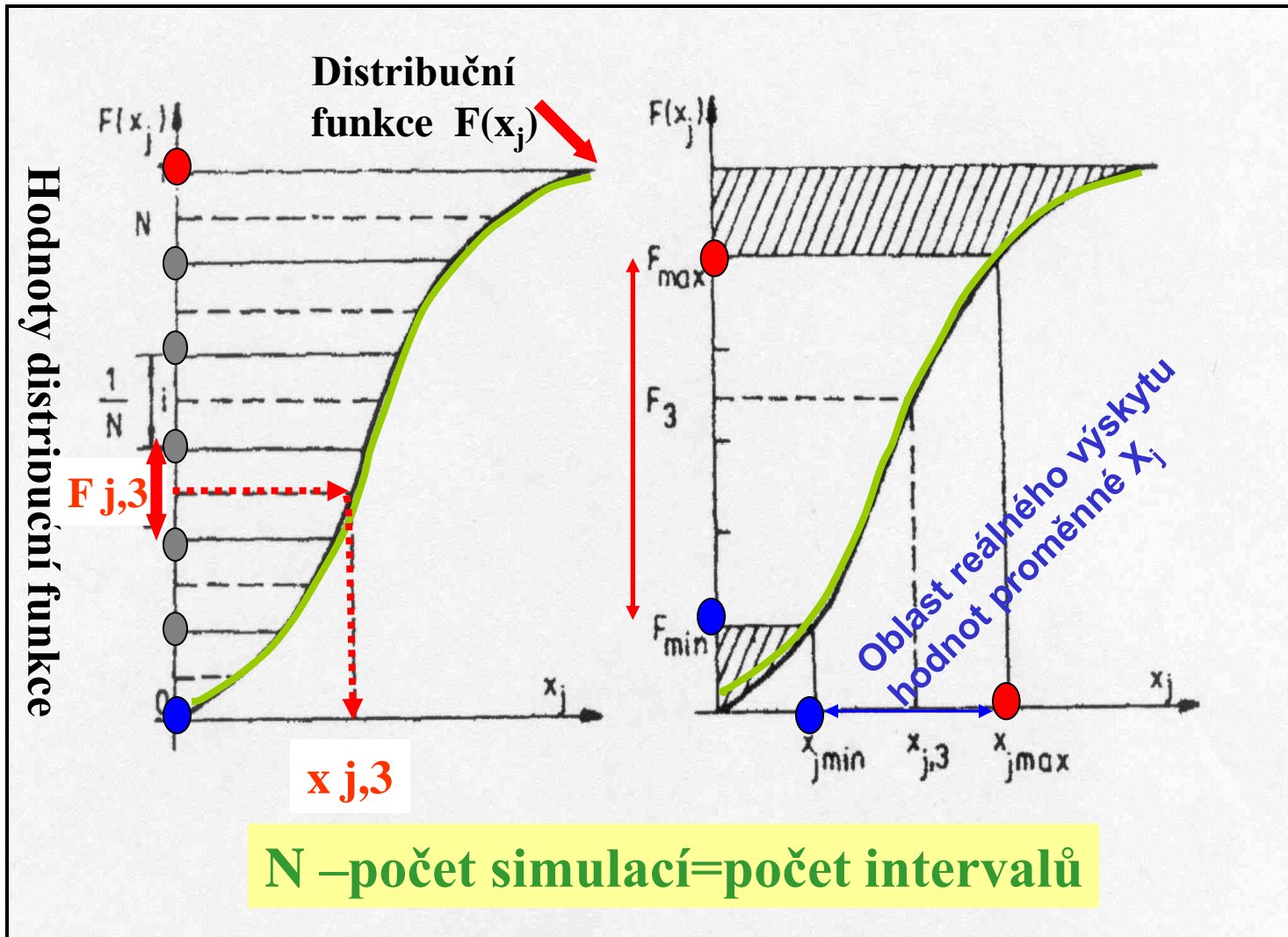


statistické vyhodnocení hodnot odezvy

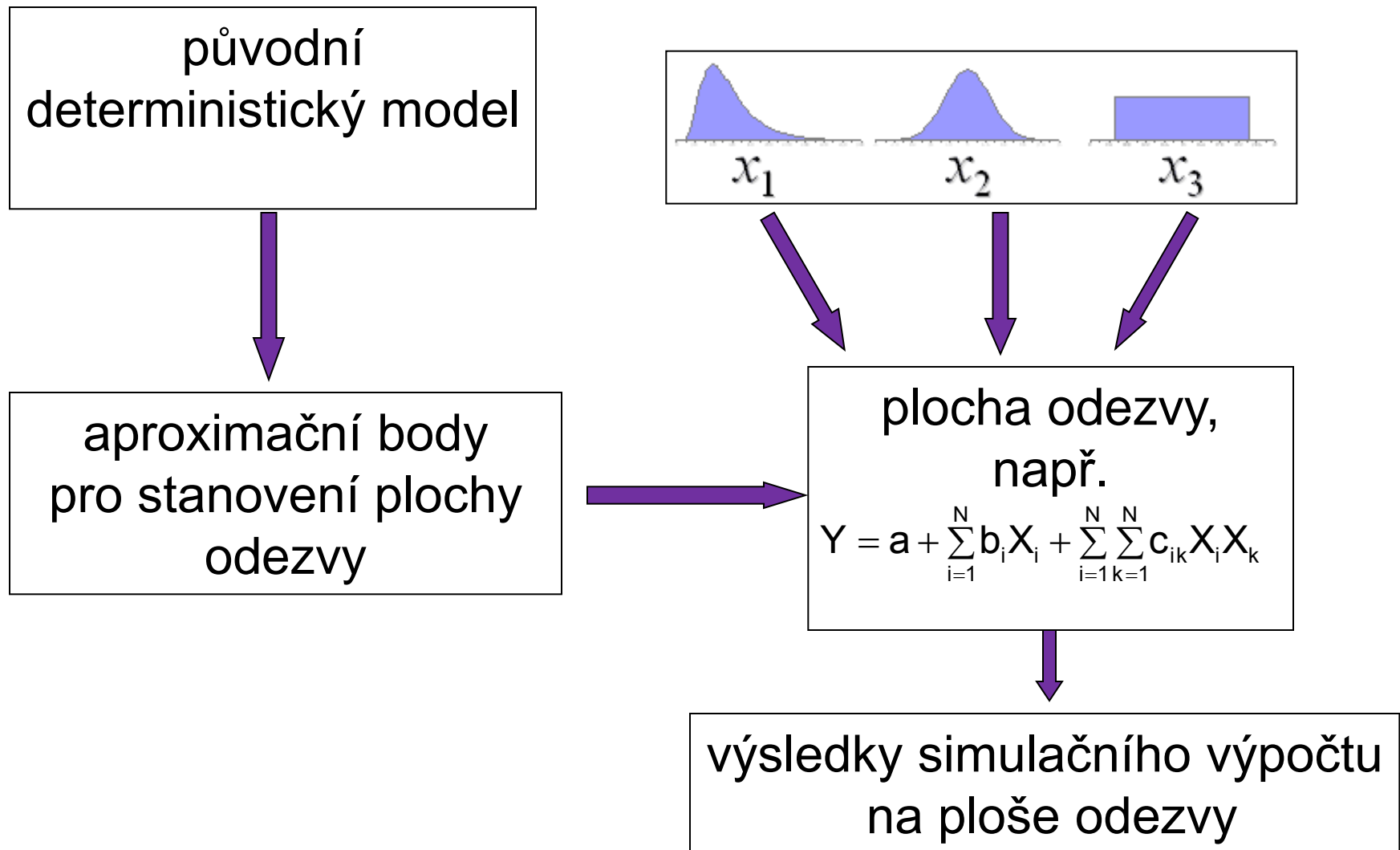
ZÁKLADNÍ SIMULAČNÍ STOCHASTICKÉ METODY

- metoda Monte Carlo
- metoda Latin Hypercube Sampling (LHS)
- metoda plochy odezvy (Response Surface Sampling)
- a další

