

ODHAD ELASTICKEJ HRÚBKY LITOSFÉRY Z VERTIKÁLNYCH GRADIETOV MERANÝCH DRUŽICOU GOCE A MODELU CRUST1.0

Martin Pitoňák¹, Mehdi Eshagh², Michal Šprlák¹, Pavel Novák¹



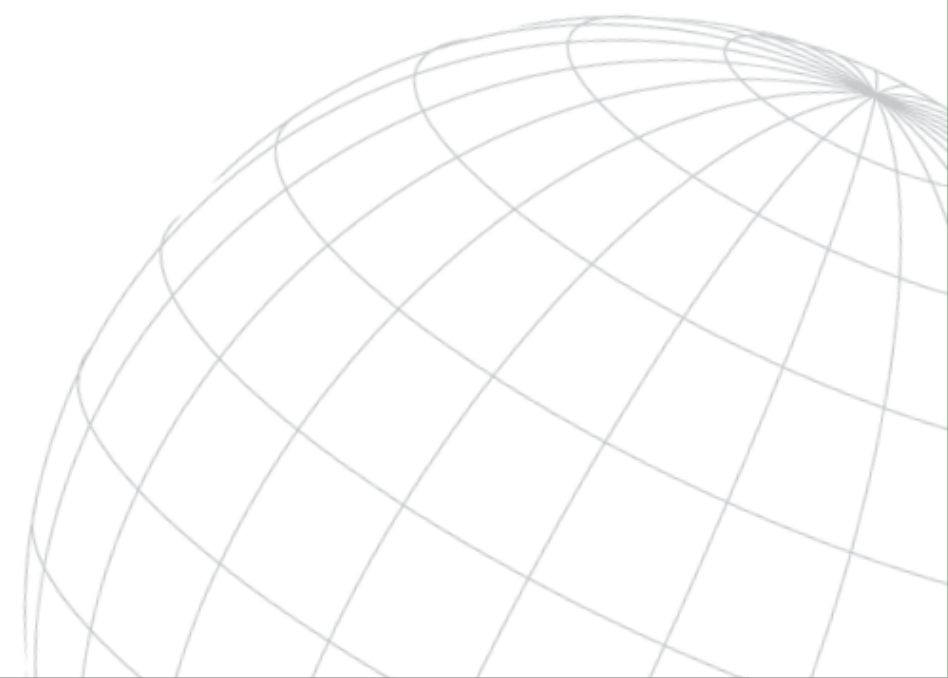
¹NTIS-New Technologies for the Information Society,
Faculty of Applied Sciences, University of West
Bohemia, Plzeň, Czech Republic

²Department of Engineering Science, University West,
Trollhättan, Sweden

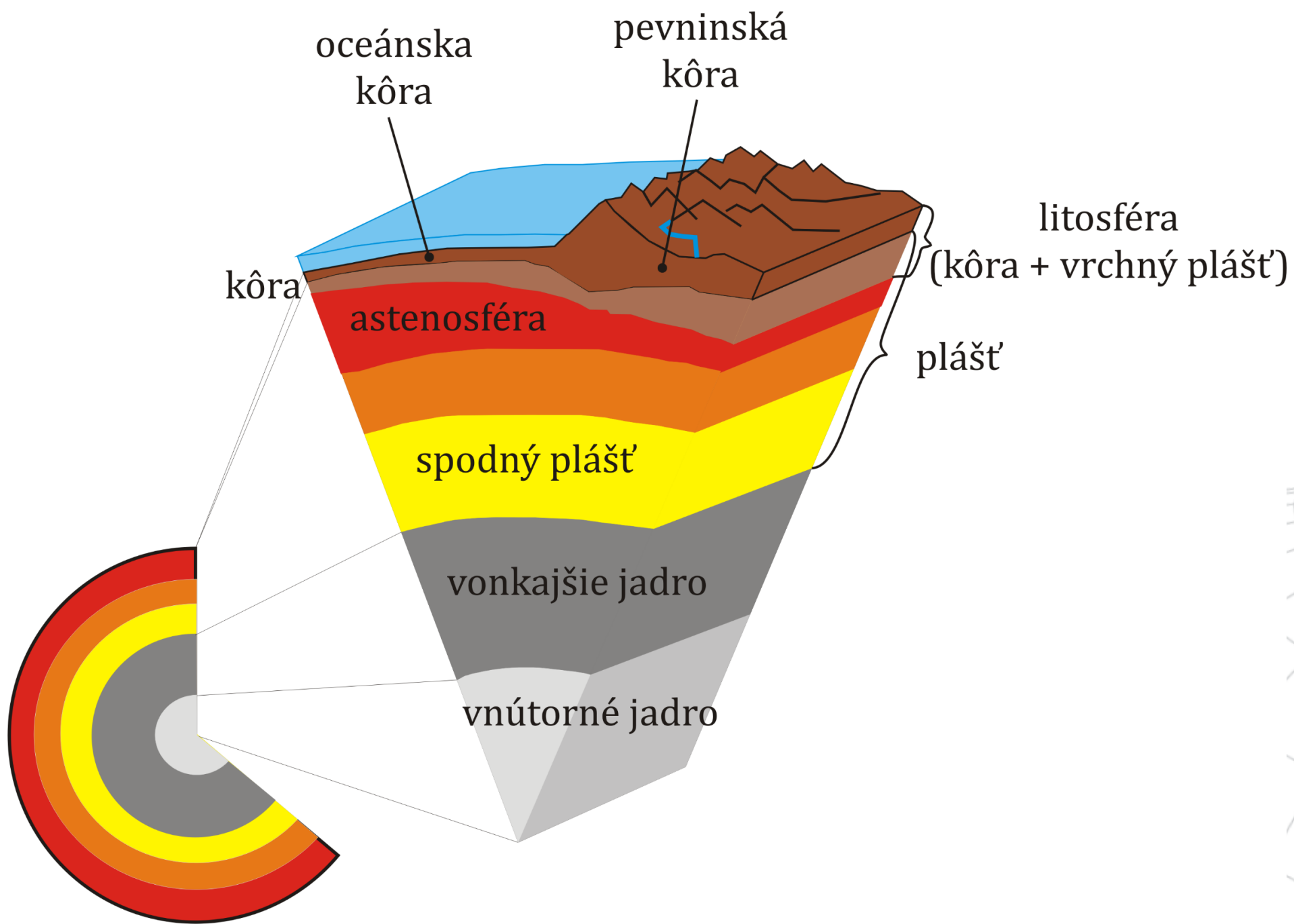


Obsah:

