



INVESTMENTS IN EDUCATION DEVELOPMENT

Research group for radioactive waste repository and nuclear safety
(CZ.1.07/2.3.00/20.0052)

Vliv tepla produkovaného vysoce aktivním odpadem na proudění podzemních vod v okolí hlubinného úložiště radioaktivního odpadu

Tomáš Kuchovský

INOVATIVNÍ SANAČNÍ TECHNOLOGIE VE VÝZKUMU A PRAXI VII

Praha, 16.10.2014

Jaderná energetika v ČR

Temelín



od 2002

2 x 1.000 MW

2 x 1.000 MW

Dukovany



od 1987 (do 2015)

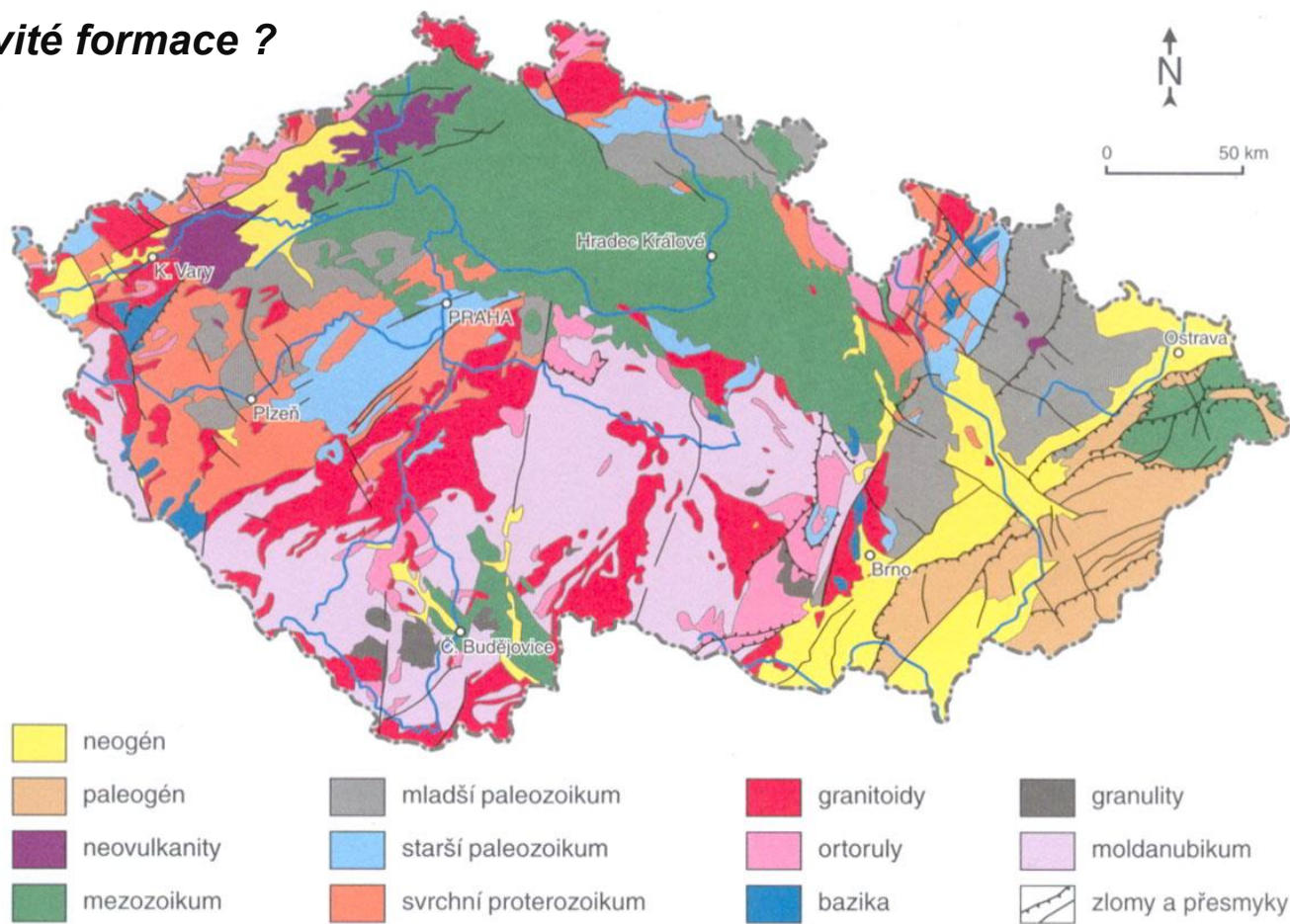
4 x 500 MW

mezisklad vyhořelého jaderného paliva



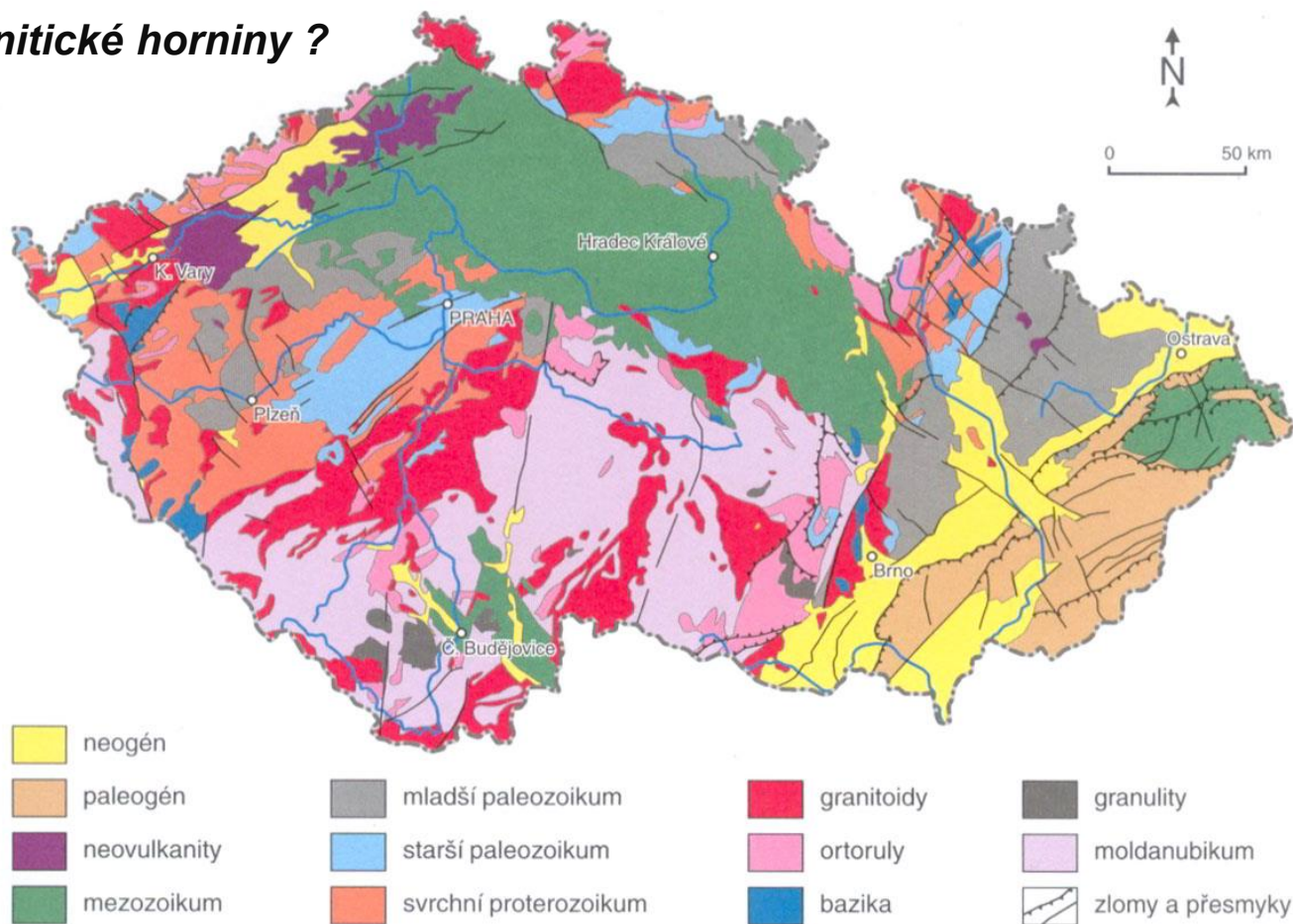
Geologická stavba ČR

Jílovité formace ?



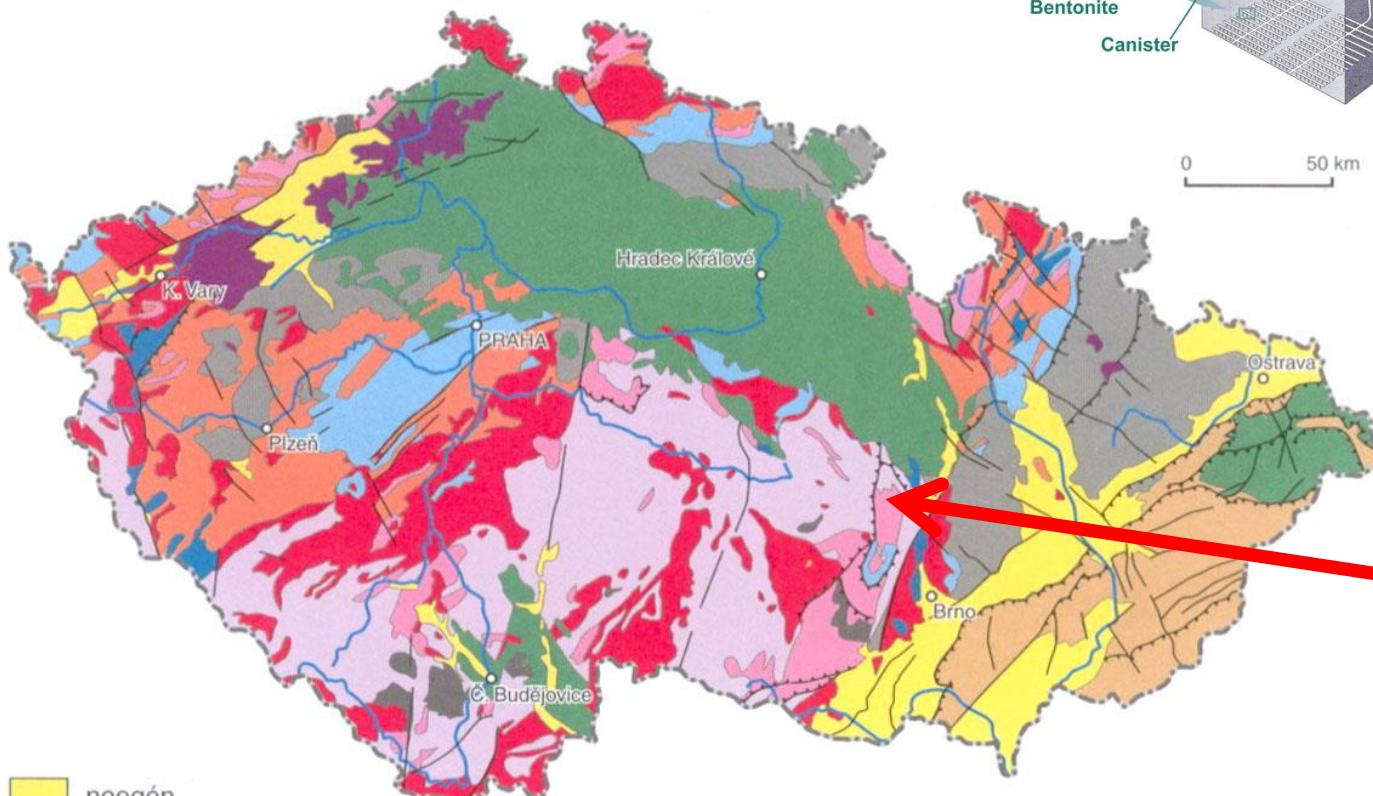
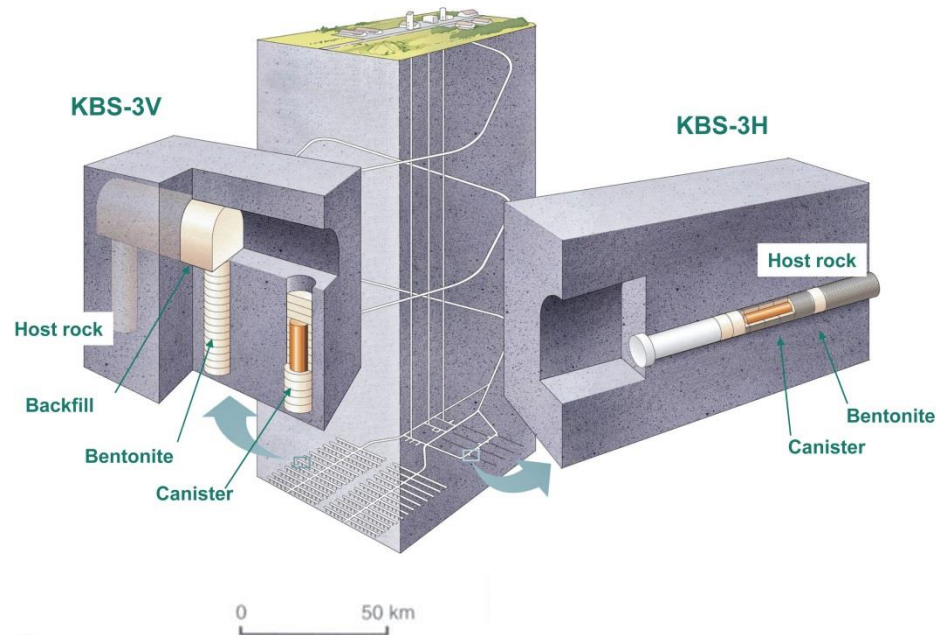
Geologická stavba ČR

Granitické horniny ?



Geologická stavba ČR

KBS3 koncept

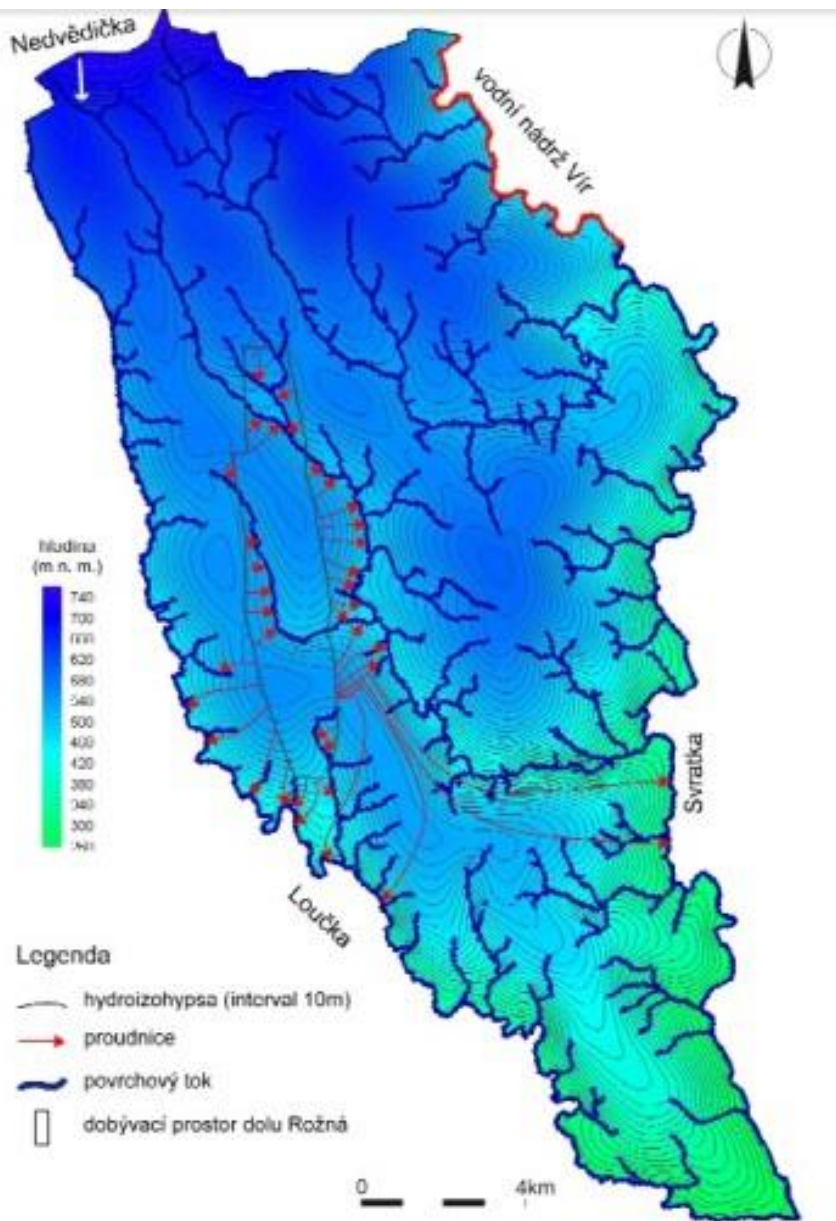


Hlubinné úložiště ???