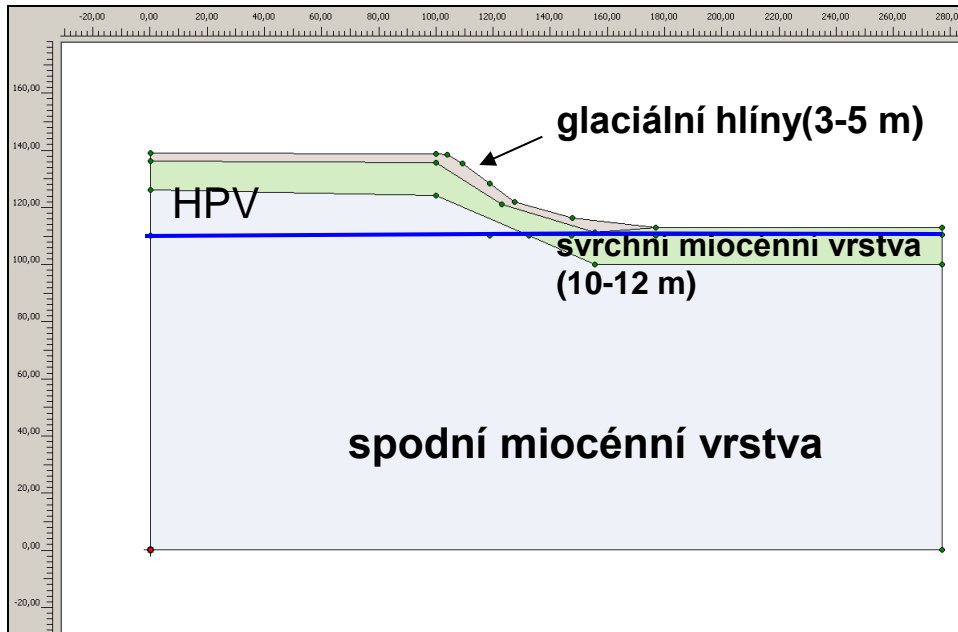
PRINCIP NÁHODNÉ GENERACE METODOU LHS



PRINCIP SIMULAČNÍ METODY RESPONSE SAMPLING



STOCHASTICKÉ MODELOVÁNÍ STABILITY SVAHU UJALA



Deterministické vstupní parametry

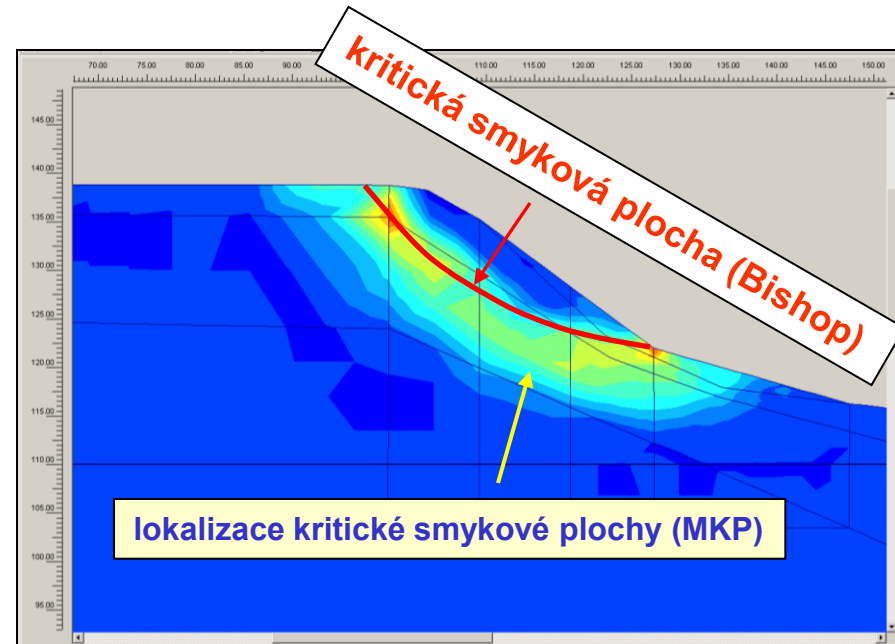
		glac. hlíny	miocén svrchní	miocén spodní
γ	[kN/m ³]	21	22	19.8
k_x	[m/day]	0.009	0.009	0.00004
k_y	[m/day]	0.009	0.009	0.00004
E	[kN/m ²]	6000	8000	20000
ν	[-]	0.3	0.25	0.2