- Úvod,
- Metóda,
- Numerický experiment,
- Záver,

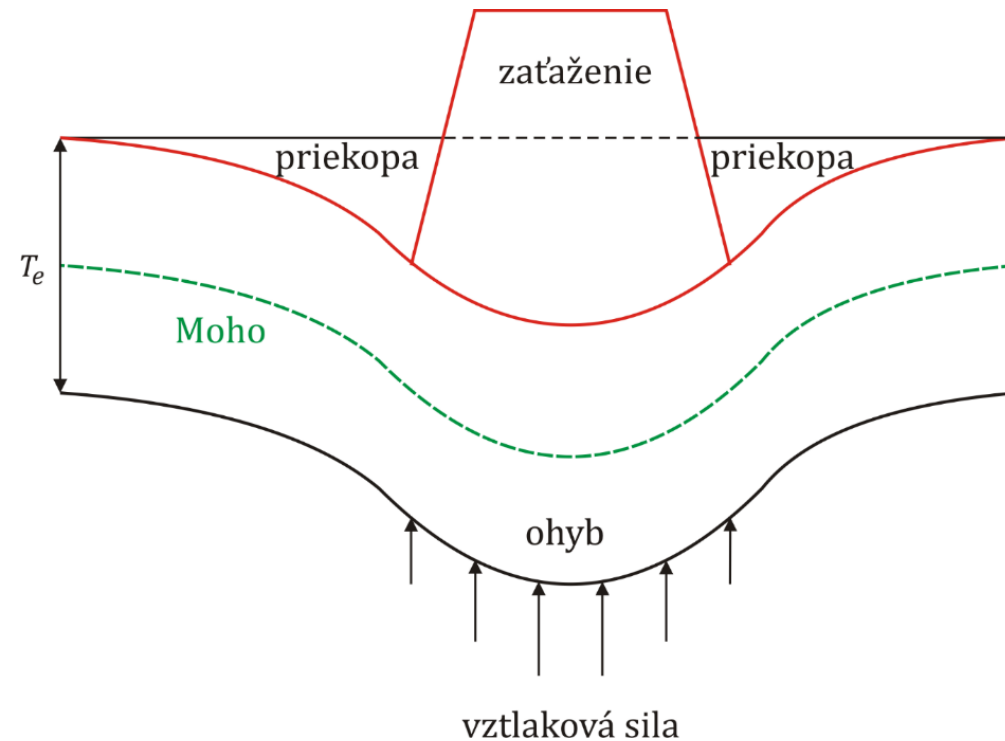


Úvod:



Úvod:

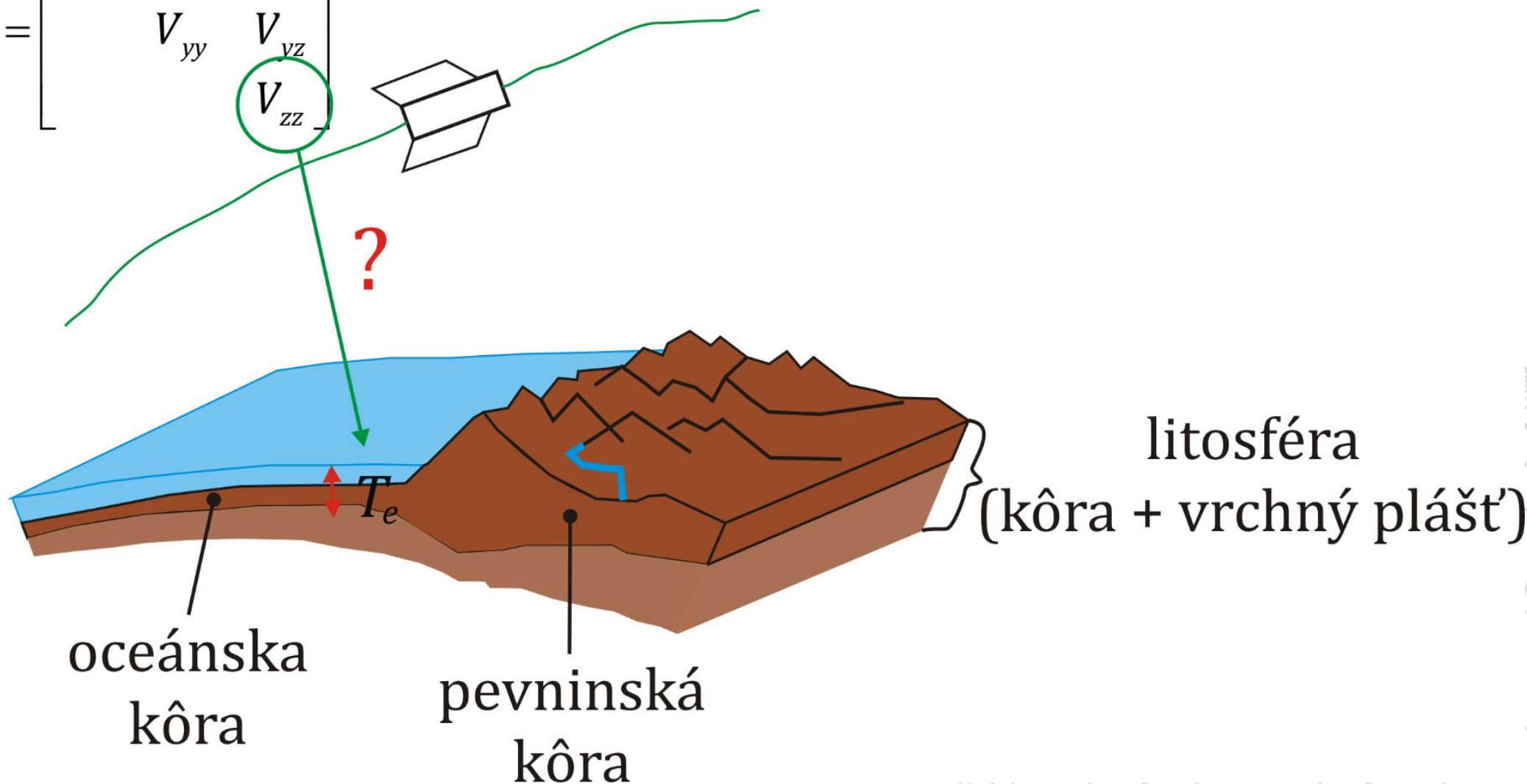
- Efektívna elastická hrúbka litosféry T_e – je parameter definujúci silu litosféry vzhľadom na rôzne tektonické zaťaženia. Podľa teoretických modelov, vysoké hodnoty T_e zodpovedajú kratónom (rozsiahle stabilné štruktúrne jednotky zemskej kôry) a nízke hodnoty aktívnym tektonickým oblastiam a mladým orogénnym vrstvám).



- Mohorovičičova diskontinuita (skrátene Moho) – je vrstva, ktorá geologicky definuje prechod zemskej kôry a vrchného plášťa. Nachádza sa v rozmedzí hĺbok 20–90 kilometrov pod kontinentami a 10–20 kilometrov pod oceánmi.