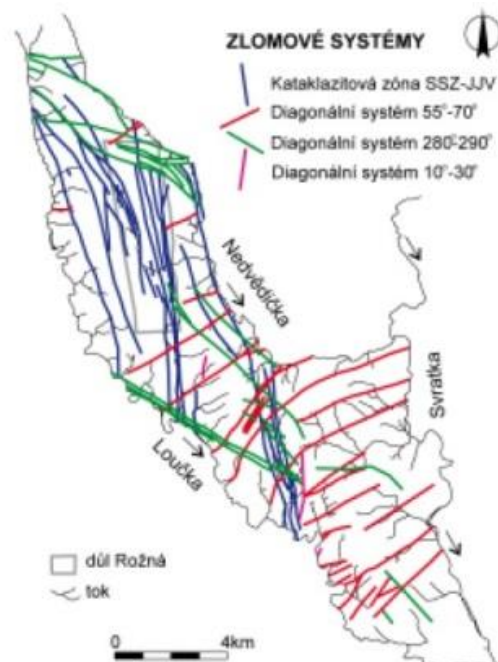
URL ???

oblast Rožné ???

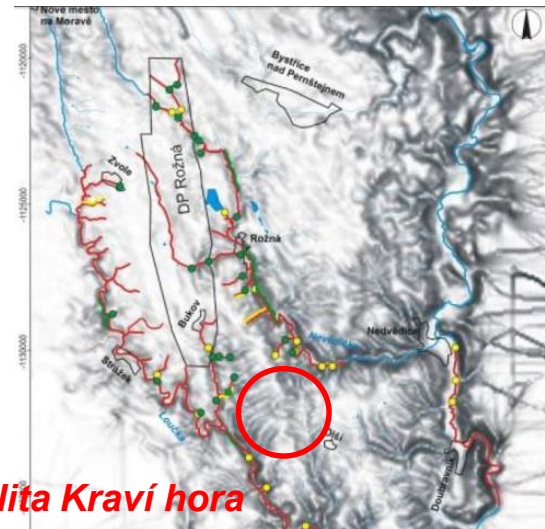
numerický model proudění podzemních vod



tektonické struktury

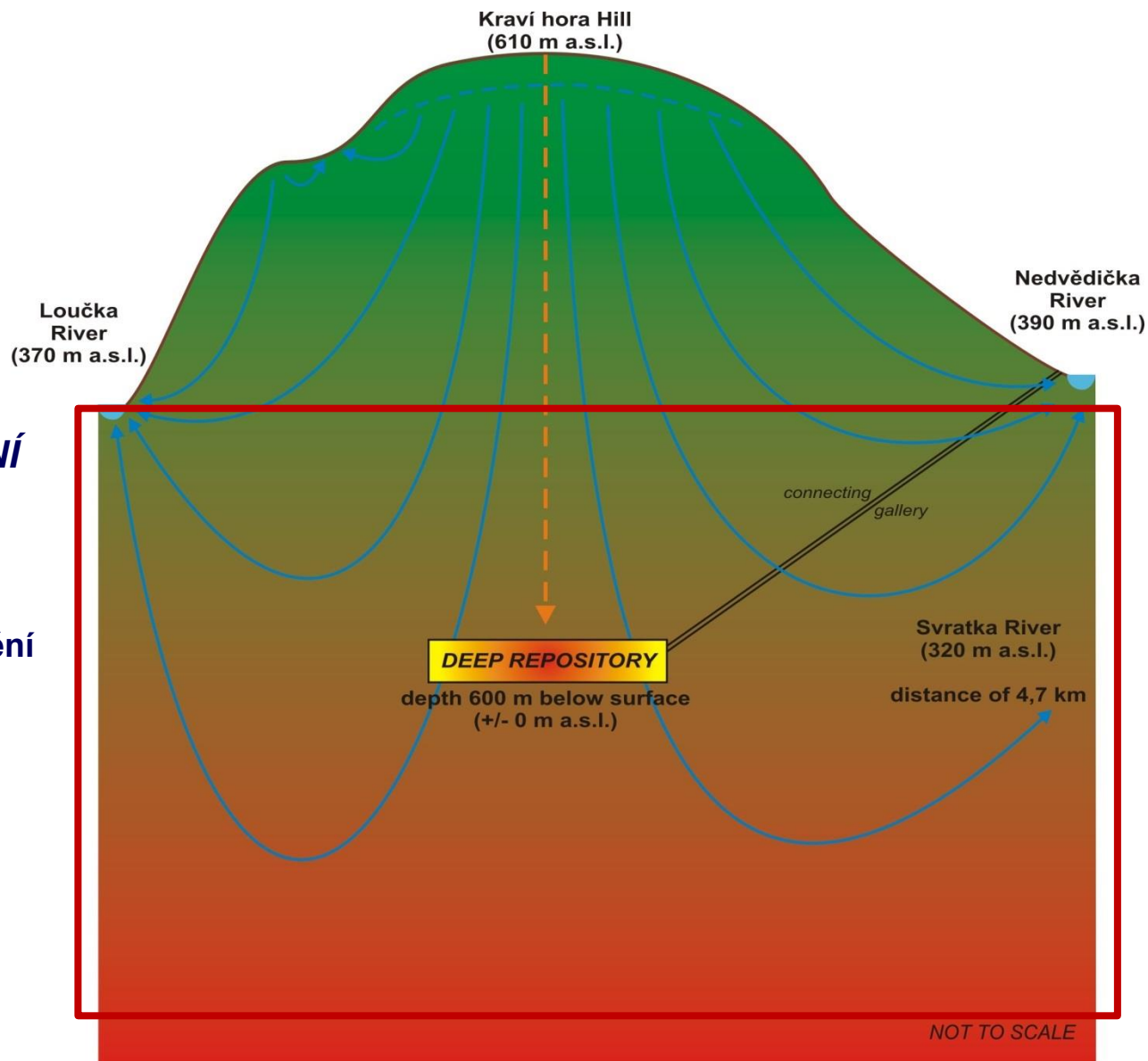


nehomogenní proudění



potenciální lokalita Kraví hora

Může teplo produkované v hlubinném úložišti ovlivnit regionální proudění ?



PROUDĚNÍ

výsledky z regionálního modelu proudění

hluboký oběh

vstupy:

atm. srážky

výstupy:

řeky

TEPLO

vstupy:

bazální tepel. tok

radiogenní teplo

srážková voda

vyhořelé palivo

výstupy:

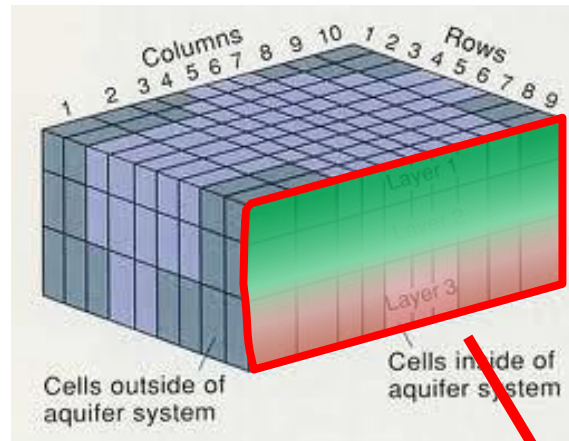
podle proudění

NOT TO SCALE

SHEMAT

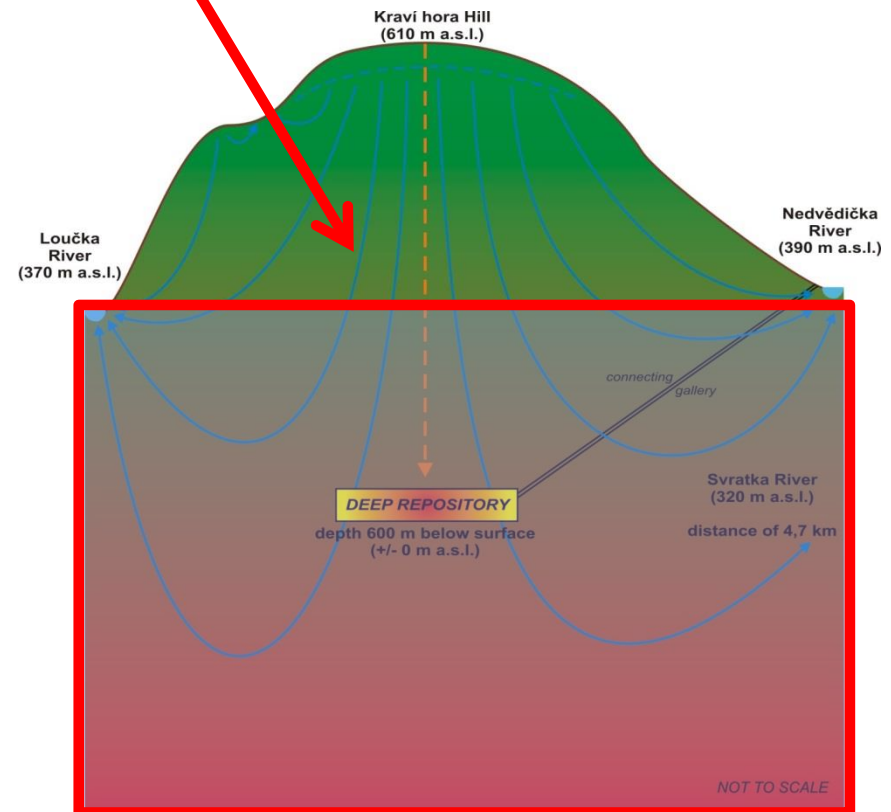
- proudění
- transport tepla

semi-2D model



testování vlivu geologické stavby

- geometrie modelu – 4.000 x 1.500 m
- rozměr základní cely 50 x 50 m
- 10 vrstev
- mocnost vrstev 10 - 400 m



VSTUPY A HYDRAULICKÉ PARAMETRY

- srážky – hluboký oběh – 34 mm/rok, 10°C
- hydraulické vodivosti - 3.5E-07 až 2.4E-08 m/s
- pórovitost - 0.03 až 0.001
- simulace ustáleného stavu
- simulace neustálených stavů – 30 period (300 let), 100 časových kroků v každé periodě
- bazální tepelný tok – 60 mW/m²
- radiogenní teplo – 3E-06 až 1E-08 W/m³ (obsah U, Th, K)
- hlubinné úložiště – konstantní teplota 85°C po dobu 300 let

Tepelné vlastnosti hornin

podle minerálního složení a publikovaných dat tepelných vlastností minerálů

rock type	mineral	%	mineral therm. cond.	rock therm. cond. X-dir.		rock therm. cond. Z-dir.		X/Z ratio (-)	mineral heat cap.	rock heat cap.	
			(W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	(W.m ⁻¹ .K ⁻¹)		(W.m ⁻¹ .K ⁻¹)			(J.kg ⁻¹ .K ⁻¹)	(J.kg ⁻¹ .K ⁻¹)	
paragneiss	feldspar An15-40	43	1.80	0.774	3.51	0.23889	2.5	1.38	858.0	368.9	860
	K-feldspar	15	2.34	0.351		0.06410			816.0	122.4	
	quartz	22	8.00	1.760		0.02750			837.6	184.3	
	biotite	20	3.14	0.628		0.06369			924.0	184.8	
migmatite	feldspar An20-40	35	1.75	0.613	3.95	0.20000	2.7	1.46	852.0	298.2	851
	K-feldspar	20	2.34	0.468		0.08547			816.0	163.2	
	quartz	30	8.00	2.400		0.03750			837.6	251.3	
	biotite	15	3.14	0.471		0.04777			924.0	138.6	
granulites	K-feldspar	35	2.34	0.819	4.56	0.14957	3.1	1.49	816.0	285.6	828
	quartz	40	8.00	3.200		0.05000			837.6	335.0	
	garnet	5	3.80	0.190		0.01316			740.0	37.0	
	feldspar An20-40	20	1.75	0.350		0.11429			852.0	170.4	
amphibolites	amphibol	45	2.90	1.305	3.50	0.15517	2.6	1.35	876.0	394.2	860
	feldspar An30-50	35	1.70	0.595		0.20588			852.0	298.2	
	quartz	20	8.00	1.600		0.02500			837.6	167.5	
serpentinites	pyroxene	30	4.50	1.350	3.09	0.06667	2.8	1.11	800.0	240.0	865
	serpentinite	45	2.60	1.170		0.17308			900.0	405.0	
	feldspar An30-50	15	1.70	0.255		0.08824			852.0	127.8	
	biotite/chlorite	10	3.10	0.310		0.03226			924.0	92.4	