Stochastické pevnostní parametry

		1 glac. hlíny		2 miocén svrchní		3 miocén spodní	
		dolní mez	horní mez	dolní mez	horní mez	dolní mez	horní mez
c	[kN/m ²]	16	26	8	16	40	60
φ	[°]	18	22	20	26	23	29

Modelování v geotechnice – Stochastické modelování

Varianta	Typ metody generace (počet simulací)	Způsob stanovení odezvy
1	LHS (22)	metoda mezní rovnováhy
2	LHS (22)	plocha odezvy stanovená metodou mezní rovnováhy ¹⁾
3	LHS (22)	pgm. PLAXIS
4	LHS (22)	plocha odezvy stanovená pgm. PLAXIS ²⁾
5	Monte Carlo (25 000)	metoda mezní rovnováhy (stochastický modul)



metoda mezní rovnováhy

Plaxis: metoda konečných prvků

1) Plocha odezvy (varianta 2):

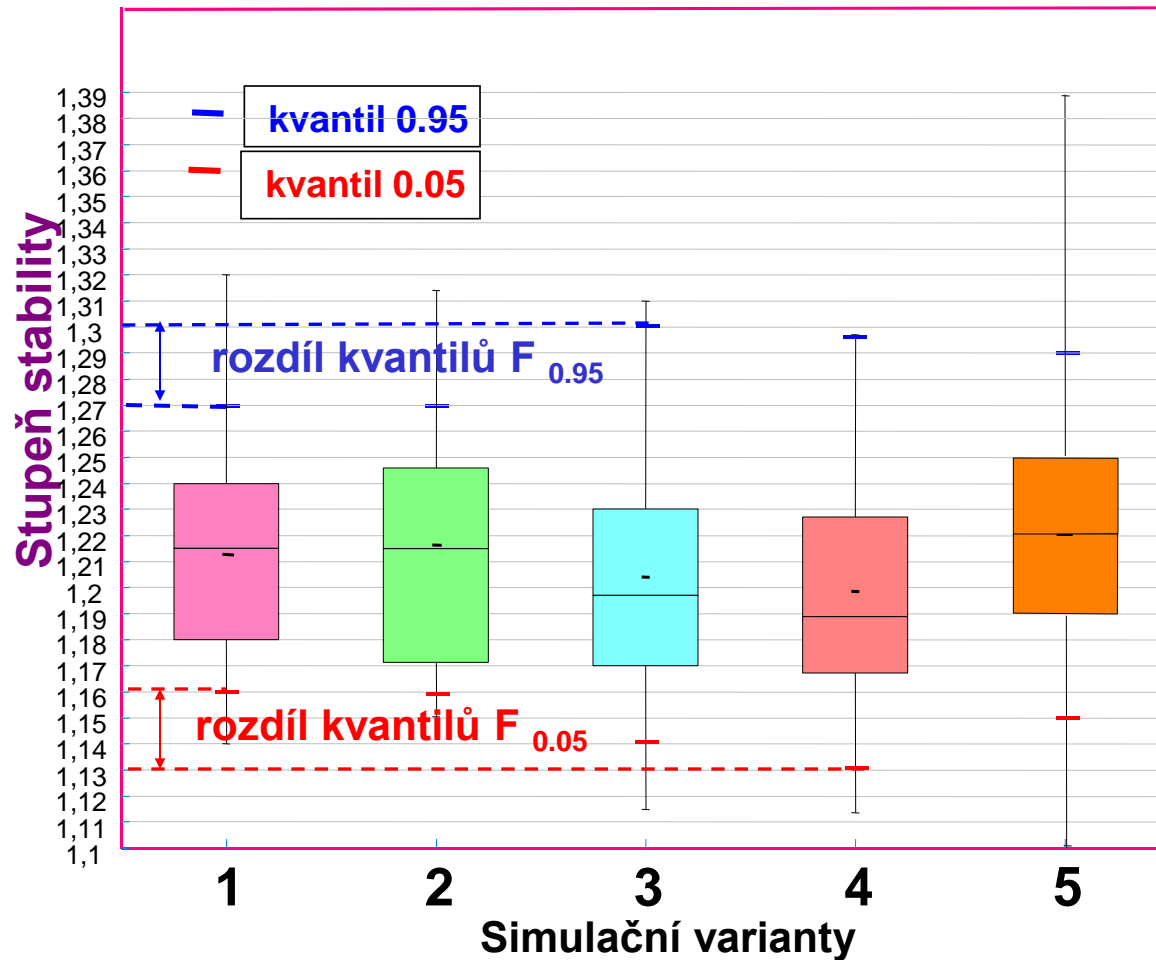
$$F = -0.1919 + 0.0106c_1 + 0.017c_2 - 0.002c_3 + 0.0149\varphi_1 + 0.0239\varphi_2 + 0.009\varphi_3$$