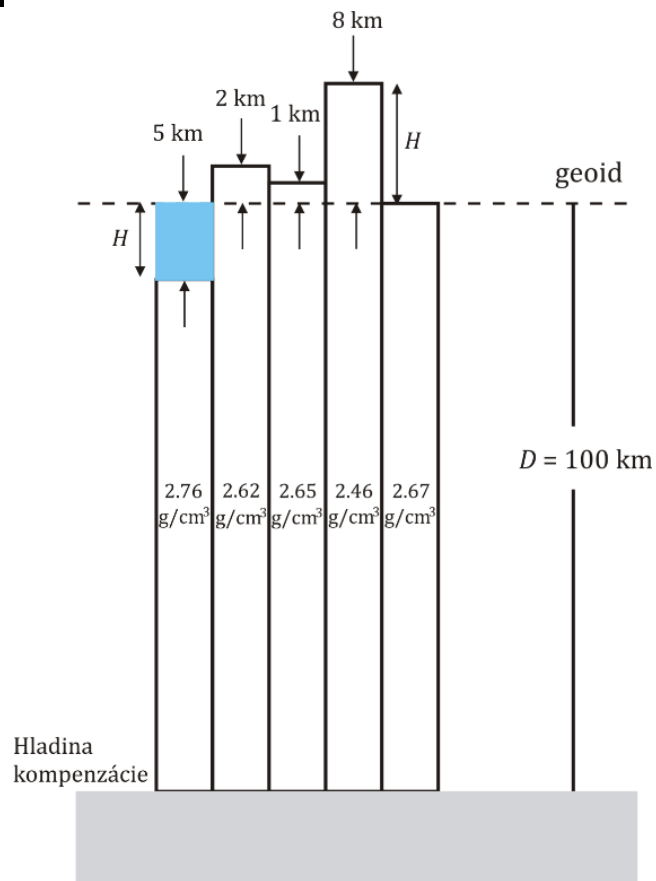
Úvod:

$$\mathbf{V} = \begin{bmatrix} V_{xx} & V_{xy} & V_{xz} \\ & V_{yy} & V_{yz} \\ & & V_{zz} \end{bmatrix}$$

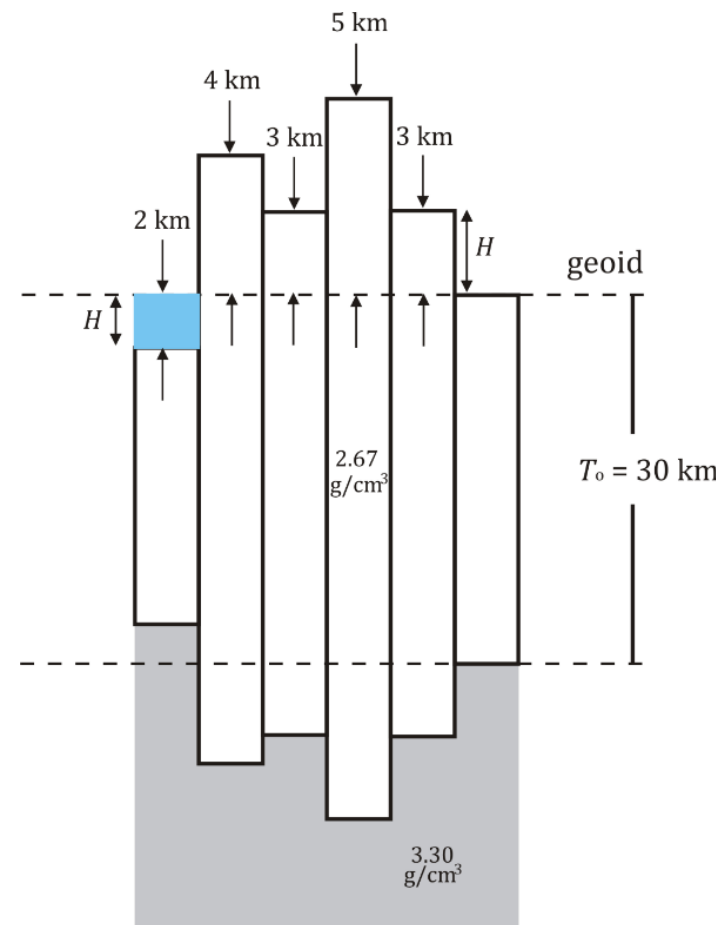


Metóda: princíp izostázy - stav približnej hydrostatickej rovnováhy veľkých zemských blokov, dosiahnutý v tzv. kompenzačnej hĺbke. Čokoľvek porušuje tento stav, vyvoláva ďalšie pochody smerujúce k dosiahnutiu rovnováhy. Napr. ak je výška horstva znížená denudáciou (zvetrávanie, erózia, svahové pohyby), je to kompenzované jeho zdvihom, naopak bloky klesajú pod tiažou kontinentálneho ľadovca a opäť stúpajú po jeho roztopení.