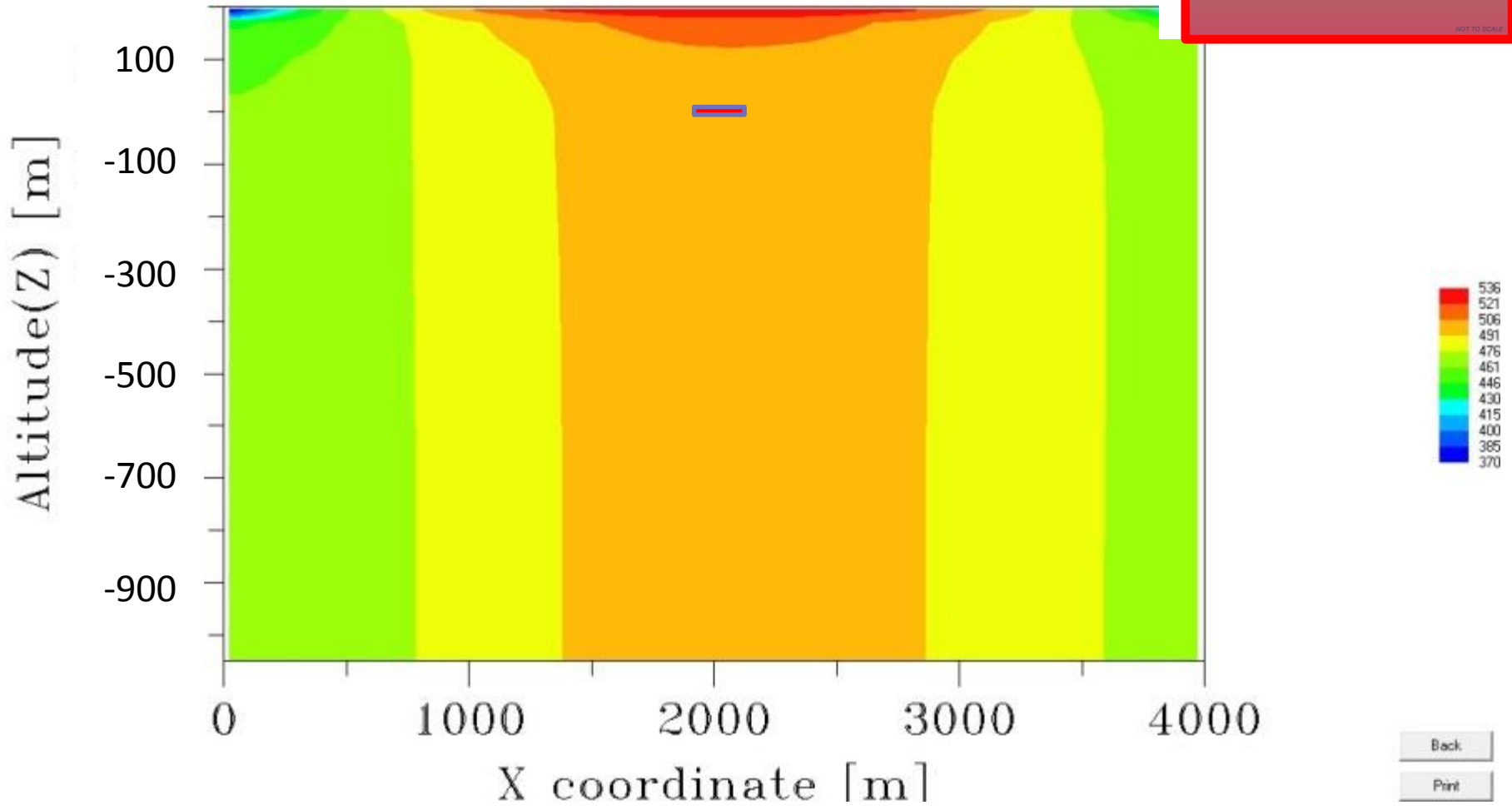
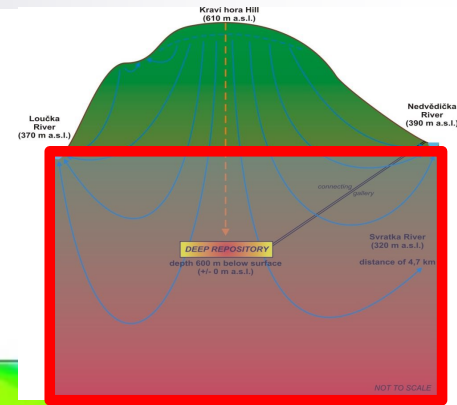
Boom Clay

tepelná vodivost - 1.69 W.m⁻¹.K⁻¹

SOUČASNÝ STAV

homogenní podmínky – normální tepelné vodivosti

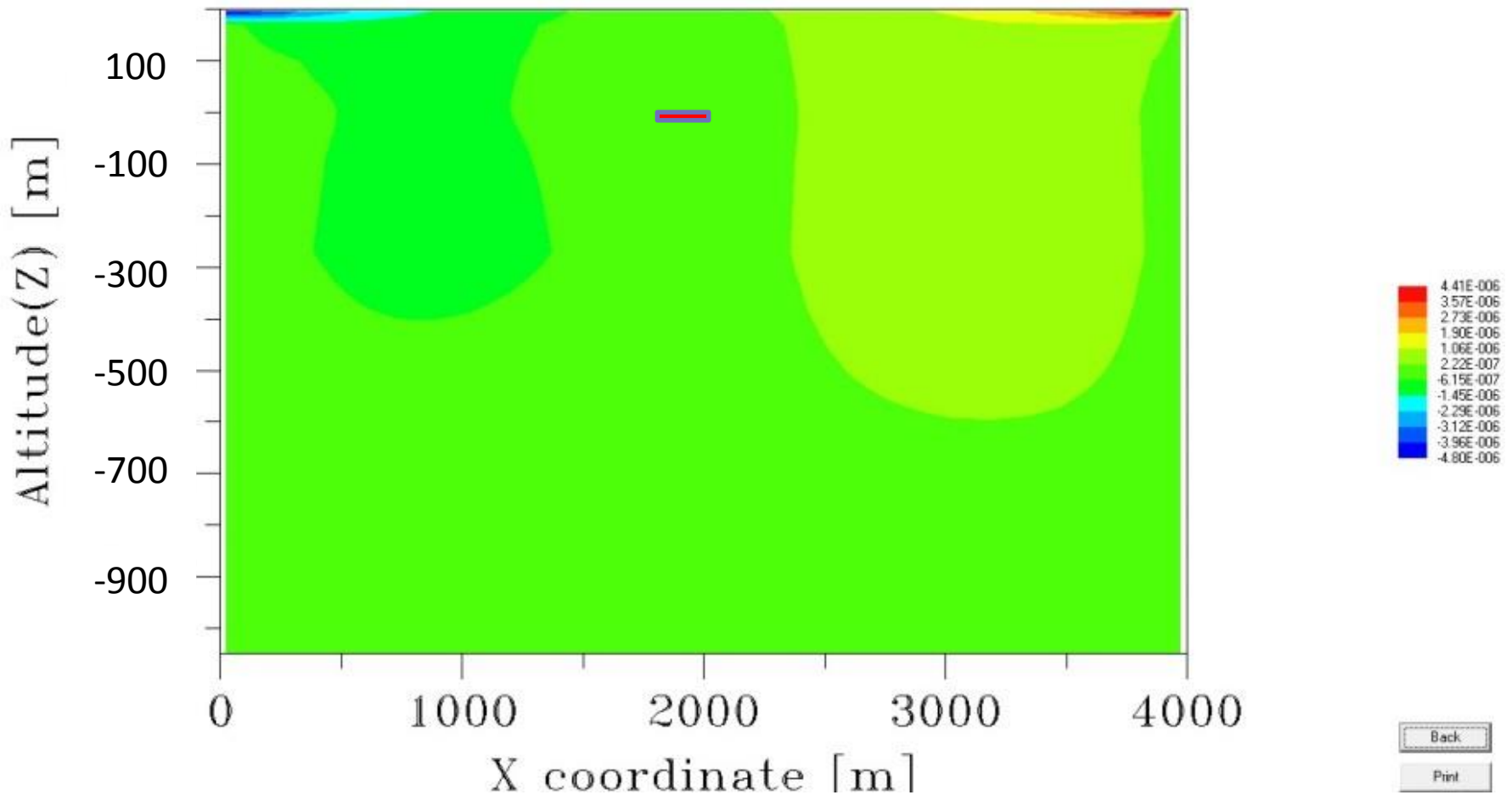
hydraulické výšky



SOUČASNÝ STAV

homogenní podmínky – normální tepelné vodivosti

rychlost proudění – X dir. 1E-07 m/day

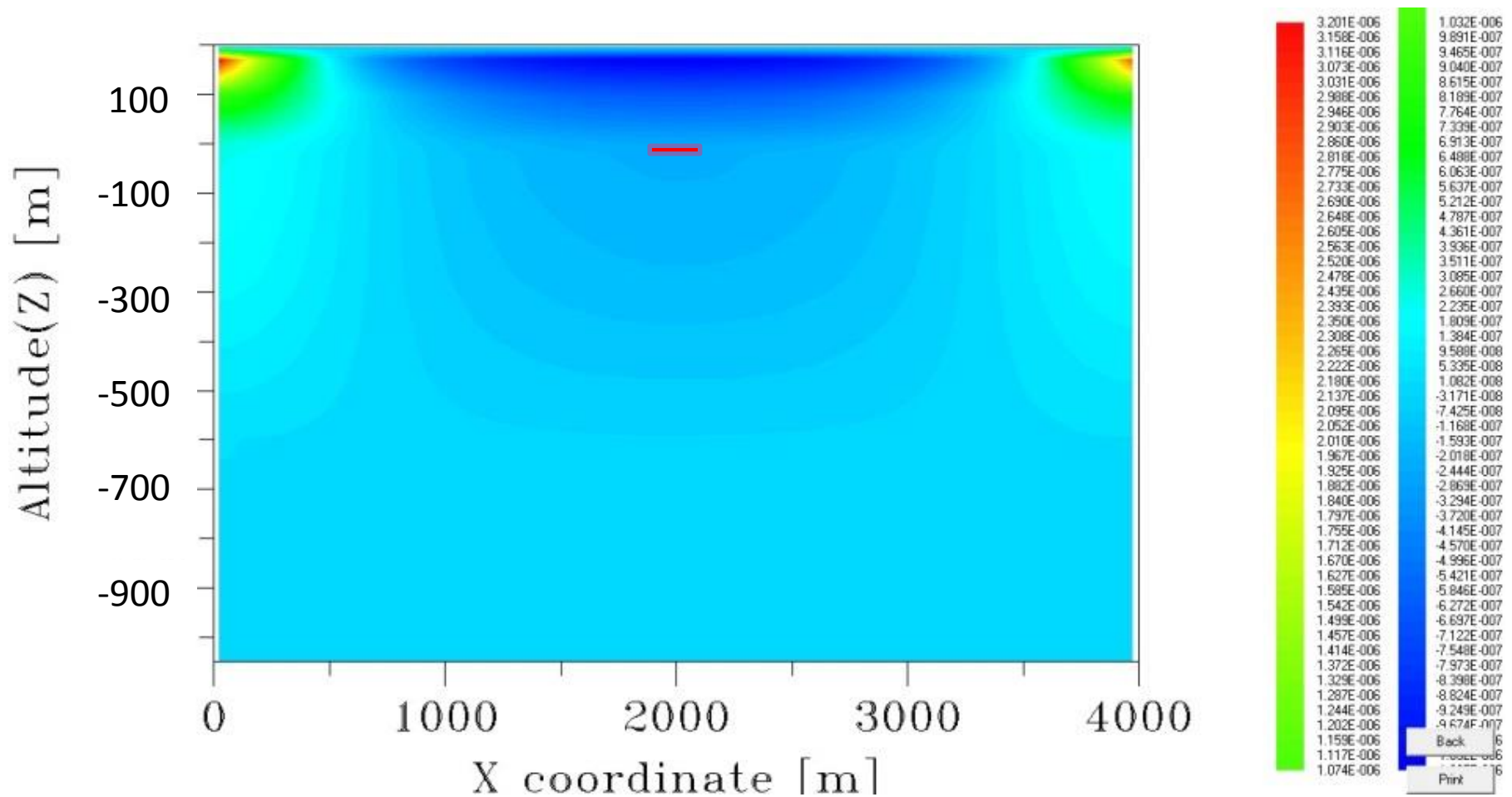


SOUČASNÝ STAV

homogenní podmínky – normální tepelné vodivosti

rychlost proudění – Z dir.