2) Plocha odezvy (varianta 4):

$$F = -0.235 + 0.0031c_1 + 0.025c_2 - 0.00229c_3 + 0.00748\varphi_1 + 0.0278\varphi_2 + 0.0159\varphi_3$$

Modelování v geotechnice – Stochastické modelování

KRABICOVÉ GRAFY PRO JEDNOTLIVÉ SIMULAČNÍ VARIANTY



střed. hodnota:
1.2-1.22

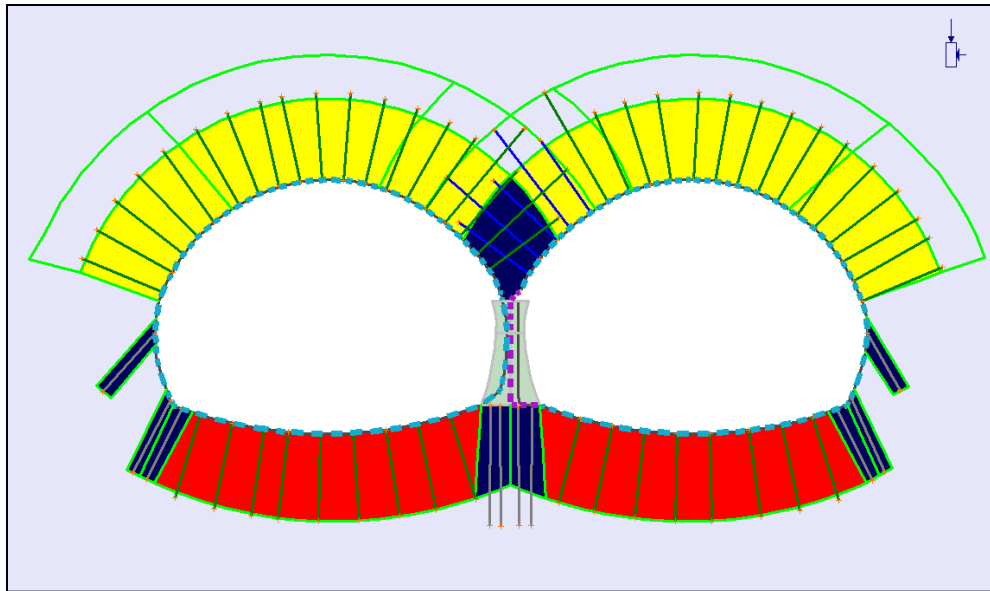
směr. odchylka:
0.043-0.051

kvantil $F_{0.05}$:
1.13-1.16

kvantil $F_{0.95}$:
1.27-1.3

Počet simul. výpočtů:
var. 1-4: **22**
var. 5: **25 000**

SIMULAČNÍ VÝPOČET PRO STANOVENÍ VNITŘNÍCH SIL VE VÝZTUŽI TUNELU VALÍK

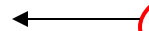