Pratt - Hayford

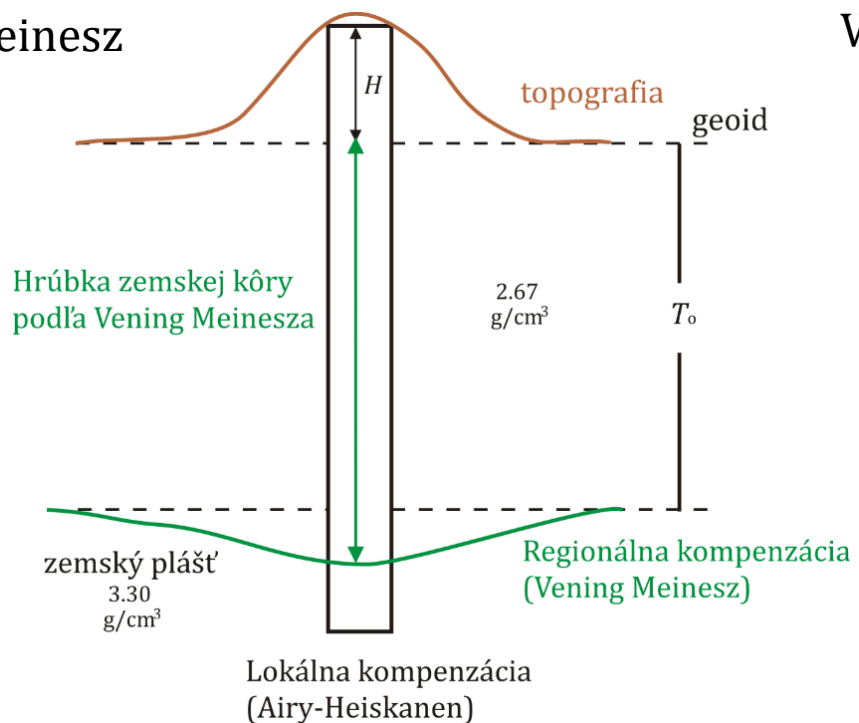


Airy - Heiskanen

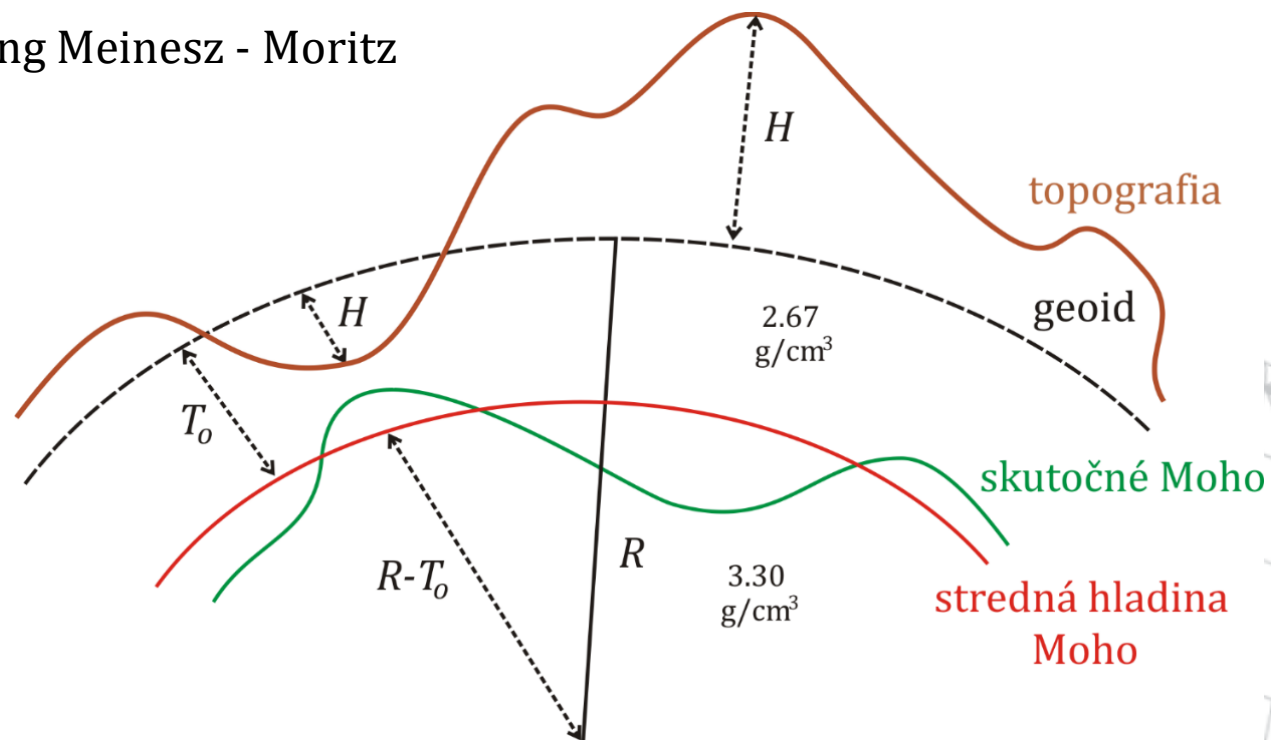


Metóda: princíp izostázy

Vening Meinesz



Vening Meinesz - Moritz



Metóda:

Model ohybu Moho podľa Vening Meinesza-Moritz je definovaný ako:

$$\Delta T^{\text{VMM}} = \frac{1}{4\pi G \Delta \rho} \sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{2n+1}{n+1} \right) \beta_n \sum_{m=-n}^n \left(\delta g_{nm}^{\text{TB}} + \delta g_{nm}^{\text{Sed}} + \delta g_{nm}^{\text{Cry}} - \delta g_{nm} \right) Y_{nm}(\theta, \lambda),$$

kde G je Newtonova gravitačná konštanta, $\Delta \rho$ je rozdiel hustôt medzi kôrou a vrchným plášťom, symboly δg_{nm} , $\delta g_{nm}^{\text{TB}}$, $\delta g_{nm}^{\text{Sed}}$, $\delta g_{nm}^{\text{Cry}}$ reprezentujú tiažové poruchy a gravitačné efekty topografie a batymetrie, sedimentov a kryštalinika.

$Y_{nm}(\theta, \lambda)$ sférické harmonické funkcie stupňa n a rádu m . Koeficient $\beta_n = \left(1 - (n+2) \frac{T_0}{2R} \right)^{-1}$ pre kontinent a $\beta_n = 1$ pre oceán. T_0 je stredná hĺbka Moho a R je stredný polomer referenčnej sféry.

Model ohybu Moho podľa teórie ohybu je definovaný ako:

$$\Delta T^{\text{Flex}} = \sum_{n=0}^{\infty} C_n \sum_{m=-n}^n \left(\bar{\rho} H + \delta \rho^{\text{Sed}} H^{\text{Sed}} + \delta \rho^{\text{Cry}} H^{\text{Cry}} \right)_{nm} Y_{nm}(\theta, \lambda),$$

kde H , H^{Sed} a H^{Cry} sú topografické/batymetrické výšky a hrúbky sedimentov a kryštalinika, $\bar{\rho}$, $\delta \rho^{\text{Sed}}$ a $\delta \rho^{\text{Cry}}$ sú hustoty topografických/vodných hmôt, a rozdiel hustôt medzi sedimentami, resp. kryštalinikami a referenčnou hustotou $\rho_c = 2670 \text{ kg m}^3$ a koeficient C_n :

$$C_n = \frac{\kappa_n - (1-\nu)}{\left(\kappa_n^3 - 4\kappa_n^2 \right) \frac{ET_e^3}{12R^4 g(1-\nu^2)} + \frac{ET_e}{R^2 g} (\kappa_n - 2) + (\kappa_n - (1-\nu)) \Delta \rho}.$$

Metóda:

Symbol E reprezentuje Youngov modul pružnosti, ν je Poissonov pomer, g znamená tiažové zrýchlenie a $\kappa_n = n(n+1)$.

Zavedím $\Delta T^{VMM} = \Delta T^{Flex}$ a $\delta g_{nm} = \frac{n+1}{R} V_{nm}$ dostaneme:

$$V_{nm} = V_{nm}^{TB} + V_{nm}^{Sed} + V_{nm}^{Crys} - \frac{4\pi GR\Delta\rho}{(2n+1)\beta_n} C_n \left(\bar{\rho}H + \delta\rho^{Sed} H^{Sed} + \delta\rho^{Cry} H^{Cry} \right)_{nm}.$$

Po dosadení za V_{nm} v nasledujúcom vzťahu:

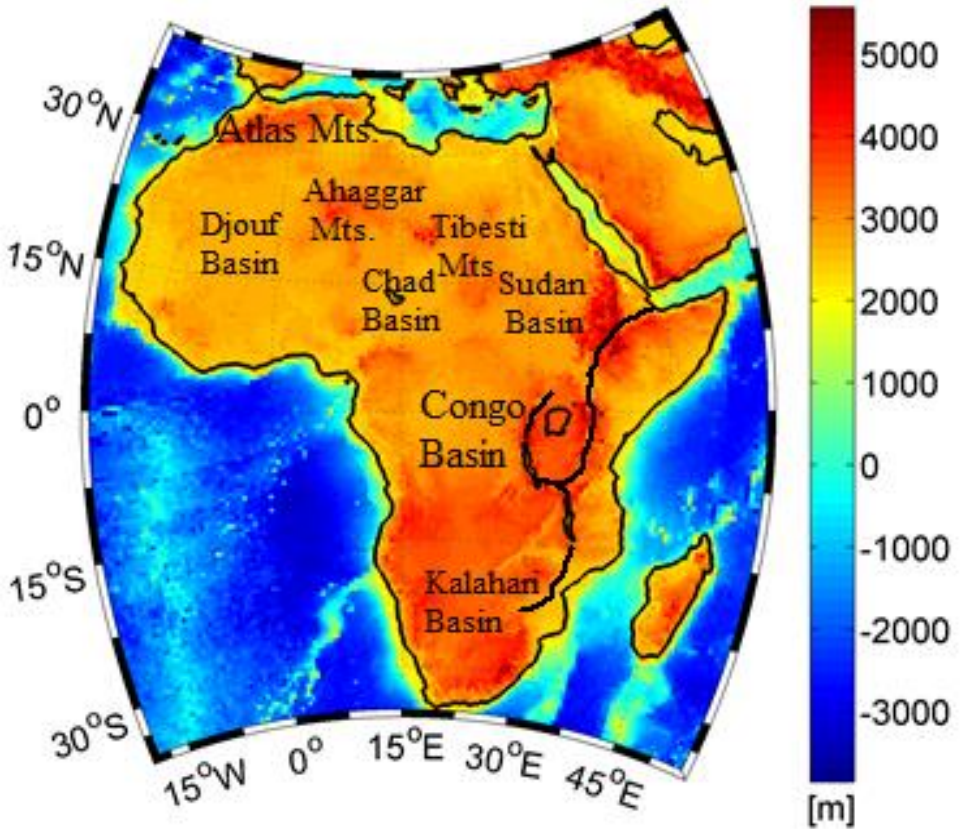
$$V_{zz} = \frac{1}{R^2} \sum_{n=0}^{\infty} (n+1)(n+2) \left(\frac{R}{r} \right)^{n+3} \sum_{m=-n}^n V_{nm} \bar{Y}_{nm}(\theta, \lambda)$$

dostneme:

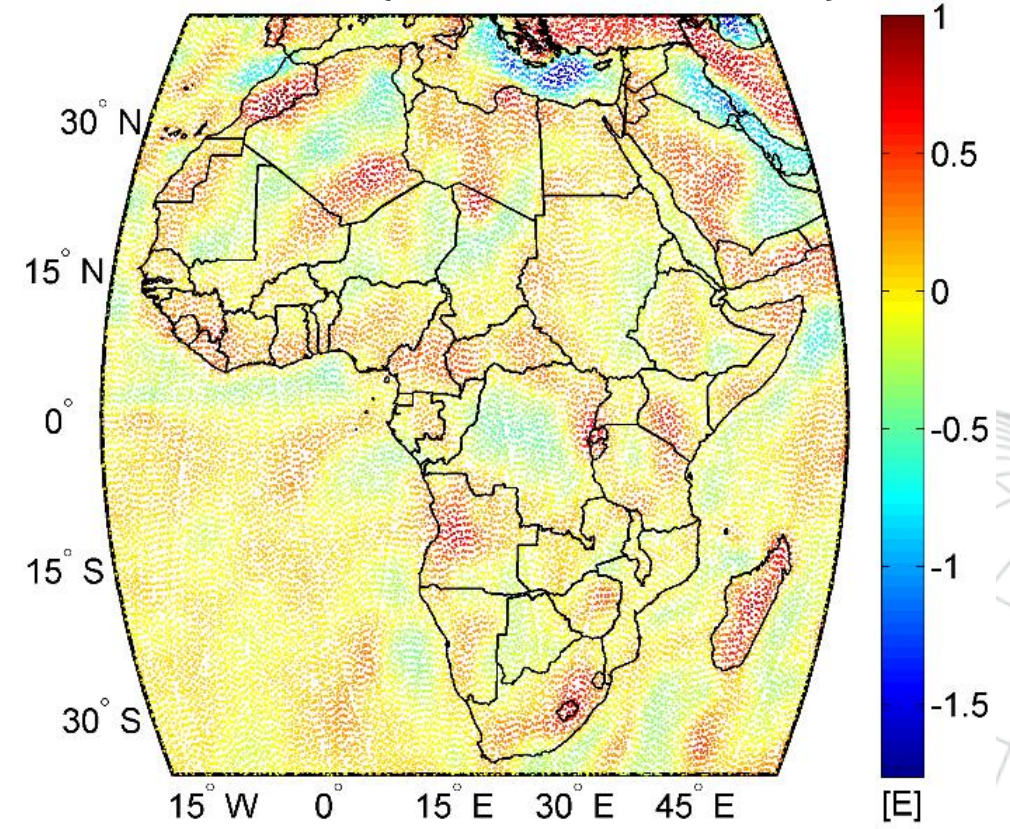
$$V_{zz}^{VMM} = \frac{1}{R^2} \sum_{n=0}^{\infty} (n+1)(n+2) \left(\frac{R}{r} \right)^{n+3} \sum_{m=-n}^n \left[V_{nm}^{TB} + V_{nm}^{Sed} + V_{nm}^{Crys} - \frac{4\pi GR\Delta\rho}{(2n+1)\beta_n} C_n \left(\bar{\rho}H + \delta\rho^{Sed} H^{Sed} + \delta\rho^{Cry} H^{Cry} \right)_{nm} \right] \bar{Y}_{nm}(\theta, \lambda)$$

Numerický experiment:

Topografia a batymetria z modelu DTM2006.0
(Pavlis et al. 2007)