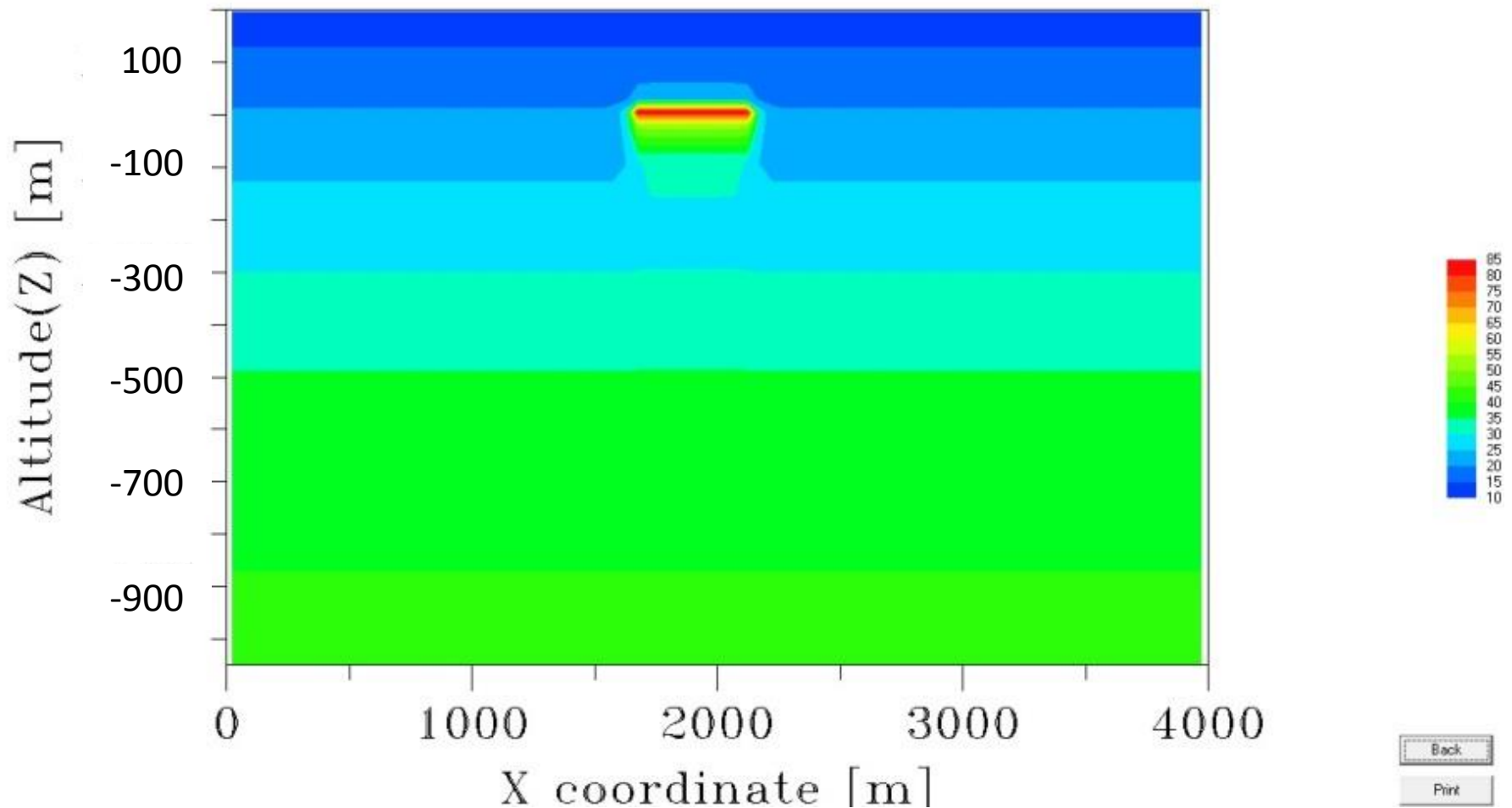
2E-07 m/day



BUDOUCÍ STAV

homogenní podmínky – normální tepelné vodivosti

teploty 10 let



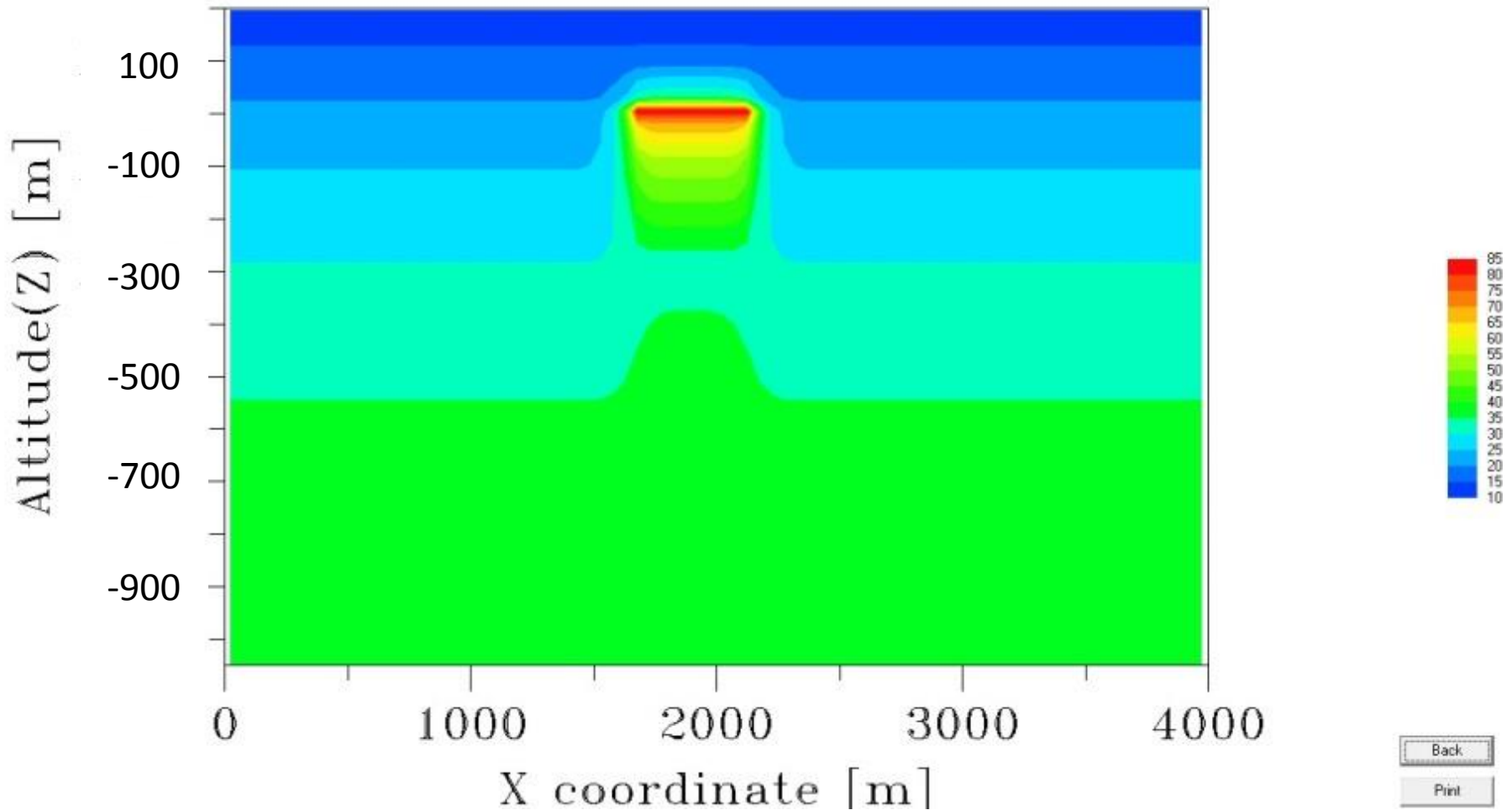
Back

Print

BUDOUCÍ STAV

homogenní podmínky – normální tepelné vodivosti

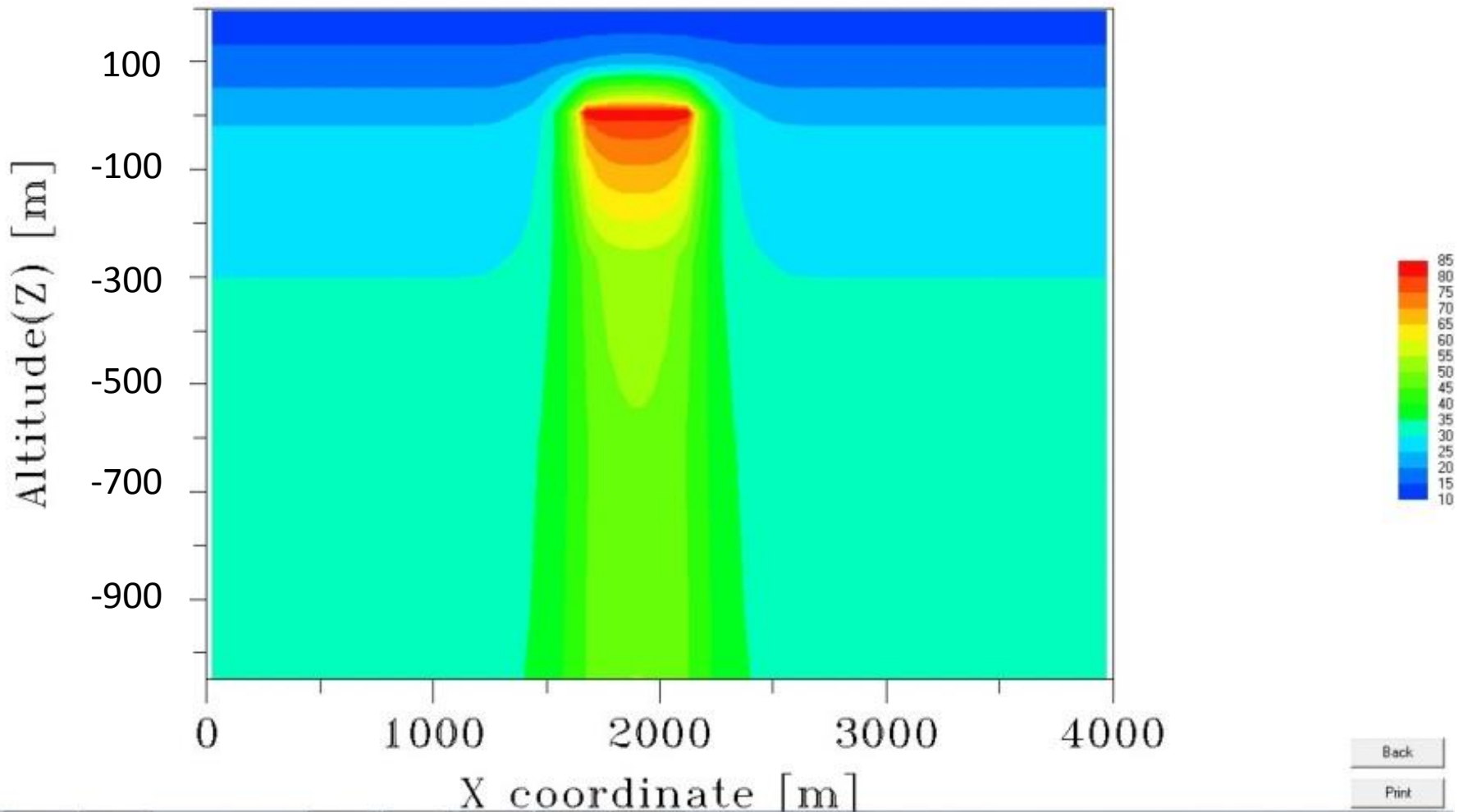
teploty 30 let



BUDOUCÍ STAV

homogenní podmínky – normální tepelné vodivosti

teploty 300 let

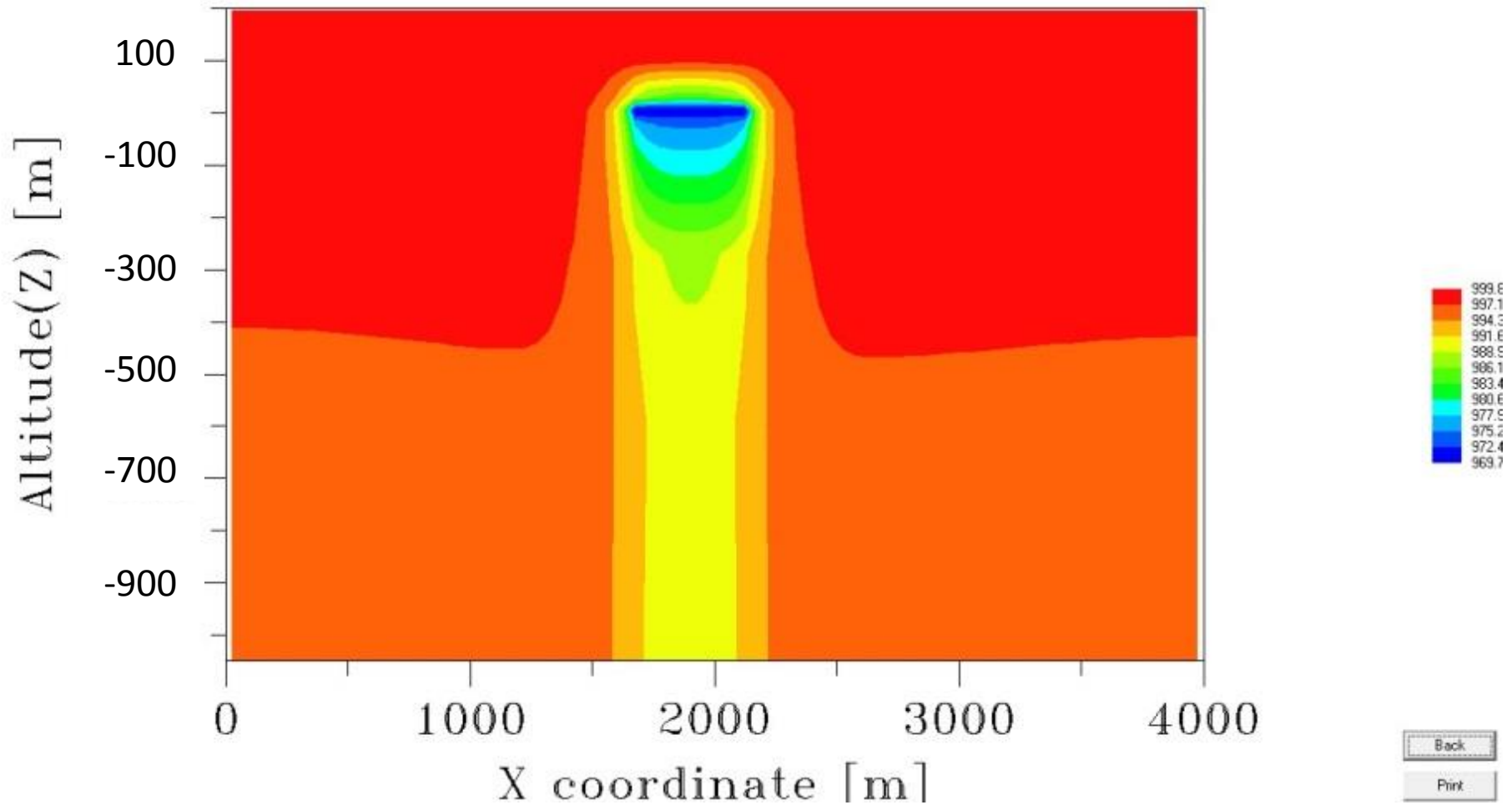


BUDOUCÍ STAV

homogenní podmínky – normální tepelné vodivosti

hustota vody

300 let

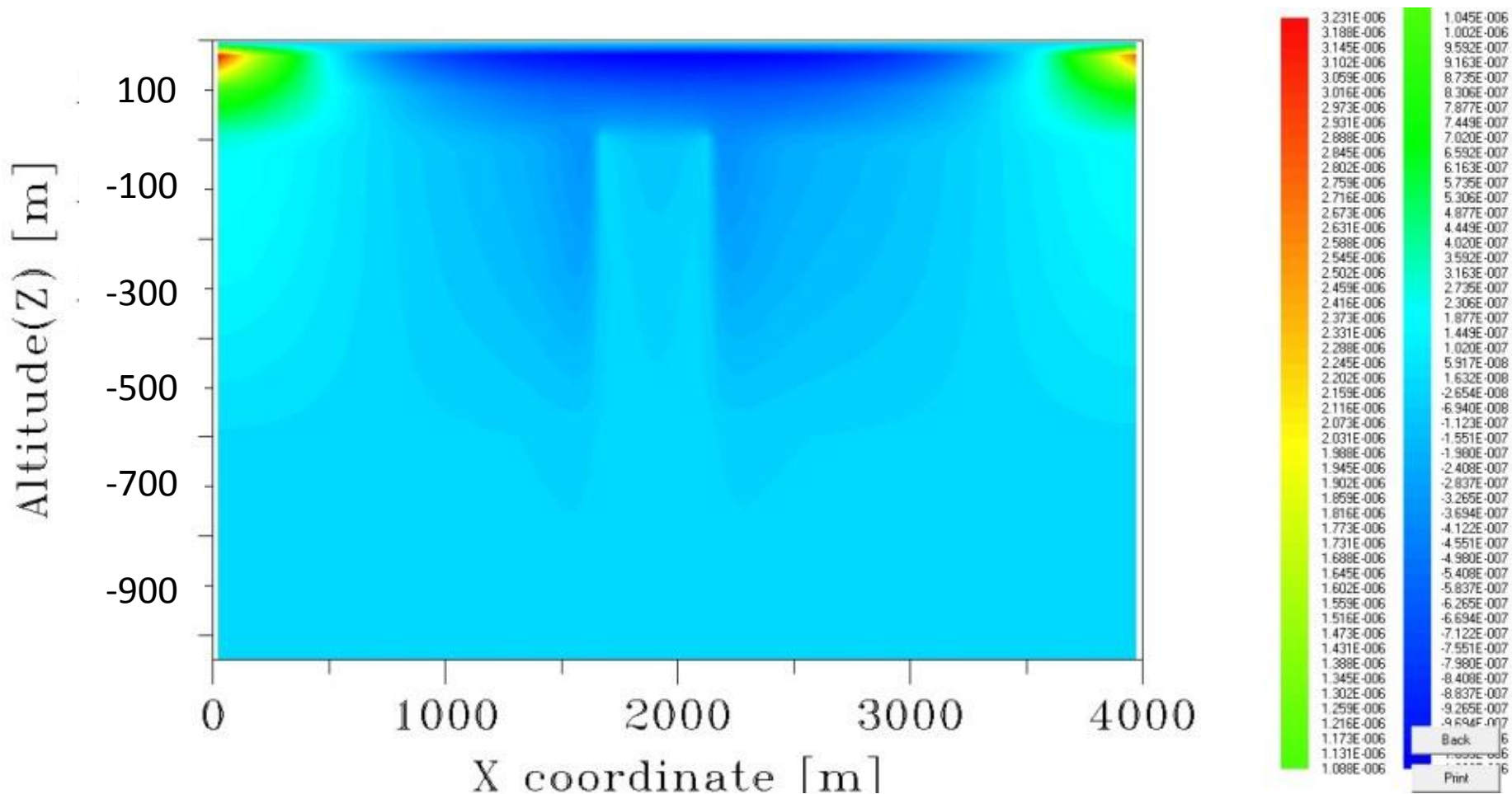


BUDOUCÍ STAV

homogenní podmínky – normální tepelné vodivosti

rychlosti proudění – Z dir. 300 let

sestupné ($5E-07$ m/d) a vzestupné proudění ($1E-07$ m/d)

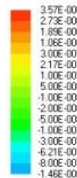
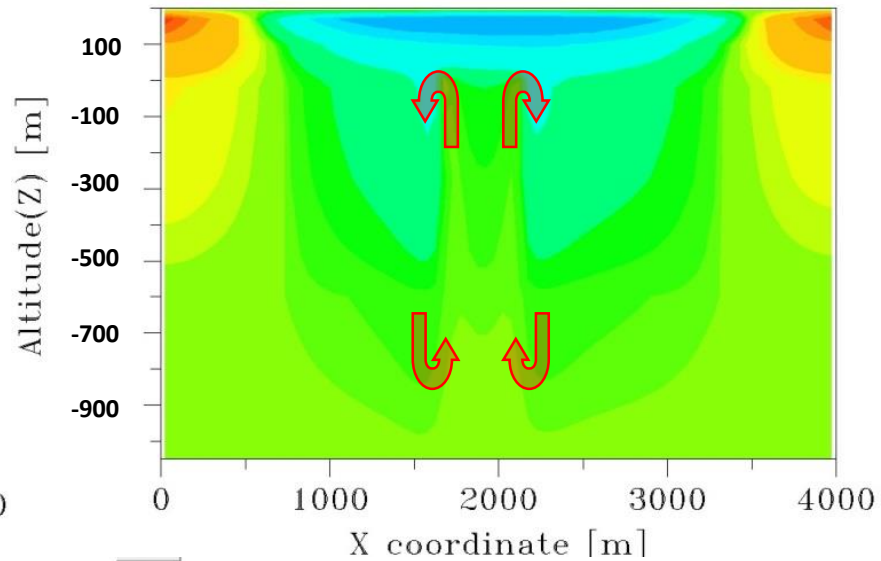
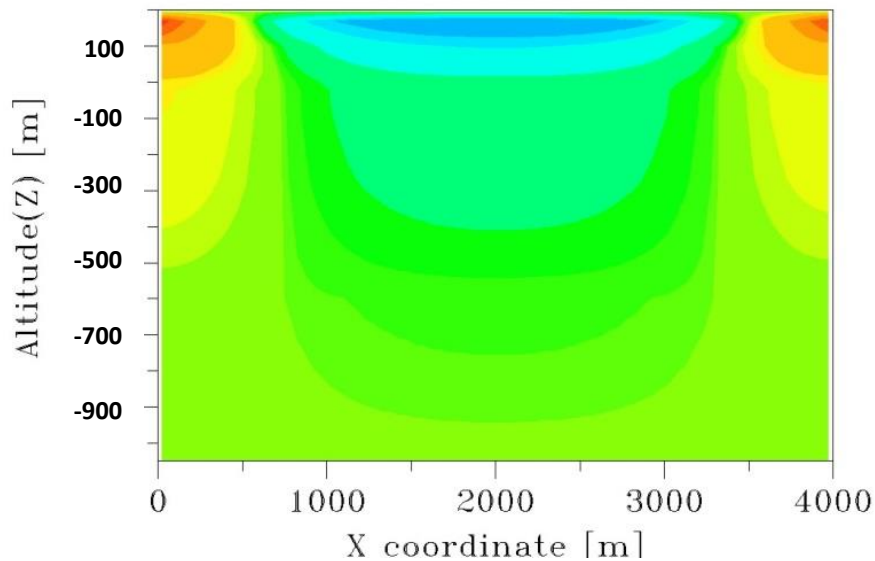