Charakteristika tunelu

- délka tunelu : 380 m
- plocha příčného průřezu: cca 130 m²
- max. šířka výlomu v kalotě: cca 16 m
- max. výška : cca 11.7 m
- primární obezdvívka: stříkaný beton C16/20 tl. 23 cm a svorníky
- sekundární výztuž: beton C 25/30 tl. 40 cm+ armování
- charakteristika prostředí: porušené břidlice s jílovitou výplní puklin
- způsob ražby: NRTM

Simulace metodou LHS

Model odezvy: MKP



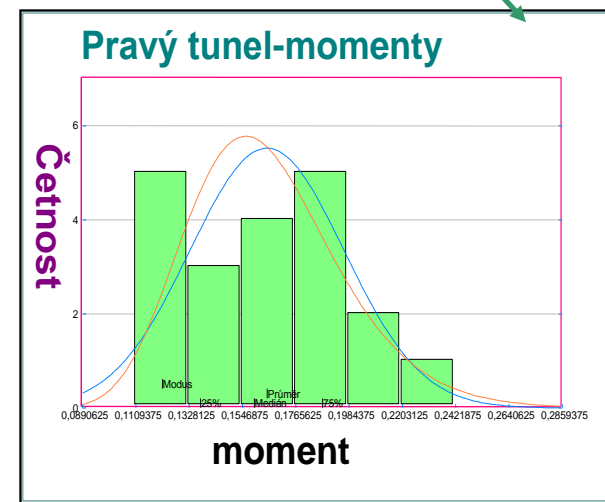
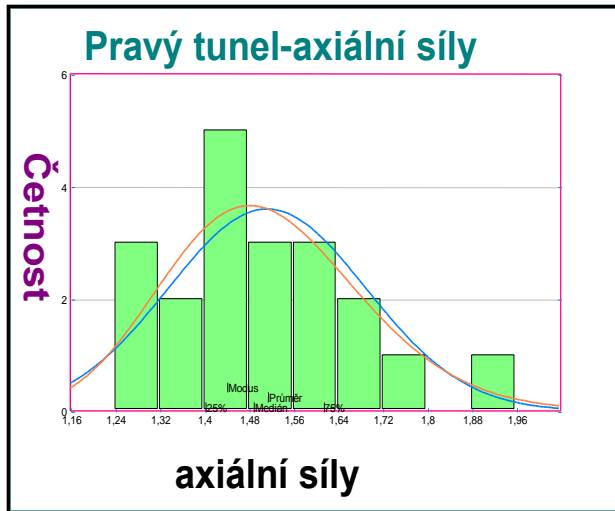
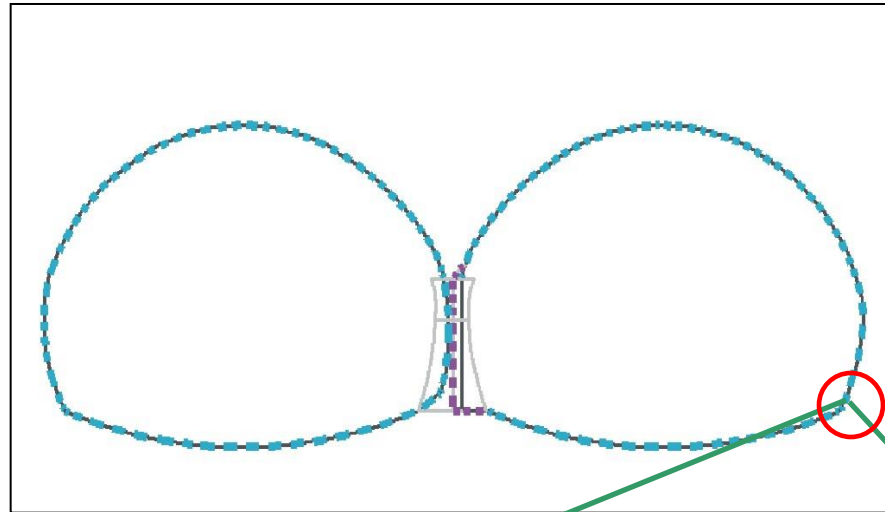
Modelování v geotechnice – Stochastické modelování