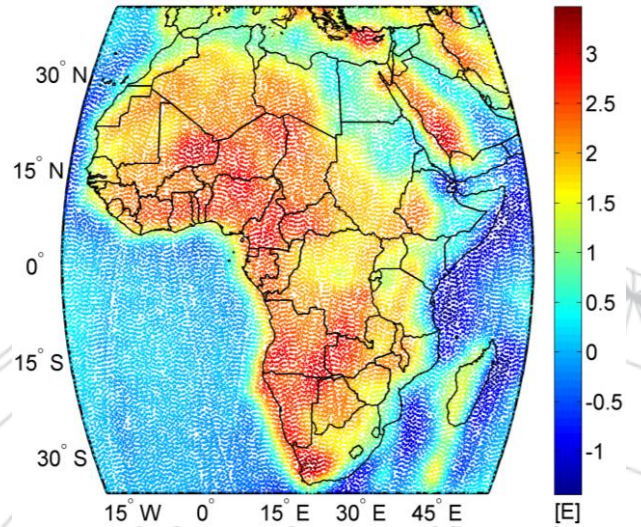
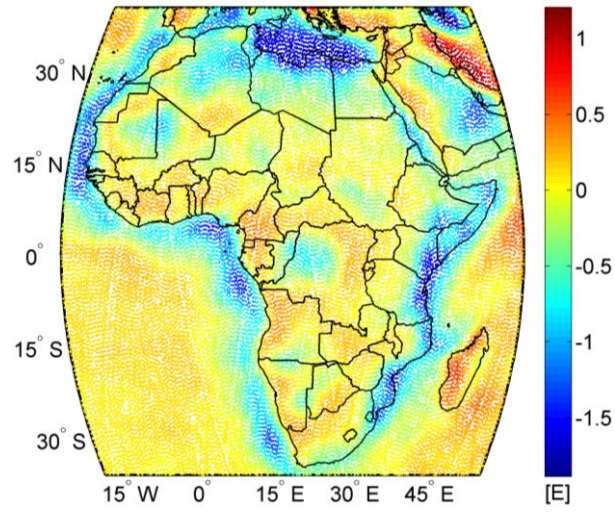
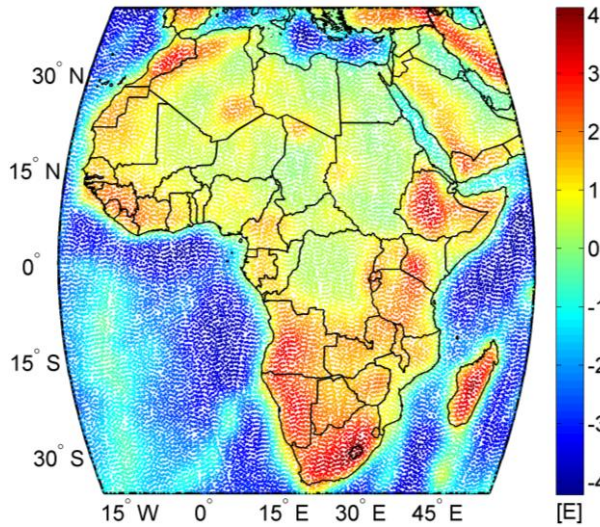
V_{zz} z produktu EGG_TRF_2 (4. august – 30. september 2013) redukovaný o vplyv dlhovej zložky tiažového poľa (N 0-16) z modelu TIM-r5 (Brockman et al. 2014)



~ 39000 bodov

Numerický experiment:

$$V_{zz} = \frac{1}{R^2} \sum_{n=0}^{\infty} (n+1)(n+2) \left(\frac{R}{r}\right)^{n+3} \sum_{m=-n}^n \left[V_{nm}^{TB} + V_{nm}^{Sed} + V_{nm}^{Crys} - \frac{4\pi GR\Delta\rho}{(2n+1)\beta_n} C_n(\bar{\rho}H + \delta\rho^{Sed} H^{Sed} + \delta\rho^{Cry} H^{Cry}) \right]_{nm} \bar{Y}_{nm}(\theta, \lambda)$$

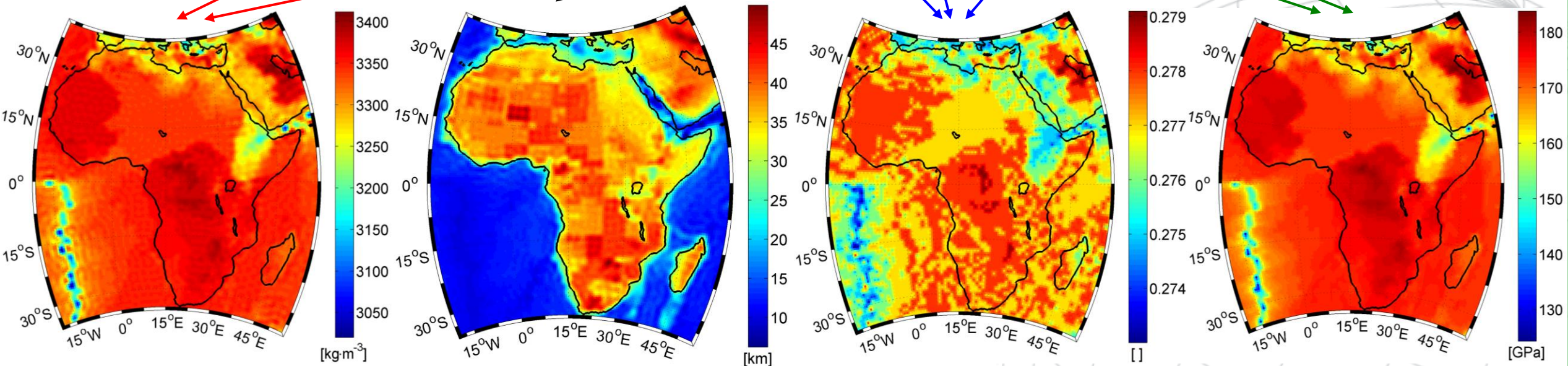


- interpolované z modelu CRUST1.0 (Laske et al. 2013)

Numerický experiment:

$$V_{zz} = \frac{1}{R^2} \sum_{n=0}^{\infty} (n+1)(n+2) \left(\frac{R}{r}\right)^{n+3} \sum_{m=-n}^n \left[V_{nm}^{TB} + V_{nm}^{Sed} + V_{nm}^{Crys} - \frac{4\pi GR\Delta\rho}{(2n+1)\beta_n} C_n (\bar{\rho}H + \delta\rho^{Sed} H^{Sed} + \delta\rho^{Cry} H^{Cry}) \right]_{nm} \bar{Y}_{nm}(\theta, \lambda)$$