SROVNÁNÍ SOUČASNÉHO A BUDOUCÍHO STAVU

homogenní podmínky – normální tepelné vodivosti

rychlosti proudění – Z dir. 300 let

od sestupného proudění ($2E-07$ m/d)
do sestupného ($5E-07$ m/d) a vzestupného ($1E-07$ m/d)



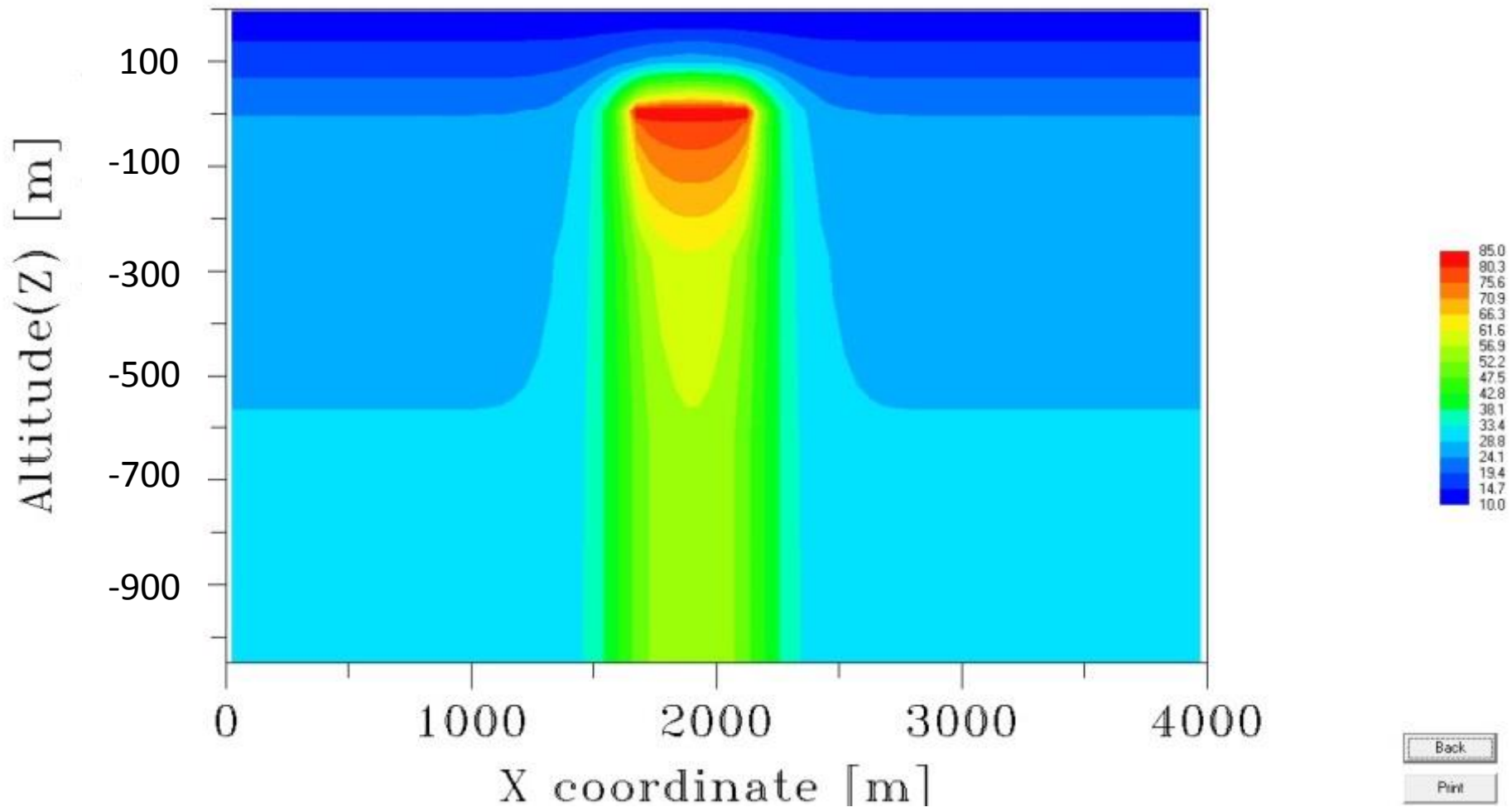
Back
Print

konvenční cela ???