Tabulka generovaných hodnot charakteristik prostředí metodou LHS

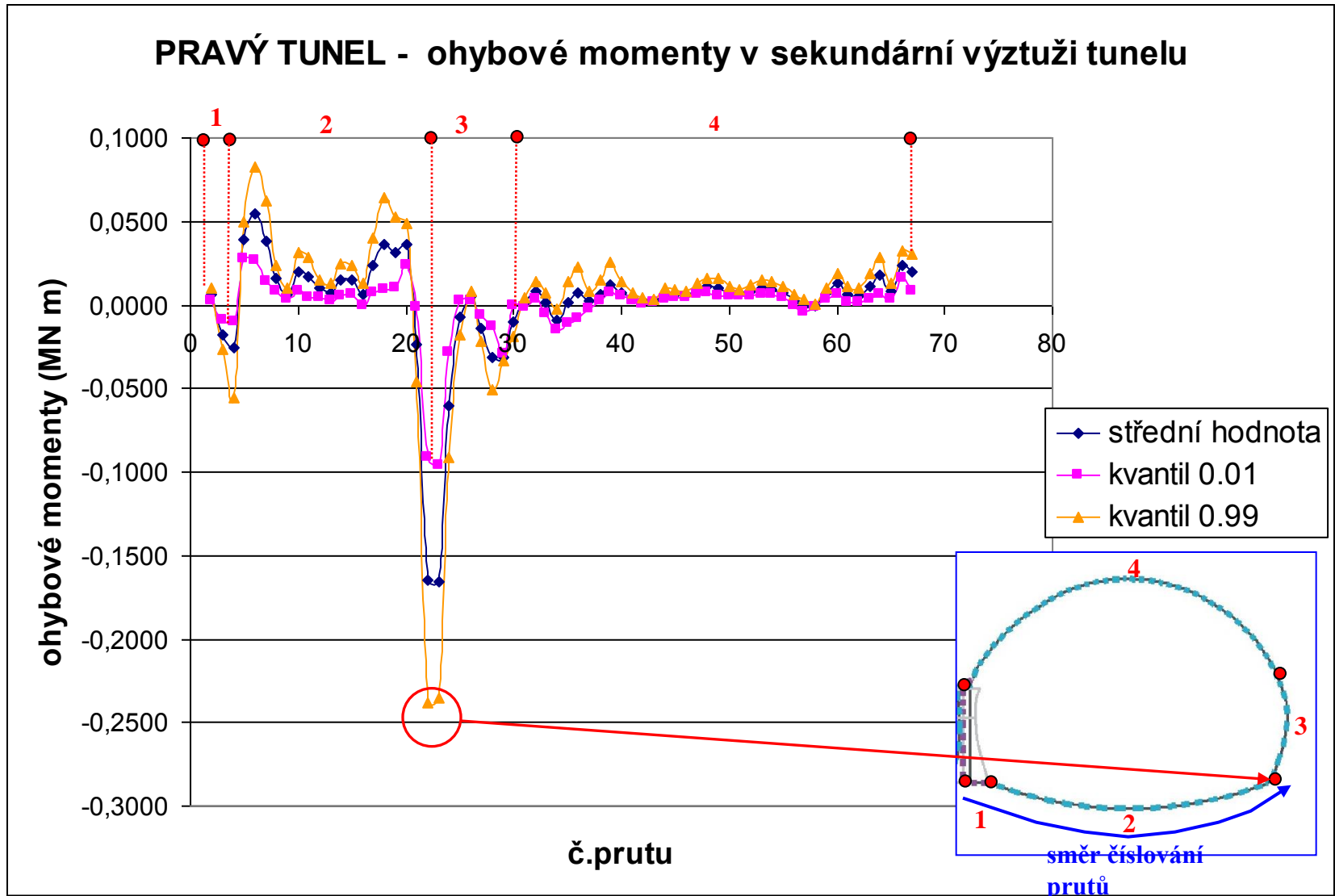
číslo generace	objem.tíha KN/m3	úhel tření °	soudržnost kPa	dilatance °	boč.tlak MPa	E II s foliací MPa	Poiss. číslo	souč. aniz.	úklon puklin °	zatěž. funkce
	normální	lognorm.	lognorm.	normální	normální	lognorm.	normální	normální	normální	normální
1	24,1	34,32	59,47	8,7	0,34	595	0,29	1,13	63	0,68
2	23,6	31,56	52,89	9,1	0,40	796	0,26	1,11	75	0,66
3	24,3	36,58	51,38	8,5	0,38	429	0,27	1,15	68	0,65
4	23,6	34,73	72,78	7,9	0,37	330	0,29	1,11	65	0,70
5	23,8	32,78	56,42	9,2	0,42	575	0,30	1,12	65	0,70
6	24,1	36,20	68,02	8,8	0,43	557	0,28	1,14	67	0,67
7	23,8	35,90	62,61	8,3	0,41	487	0,24	1,09	71	0,72
8	23,3	33,65	63,76	8,5	0,45	504	0,23	1,16	63	0,74
9	23,5	35,16	70,02	9,0	0,37	521	0,28	1,14	69	0,77
10	24,6	35,63	55,34	9,5	0,42	640	0,32	1,17	58	0,73
11	23,7	33,12	60,49	8,0	0,43	406	0,28	1,10	72	0,78
12	23,9	34,52	54,18	8,1	0,46	739	0,29	1,15	55	0,75
13	24,0	37,99	58,47	8,9	0,41	539	0,31	1,14	70	0,64
14	23,7	37,08	46,16	8,6	0,39	699	0,26	1,11	67	0,76
15	23,4	33,89	65,01	8,4	0,39	616	0,27	1,08	61	0,63
16	22,9	34,94	49,43	7,8	0,35	450	0,26	1,12	66	0,61
17	23,9	34,10	77,94	8,7	0,36	469	0,25	1,13	62	0,79