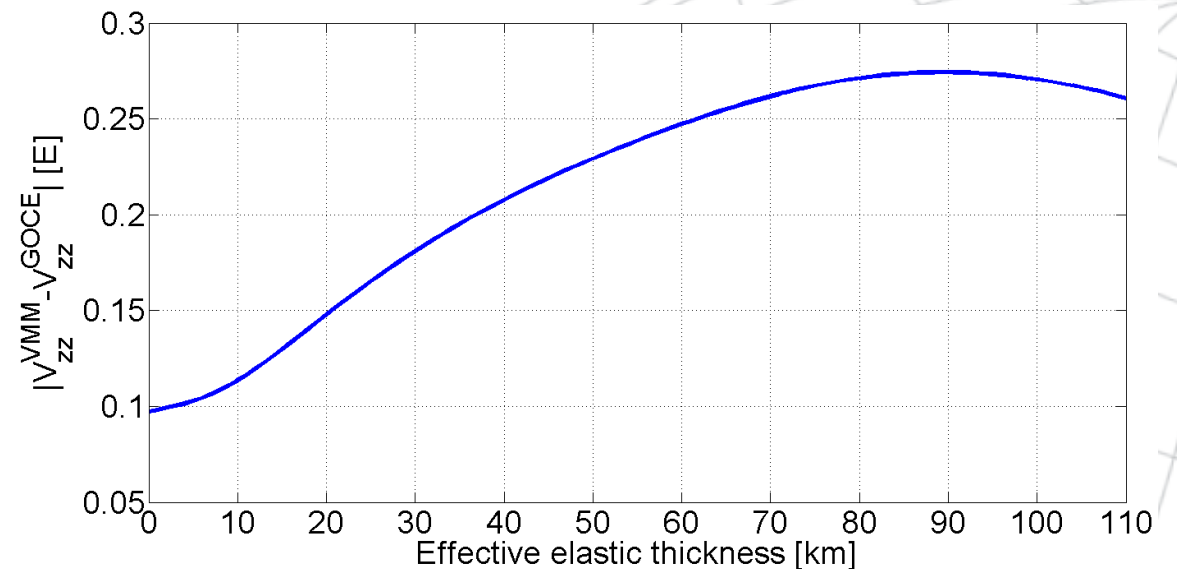
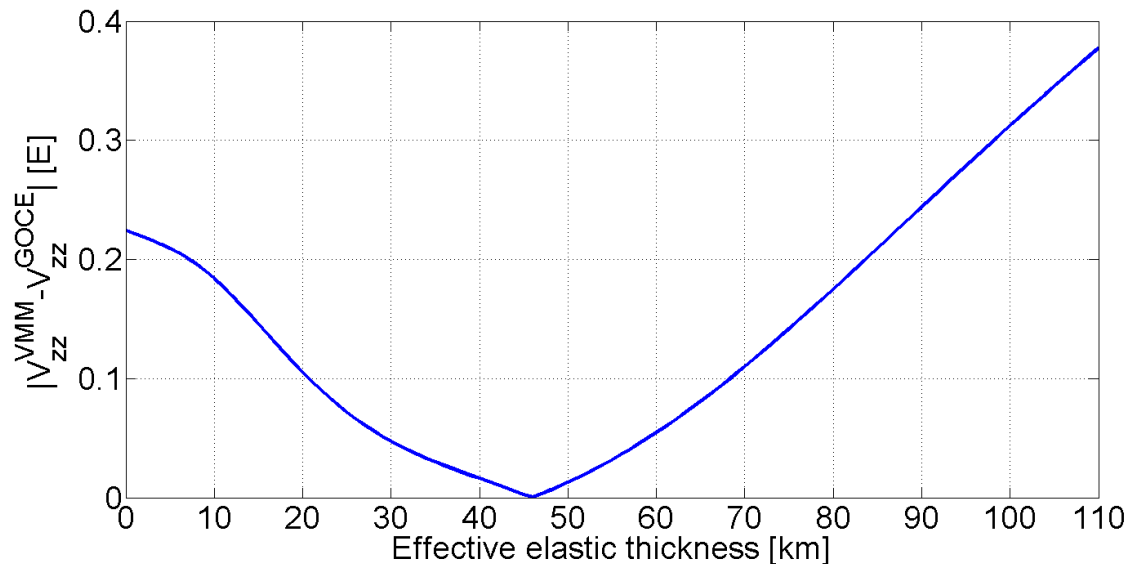
$$C_n = \frac{\kappa_n - (1-\nu)}{(\kappa_n^3 - 4\kappa_n^2) \frac{ET_e^3}{12R^4 g(1-\nu^2)} + \frac{ET_e}{R^2 g} (\kappa_n - 2) + (\kappa_n - (1-\nu)) \Delta\rho}$$



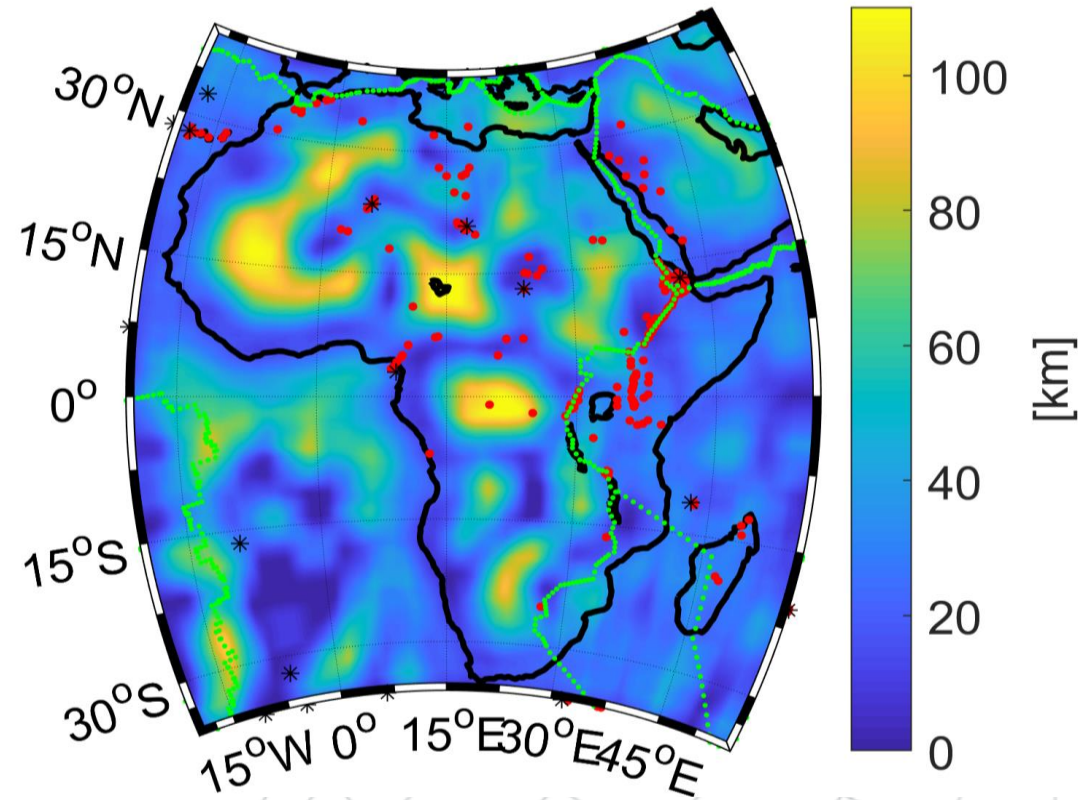
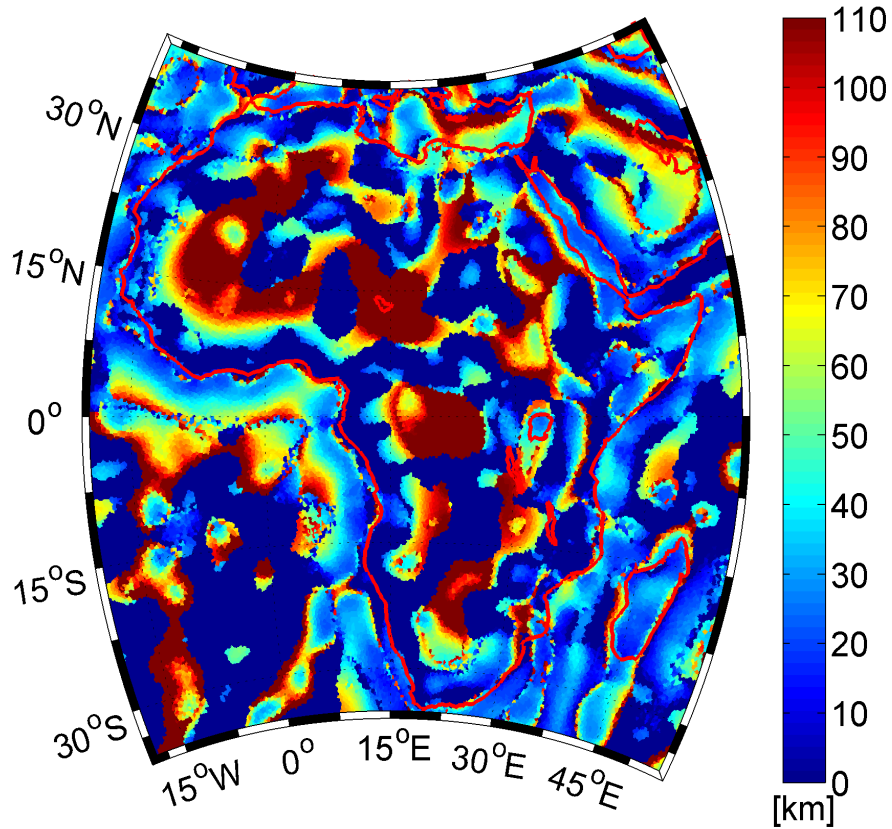
Numerický experiment:

$$V_{zz} = \frac{1}{R^2} \sum_{n=0}^{\infty} (n+1)(n+2) \left(\frac{R}{r}\right)^{n+3} \sum_{m=-n}^n \left[V_{nm}^{TB} + V_{nm}^{Sed} + V_{nm}^{Crys} - \frac{4\pi GR\Delta\rho}{(2n+1)\beta_n} C_n (\bar{\rho}H + \delta\rho^{Sed} H^{Sed} + \delta\rho^{Cry} H^{Cry}) \right]_{nm} \bar{Y}_{nm}(\theta, \lambda)$$

$$C_n = \frac{\kappa_n - (1-\nu)}{(\kappa_n^3 - 4\kappa_n^2) \frac{ET_e^3}{12R^4 g(1-\nu^2)} + \frac{ET_e}{R^2 g} (\kappa_n - 2) + (\kappa_n - (1-\nu))\Delta\rho}$$



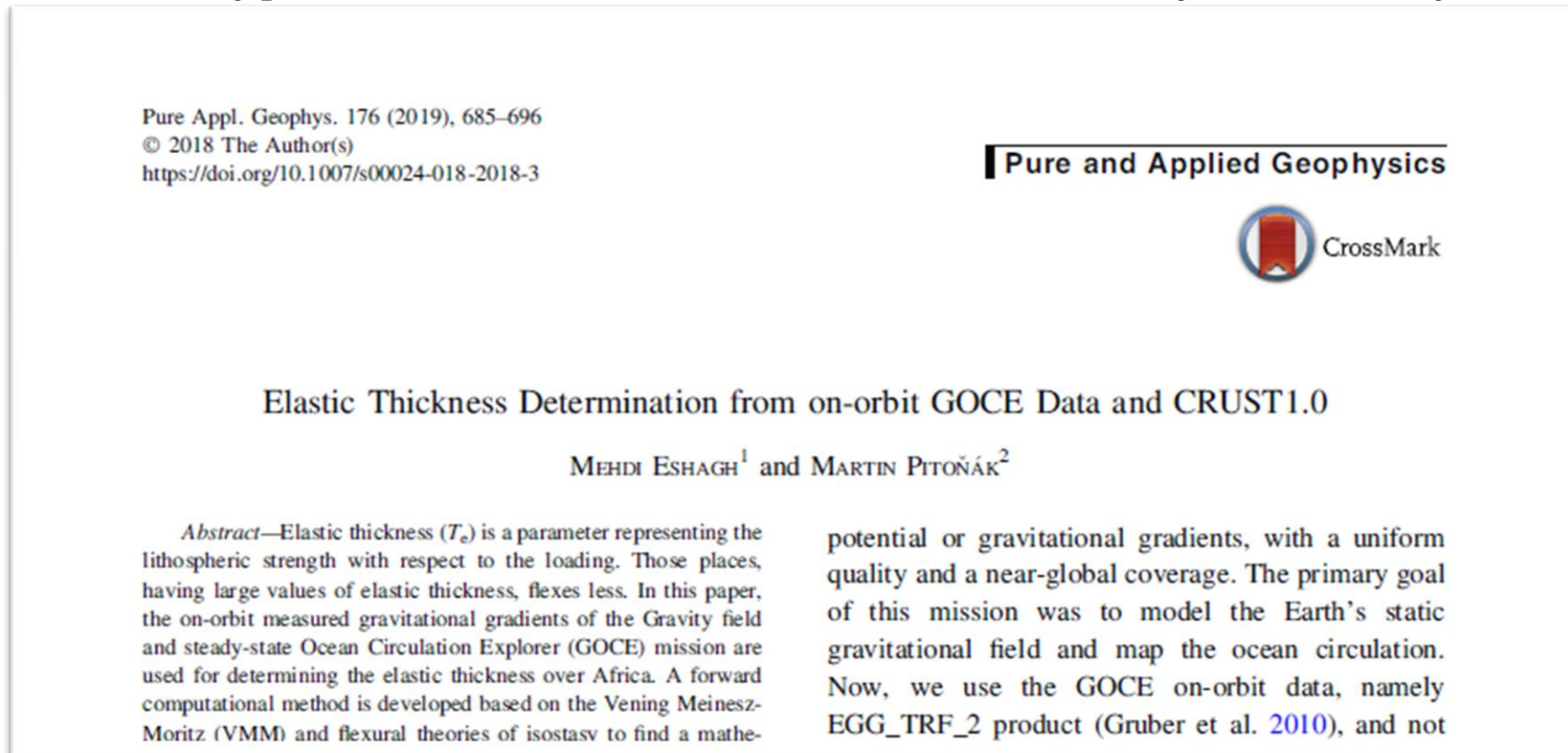
Numerický experiment:



- * Horúce škrvny (z angl. hotspots),
- sopky,
- hranice tektonických platní definované pomocou zemetrasení.

Záver:

- Bola odvodená metóda na odhad efektívnej elastickej hrúbky litosféry z druhých derivácií gravitačného potenciálu, ktorá je založená na priamom modelovaní a kombinuje metódy Vening Meinesza-Moritz a teórie ohybu.
- Po prvýkrát bola vypočítaná efektívna elastická hrúbka litosféry z meraní vykonaných družicou GOCE.



Ďakujem za pozornosť
pitonakm@ntis.zcu.cz

PodĎakovanie: Tento príspevok bol podporený projektom No. 21-13713S Grantovej agentúry Českej republiky.