BUDOUCÍ STAV

homogenní podmínky – zvýšené tepelné vodivosti

teploty 300 let

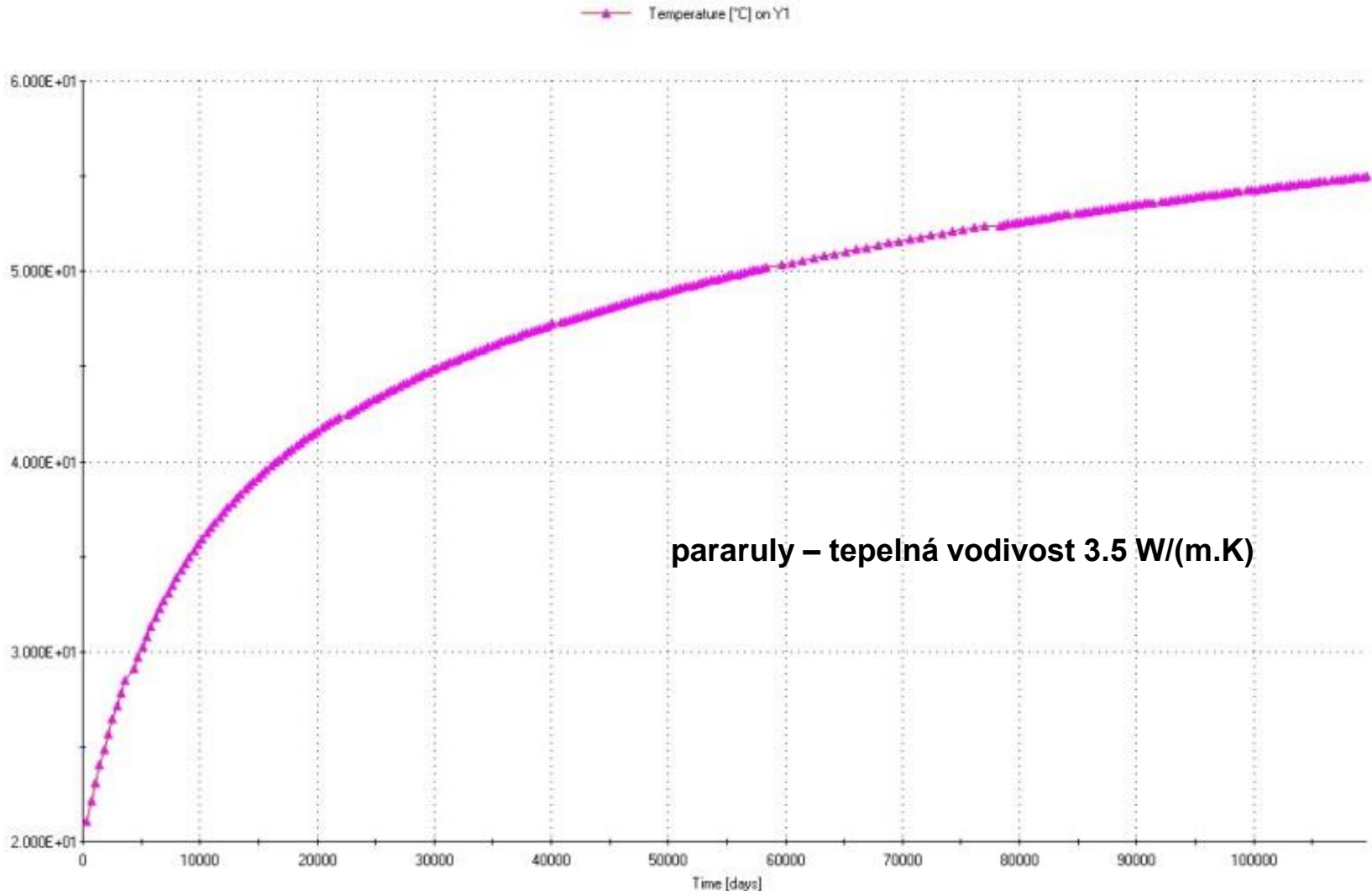


BUDOUCÍ STAV

homogenní podmínky – normální tepelné vodivosti

vývoj teploty

monitorovací bod ve vzdál. 50 m

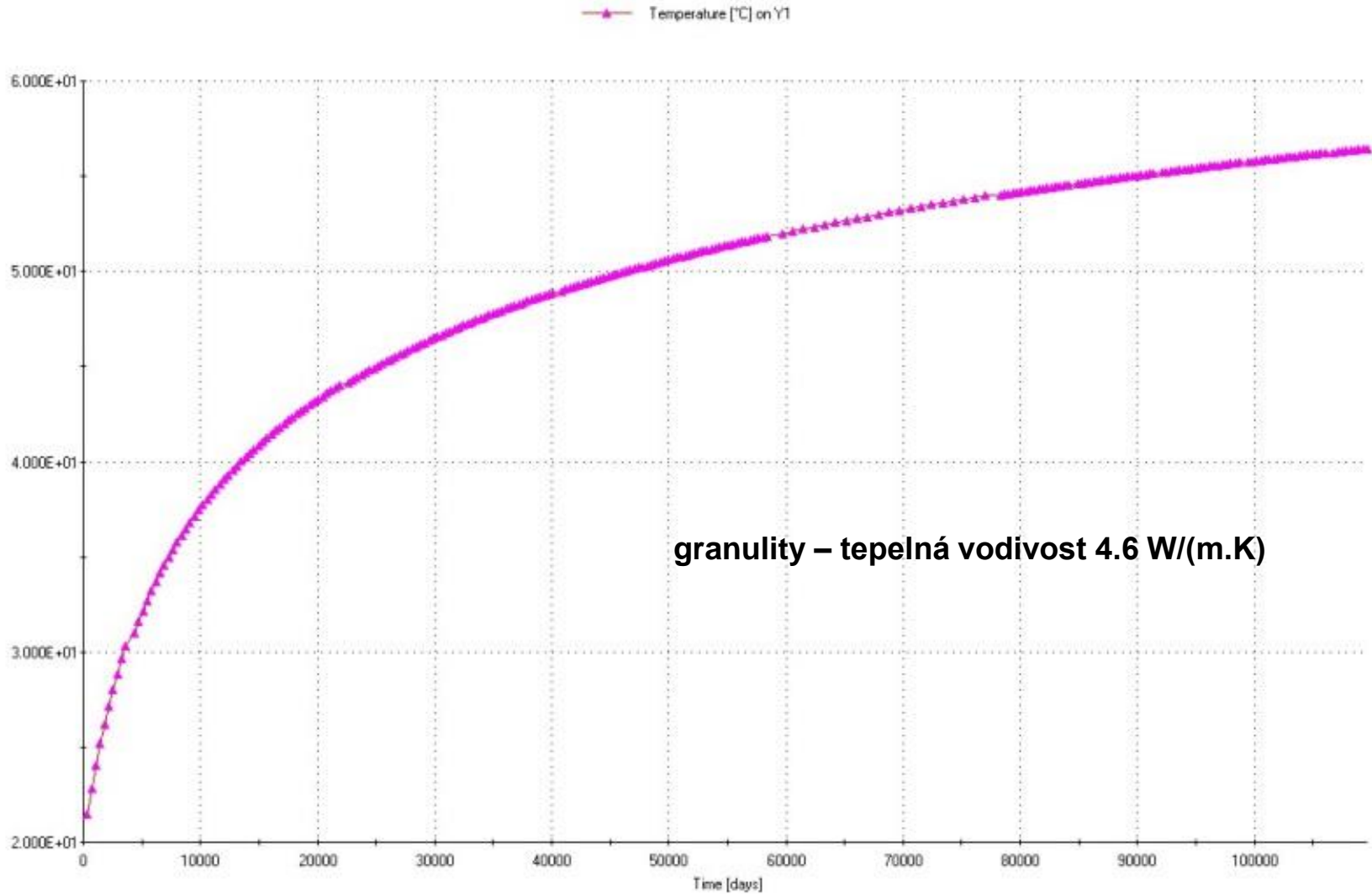


BUDOUCÍ STAV

homogenní podmínky – zvýšené tepelné vodivosti

vývoj teploty

monitorovací bod ve vzdál. 50 m

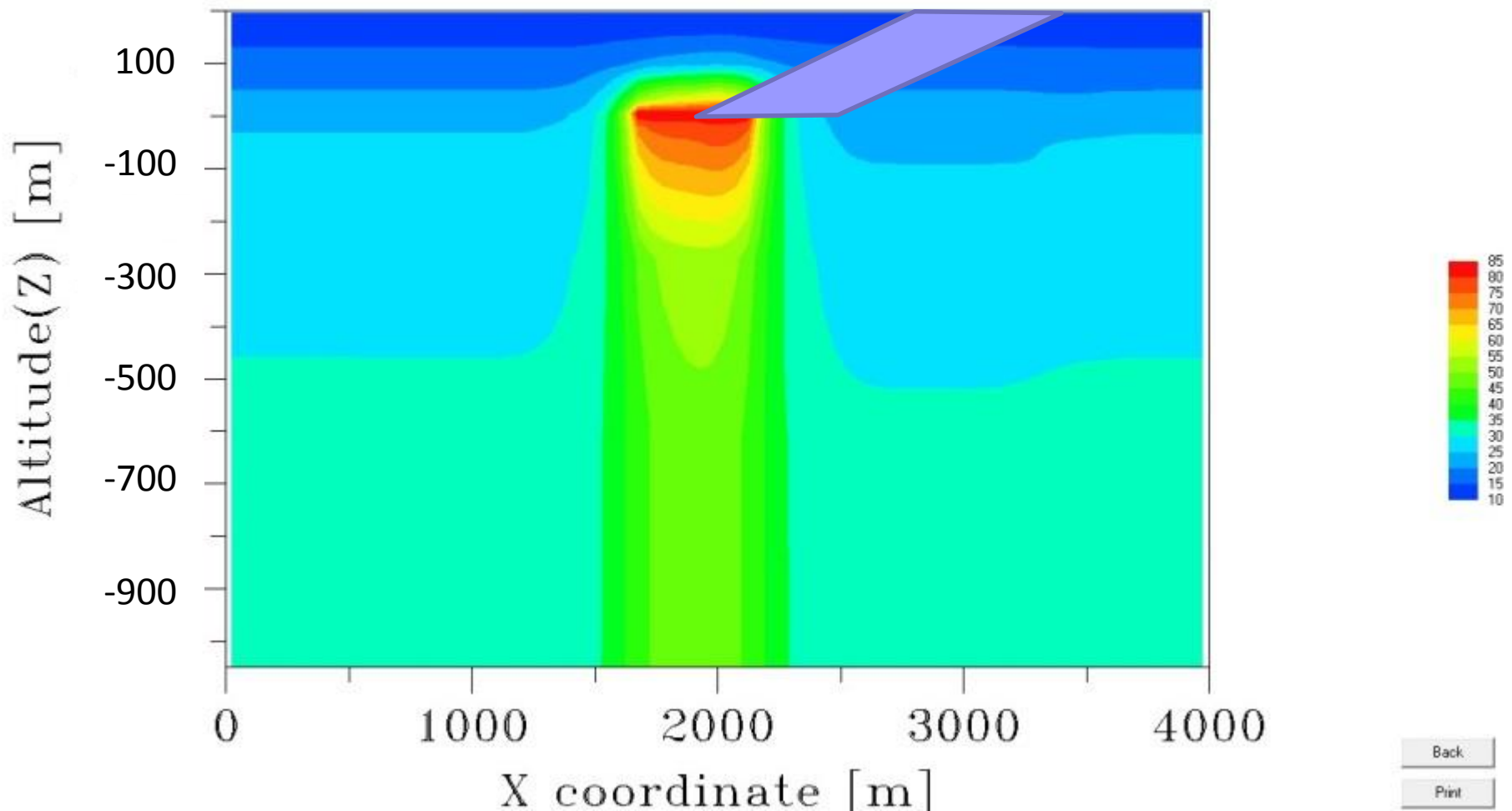


BUDOUCÍ STAV

nehomogenní podmínky – zóna hornin se zvýšenou tepelnou vodivostí

teploty 300 let

granulity v pararulách

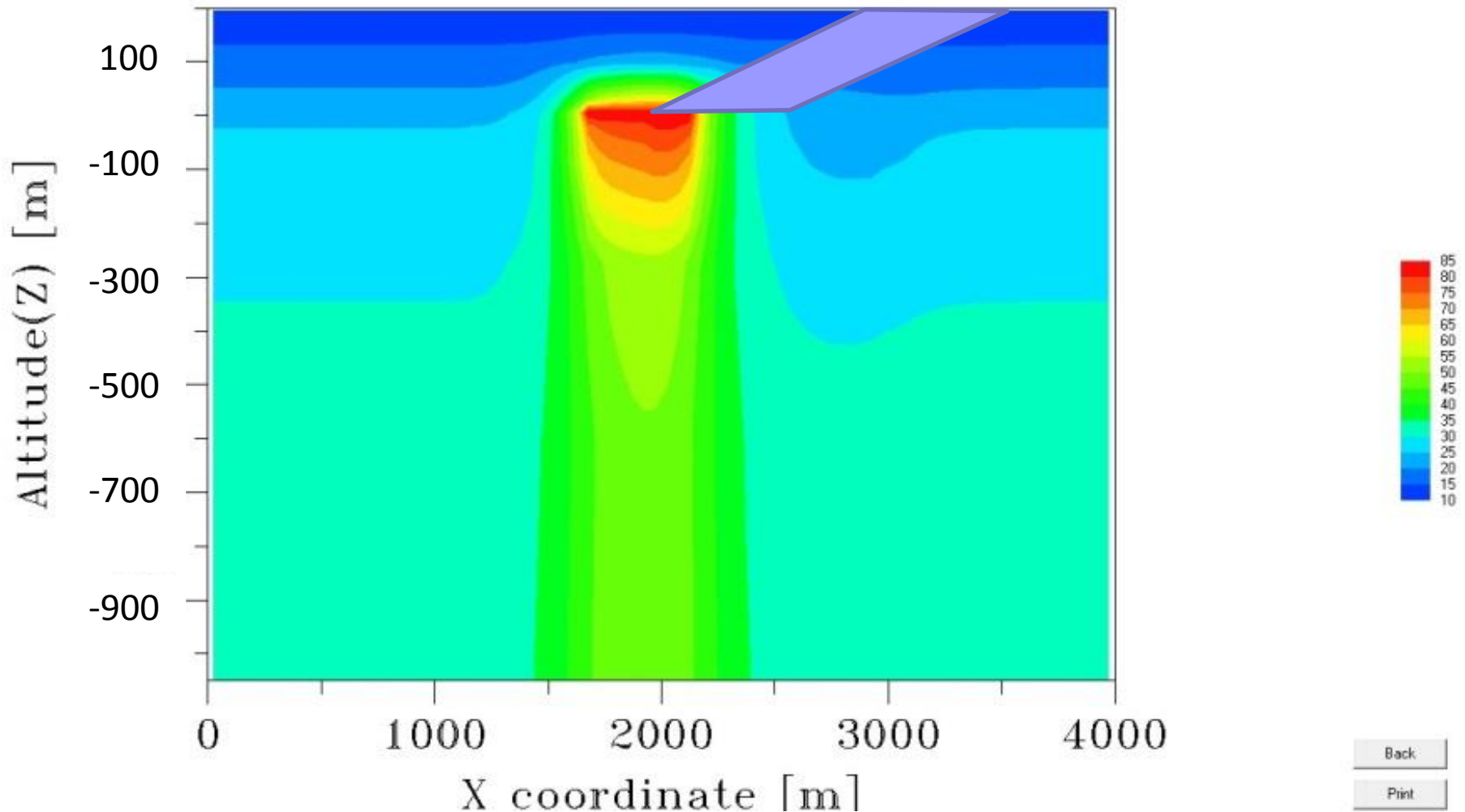


BUDOUCÍ STAV

nehomogenní podmínky – zóna hornin se zvýšenou tepelnou vodivostí

teploty 300 let

teoreticky - křemen v pararulách

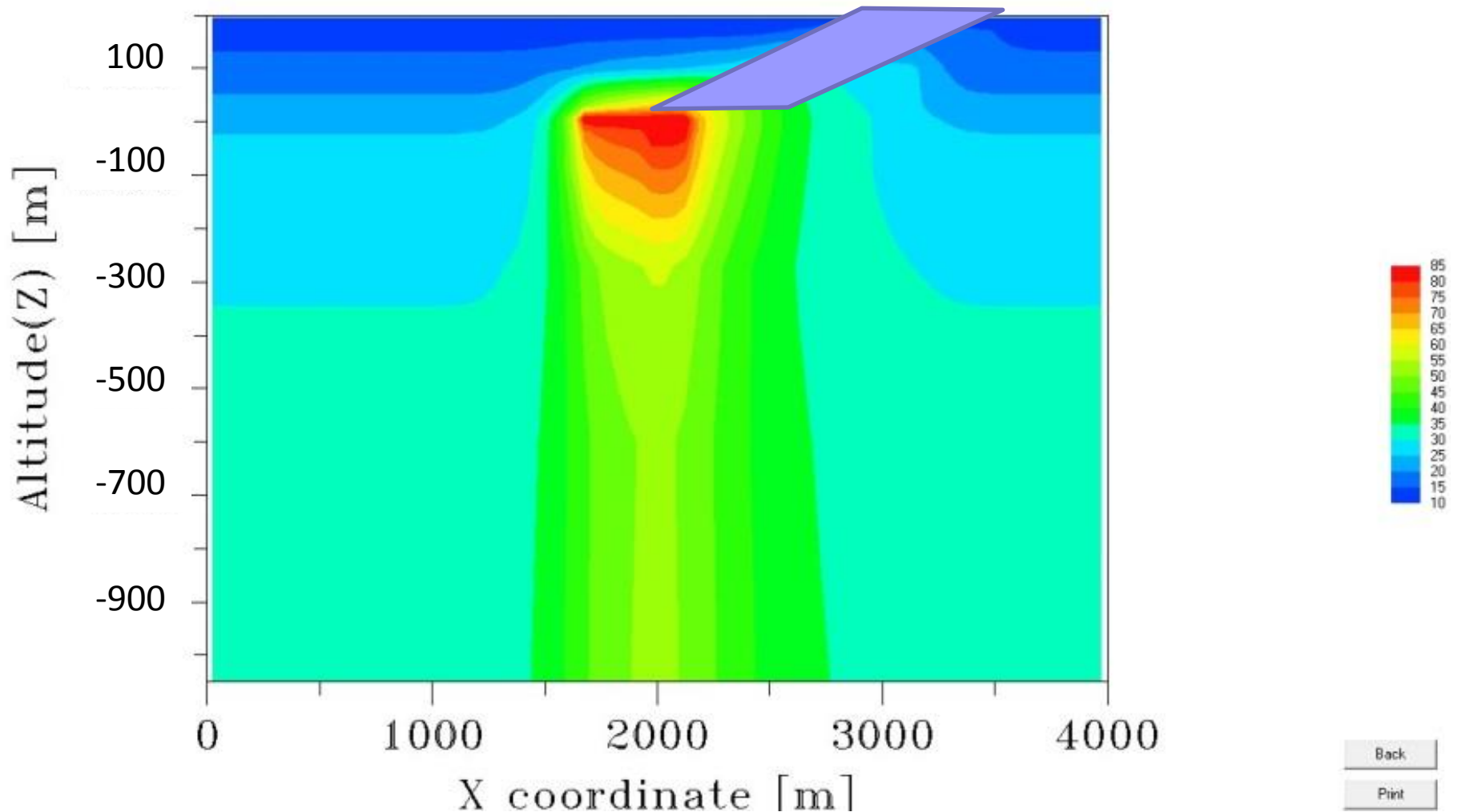


BUDOUCÍ STAV

nehomogenní podmínky – zóna hornin se zvýšenou tepelnou vodivostí

teploty 300 let

teoreticky - Au v pararulách



Back

Print

BUDOUCÍ STAV

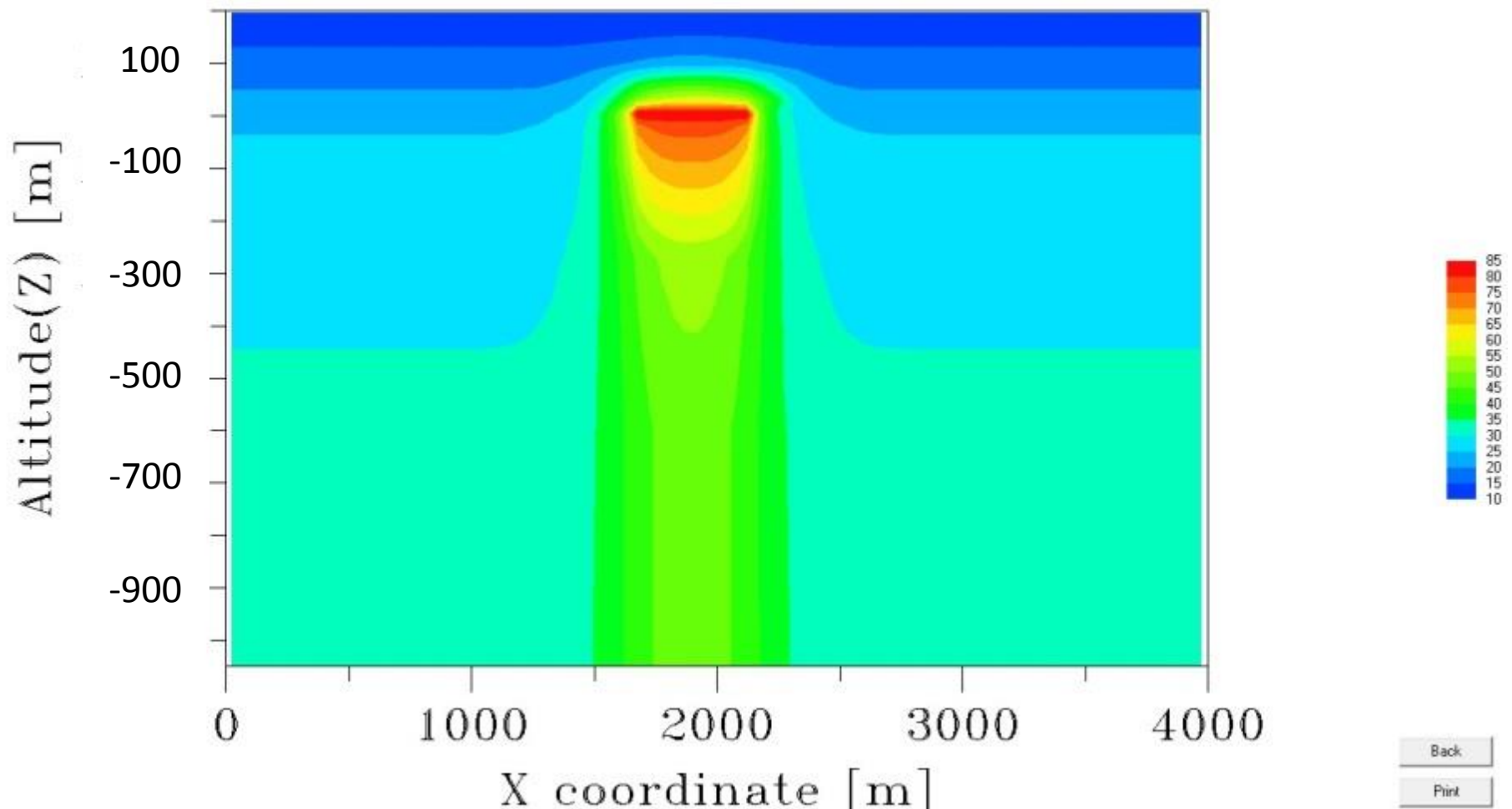
nehomogenní podmínky – zóna hornin se zvýšenou propustností

teploty 300 let

žádná změna po limit permeability $8E-13 \text{ m}^2$ (ekv. $6E-03 \text{ m/s}$)

rychlost proudění X-dir. $1E-06 \text{ m/d}$, Z-dir. $3E-07 \text{ m/s}$

nereálné v horninách krystalinika



BUDOUCÍ STAV

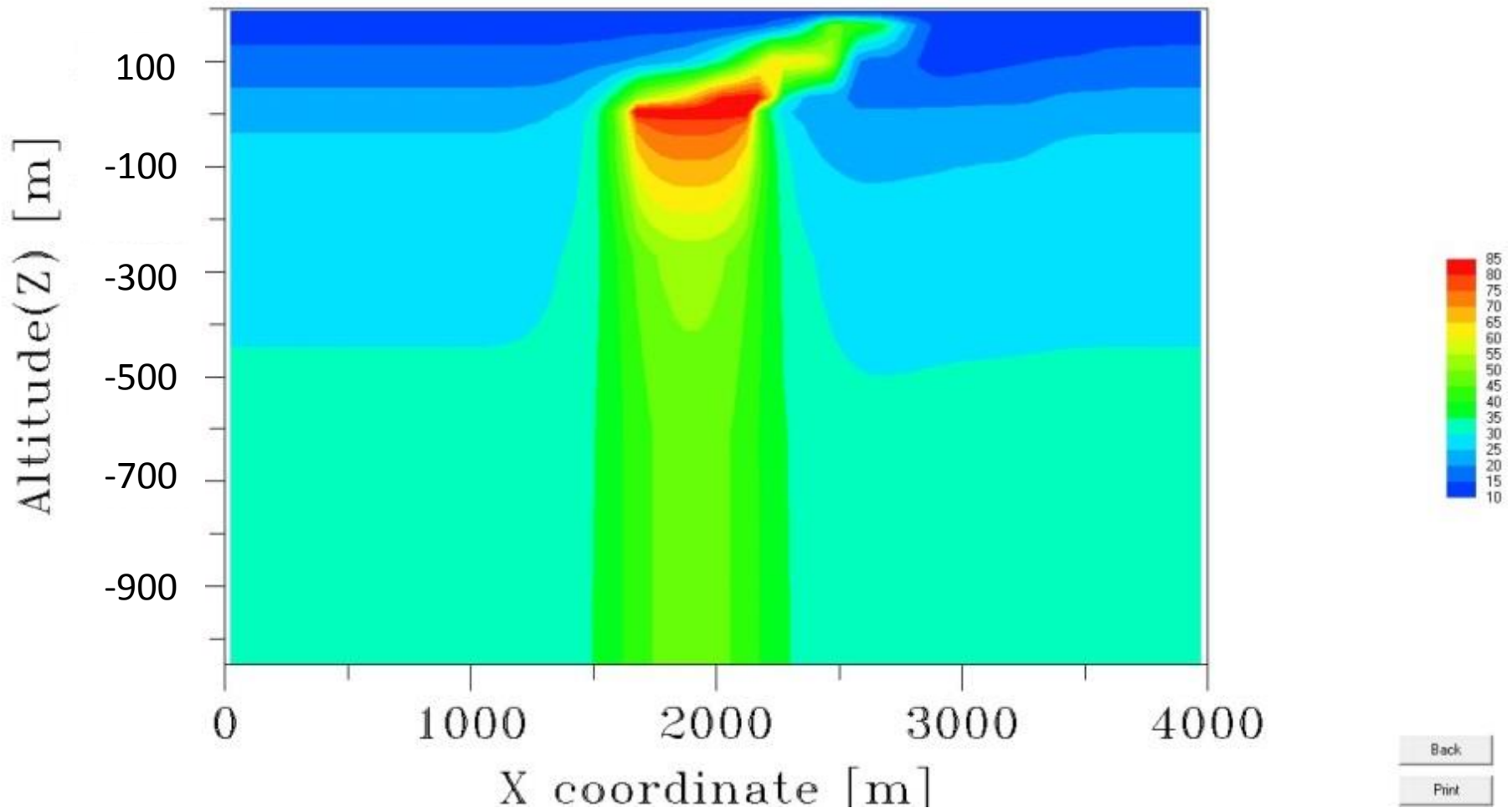
nehomogenní podmínky – zóna hornin se zvýšenou propustností