18	23,4	32,34	57,46	8,2	0,38	377	0,30	1,12	60	0,69
19	24,2	33,40	66,40	7,5	0,40	667	0,27	1,10	59	0,62
20	23,2	35,38	61,53	8,3	0,44	909	0,25	1,13	64	0,71
Počet hodnot	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000
Průměr	23,750	34,663	60,488	8,500	0,400	565,234	0,275	1,125	65,000	0,700
Medián	23,750	34,626	59,982	8,500	0,400	547,758	0,275	1,125	65,000	0,700
Směr. odch.	0,411	1,636	8,079	0,493	0,033	146,749	0,025	0,025	4,935	0,055
Minimum	22,942	31,562	46,161	7,531	0,335	329,940	0,227	1,077	55,308	0,607
Maximum	24,558	37,990	77,939	9,469	0,465	909,141	0,323	1,173	74,692	0,793

vstupní data 7. simulačního výpočtu

Modelování v geotechnice – Stochastické modelování



Průběh ohybových momentů v sekundární výztuži tunelu



Tabulka výsledků stochastického modelování

Vyhodnocovaná odezva modelu	Rozmezí vnitřních sil s 98 % pravděpodobností	Lokalizace po obvodu tunelu
Ohybový moment M_{\max} (kN m)	(26.7, 83.1)	v protiklenbě v části přiléhající ke střednímu pilíři
Ohybový moment M_{\min} (kN m)	(-95.7, -238)	přechod mezi protiklenbou a bokem tunelu
Normálová síla N_{\max} (kN)	(1642, 2705)	nad středním pilířem
Normálová síla N_{\min} (kN)	(-250,-34)	ve středu protiklenby