teploty 300 let

výrazná změna od permeability $1\text{E-}12 \text{ m}^2$ (ekv. $7.5\text{E-}03 \text{ m/s}$)

příklad permeability $2\text{E-}12 \text{ m}^2$ (ekv. $1.5\text{E-}02 \text{ m/s}$)

rychlosti proudění X-dir. $5\text{E-}03 \text{ m/d}$



BUDOUCÍ STAV

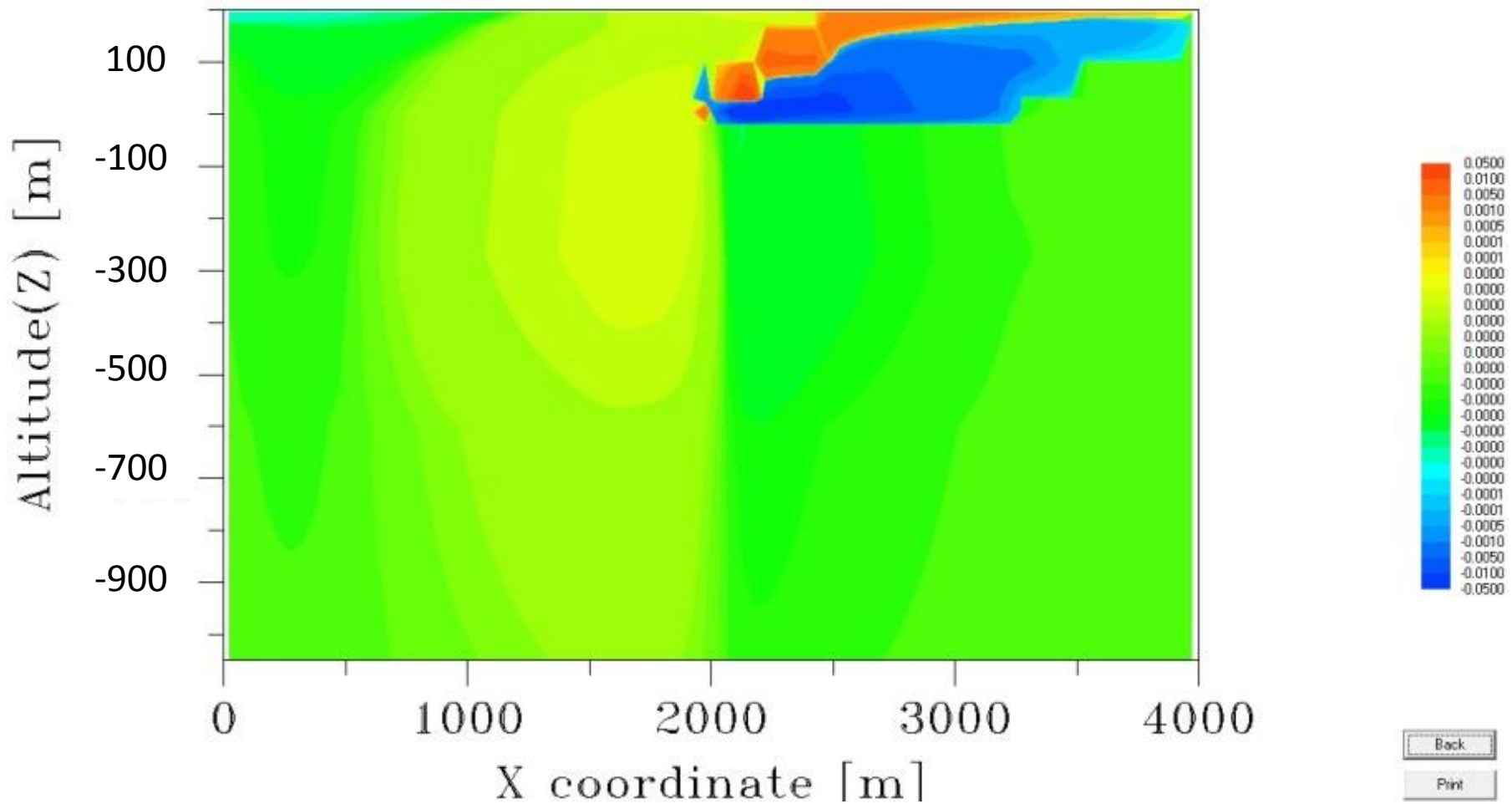
nehomogenní podmínky – zóna hornin se zvýšenou propustností

rychlosti proudění X-dir.

300 let

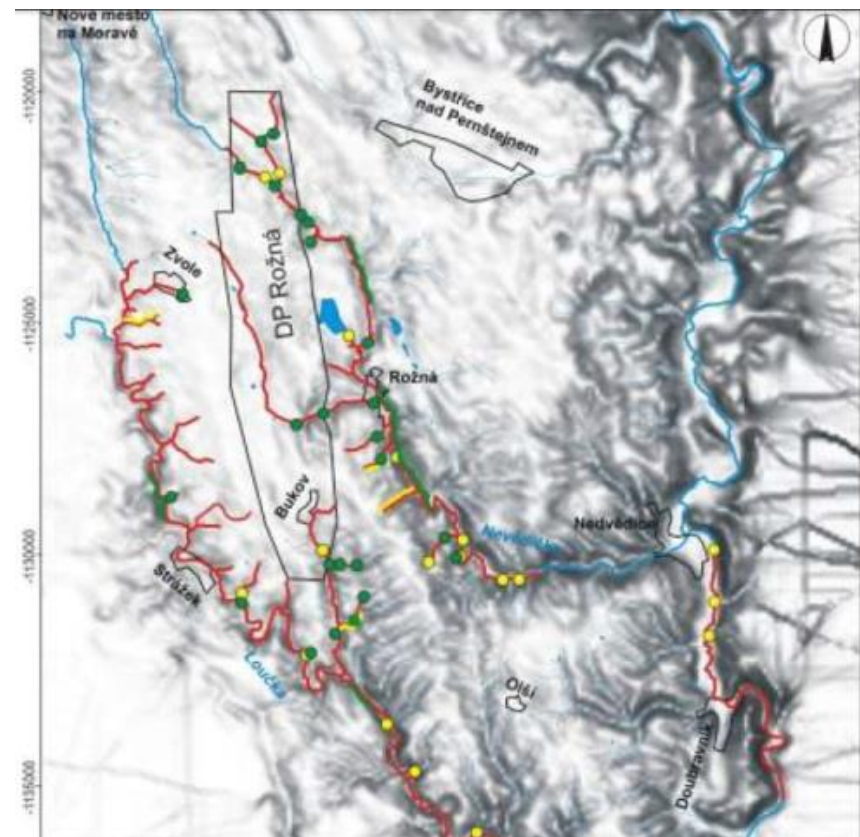
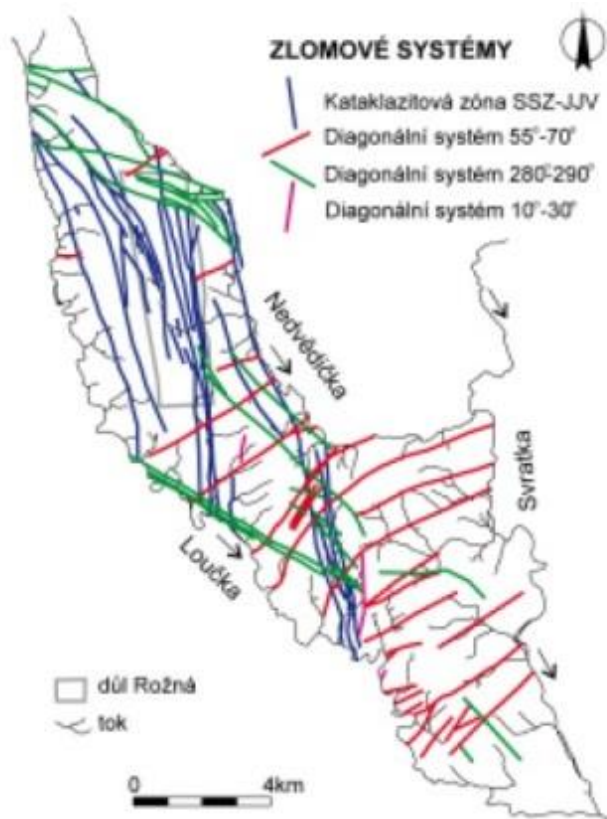
permeabilita $3E-12 \text{ m}^2$ (ekv. $2.3E-02 \text{ m/s}$)

rychlost proudění X-dir. $1E-02 \text{ m/d}$

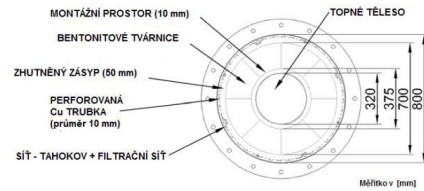
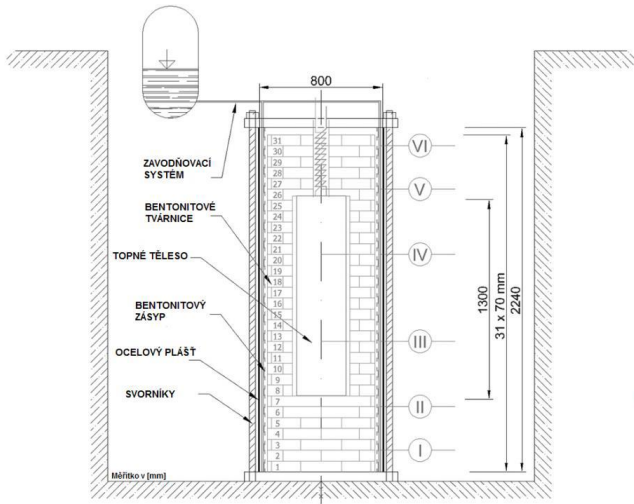


VÝSLEDKY

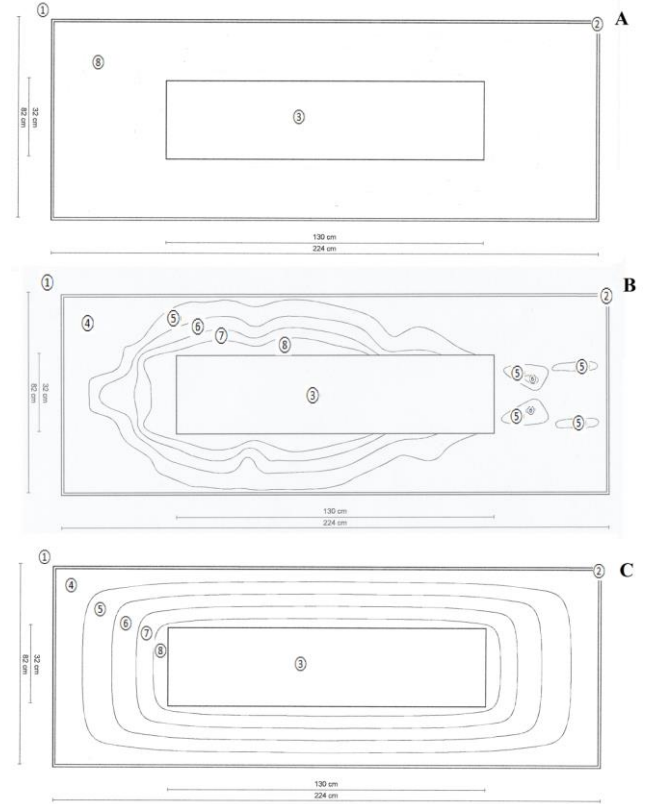
- ❑ malá citlivost na tepelné vodivosti hornin (reálná variabilita hodnot)
- ❑ minimální rozdíl v homogenním a nehomogenním poli (tepelné vodivosti)
- ❑ **klíčový vliv tektonických struktur**



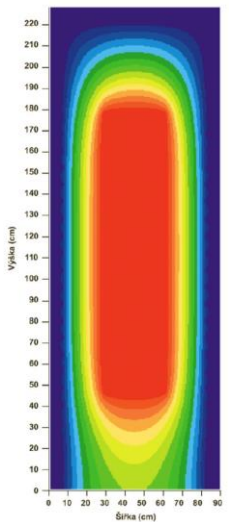
Mock-Up Cz



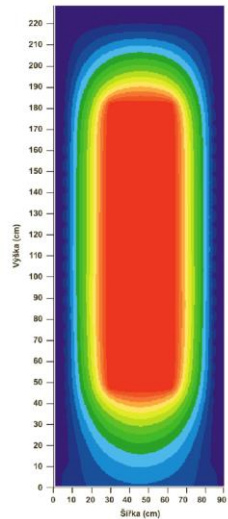
Svoboda a Vašíček, 2010



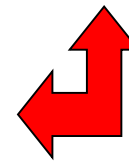
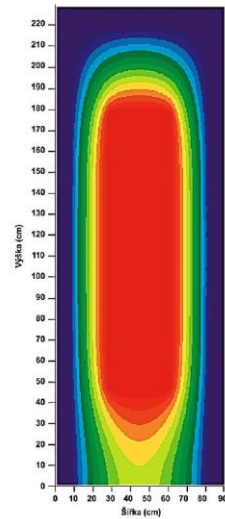
A



B



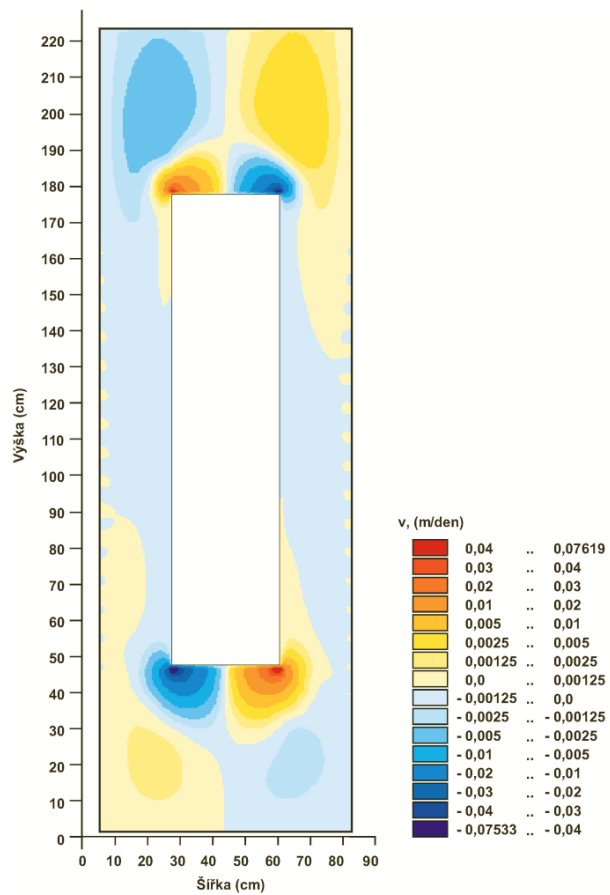
C



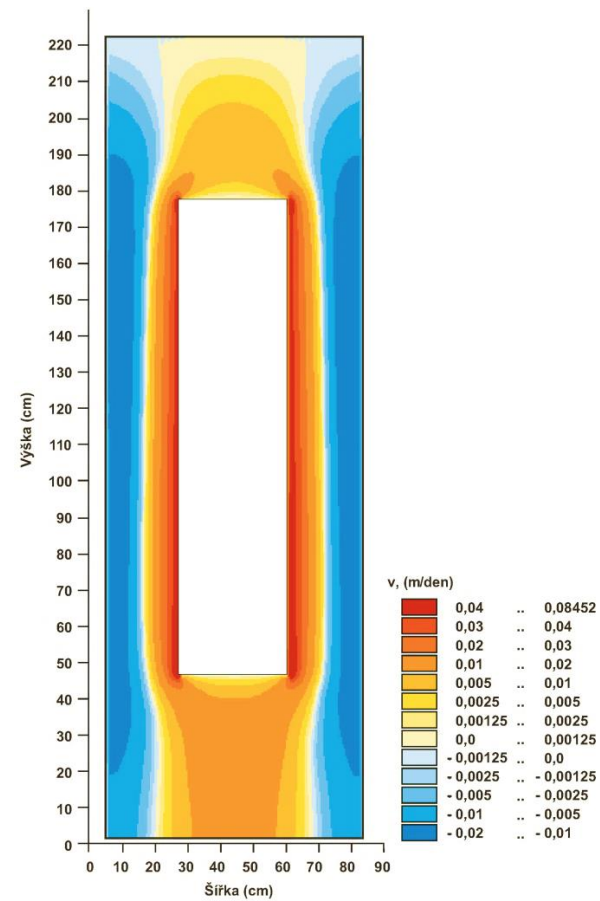
**zdroj tepla
v porózním materiálu**

VARIANTA A

proudění X-dir.

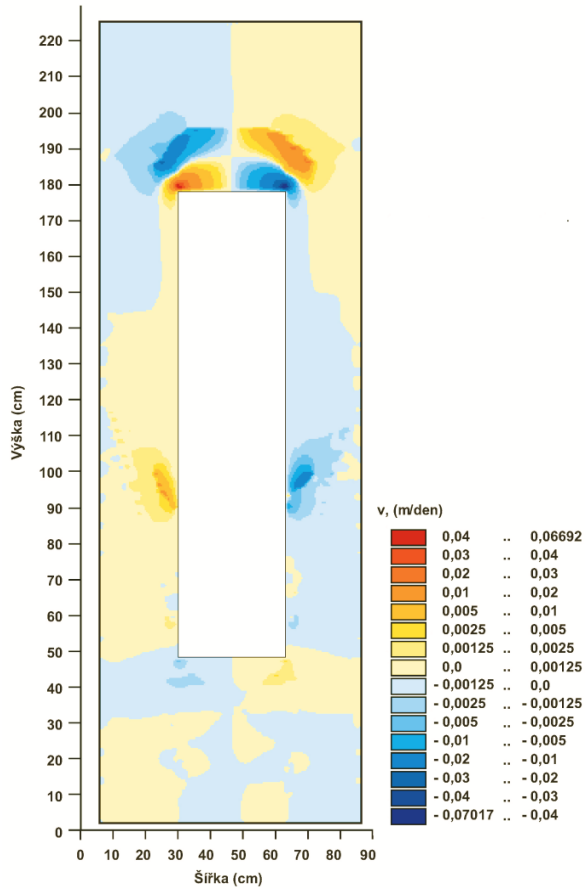


proudění Z-dir.

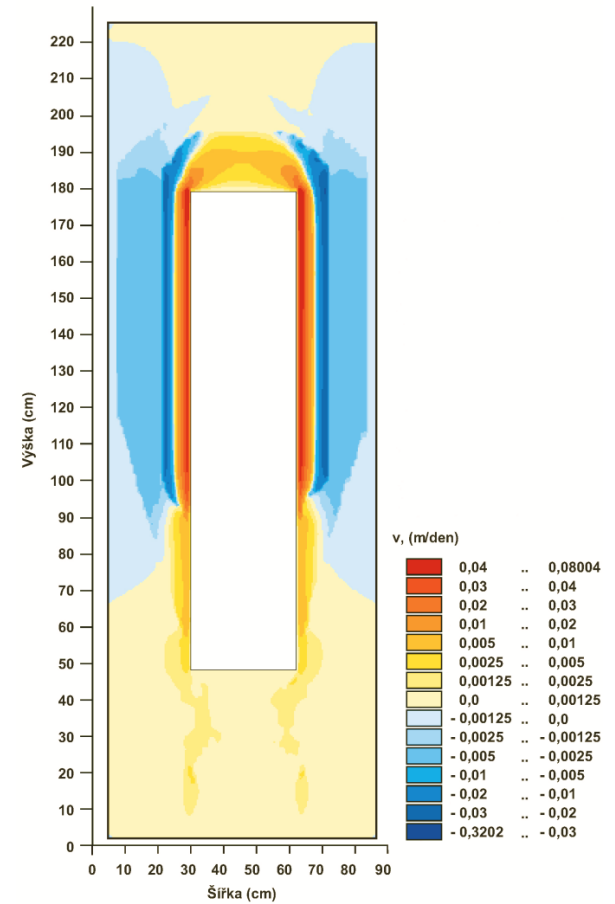


VARIANTA B

proudění X-dir.

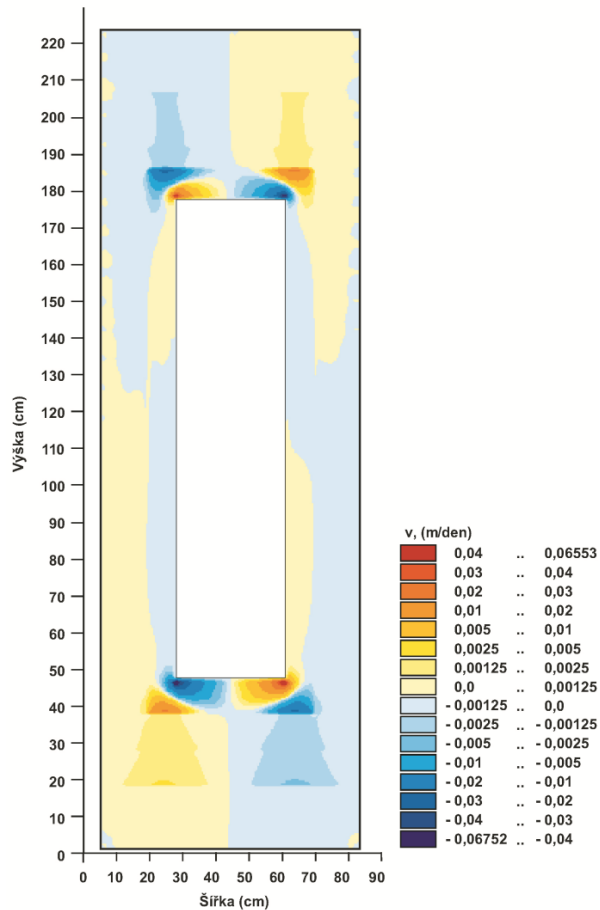


proudění Z-dir.

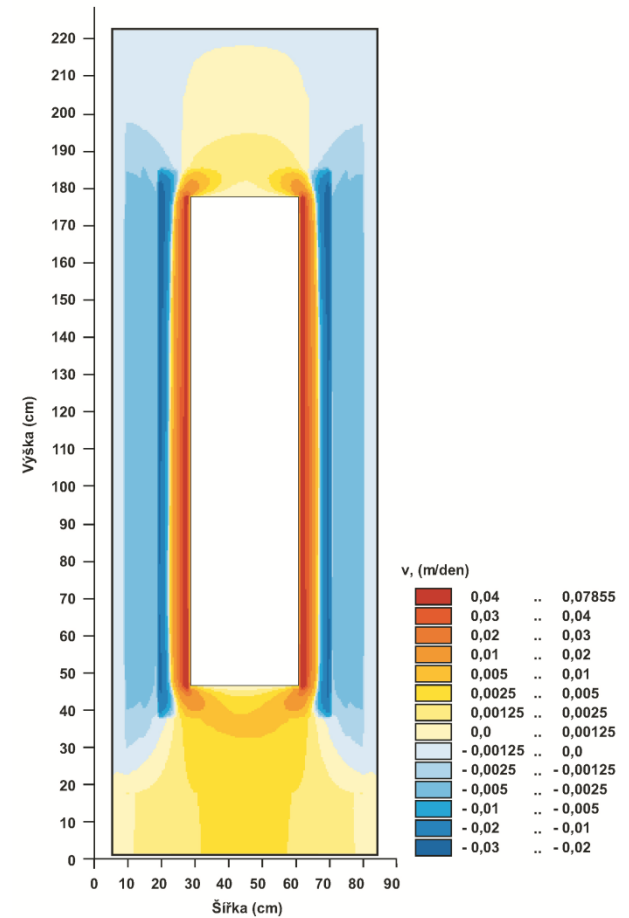


VARIANTA C

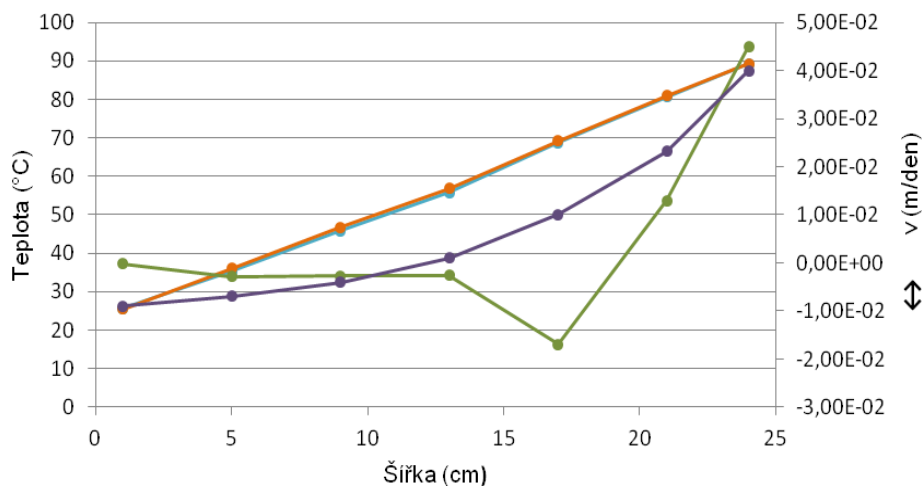
proudění X-dir.



proudění Z-dir.

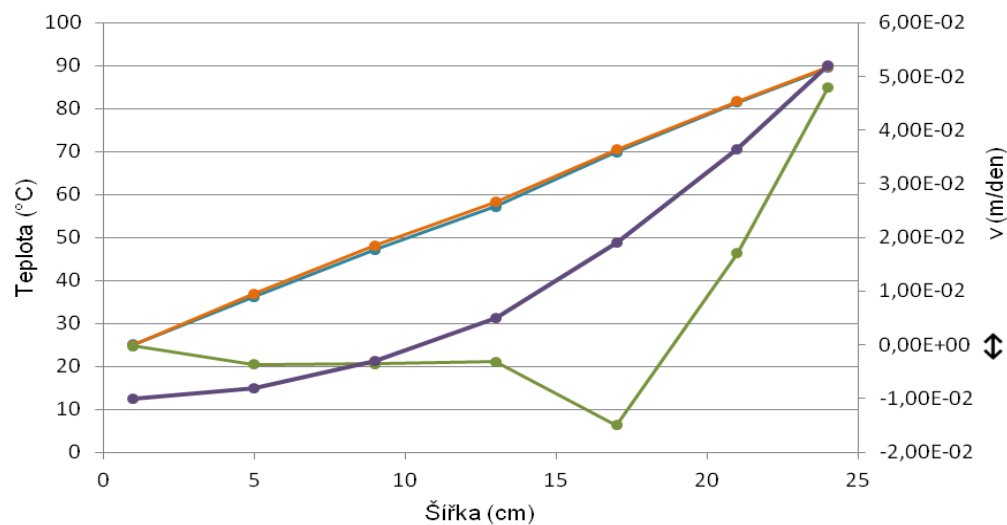


proudění Z-dir. – 90 cm



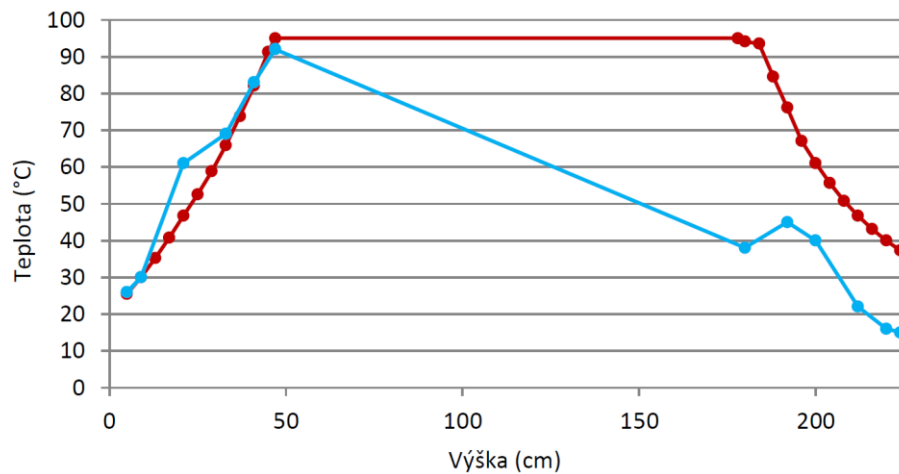
—●— Teplota; model C —●— Teplota; model A
—●— Rychlost Z; model C —●— Rychlost Z; model A

proudění Z-dir. – 160 cm



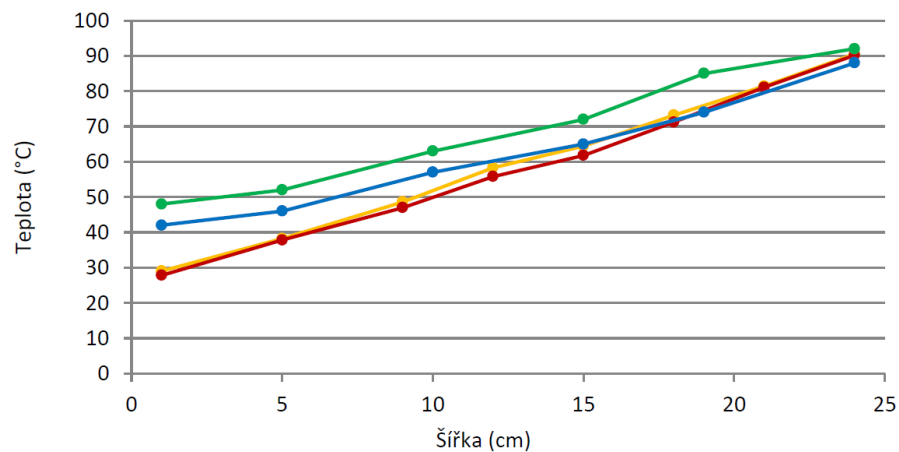
—●— Teplota; model C —●— Teplota; model A —●— Rychlost Z; model C —●— Rychlost Z; model A

teplota - srovnání



● Teplota; Model B ● Teplota; Mock - Up - Cz

teplota – srovnání – 90 cm



● Teplota; Model B 90 cm ● Teplota; Model B 160 cm
 ● Teplota; Mock - Up - Cz 90 cm ● Teplota; Mock - Up - Cz 160 cm