

30 LET GEODYNAMICKÉHO VÝZKUMU NA ÚZEMÍ SEVERNÍ MORAVY

30 YEARS OF GEODYNAMIC RESEARCH IN THE TERRITORY OF NORTHERN MORAVIA

Otakar ŠVÁBENSKÝ¹, Lubomil POSPÍŠIL^{1,2}, Josef WEIGEL¹

¹ Ústav geodézie, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno, ČR

² Katedra geodézie a důlního měřictví, Faculty of Mining and Geology, Technical University of Ostrava 95, 17. listopadu 15, 70833 Ostrava, ČR

e-mail: svabensky.o@fce.vutbr.cz; Lubomil.pospisil@vsb.cz; pospisil.l@fce.vutbr.cz; weigel.j@fce.vutbr.cz

OBSAH / CONTENT

- 1 ÚVOD**
- 2 30 LET MĚŘENÍ GEODYNAMICKÉ SÍTĚ SNĚŽNÍK**
- 3 GEODYNAMICKÝ VÝZKUM SEVERNÍ MORAVY**
- 4 ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ A GEODYNAMICKÝ MODEL**
- 3 ZÁVĚRY A DOPORUČENÍ**

ÚVOD / INTRODUCTION

- **Ústav geodézie VUT v Brně jako první univerzitní pracoviště v ČR používá technologii GNSS již od roku 1992, a jednou z prvních aktivit bylo právě zapojení do geodynamického výzkumu v národním i mezinárodním měřítku.**
- **V roce 1992 byla vybudována lokální výzkumná geodynamická síť pokrývající českou i polskou část masivu Králického Sněžníku jako první projekt tohoto druhu na území Moravy. Naše pracoviště dostalo příležitost se tohoto projektu aktivně zúčastnit a dnes, při vzpomínce 30. výročí vzniku sítě Sněžník, můžeme konstatovat její významný přínos pro naši vědeckovýzkumnou i pedagogickou činnost.**
- **Od té doby se naše aktivity v oblasti geodynamických aplikací GNSS rozšířily na celé území Moravy, a posléze i ČR. V průběhu dalších let se potvrdilo, že je důležité konfrontovat a integrovat výsledky geodetických měření s dalšími geovědními poznatky.**

30 let měření geodynamické sítě Sněžník

Tato nejstarší geodynamická síť na území Moravy byla vybudována v roce 1992 v rozsahu pokrývajícím českou i polskou část masivu Králického Sněžníku. Z geologického hlediska jsou body sítě situovány přímo na komplexech jednotky Śnieżnik–Gieraltów, kde dominují zlomy převážně směru SZ-JV.

Zpočátku byla síť měřena vcelku, později došlo k redukci frekvence měření na polské straně, zatímco v české části je stále měřeno v pravidelných ročních kampaních. Původní struktura sítě Sněžník doznala v průběhu let určitých změn, Příčinami bylo zvětšení zákrytů obzoru některých bodů vlivem vývoje vegetace a také poškození stabilizace některých bodů zemědělskou činností. Bohužel na řádnou údržbu sítě se nedařilo získávat potřebné prostředky.

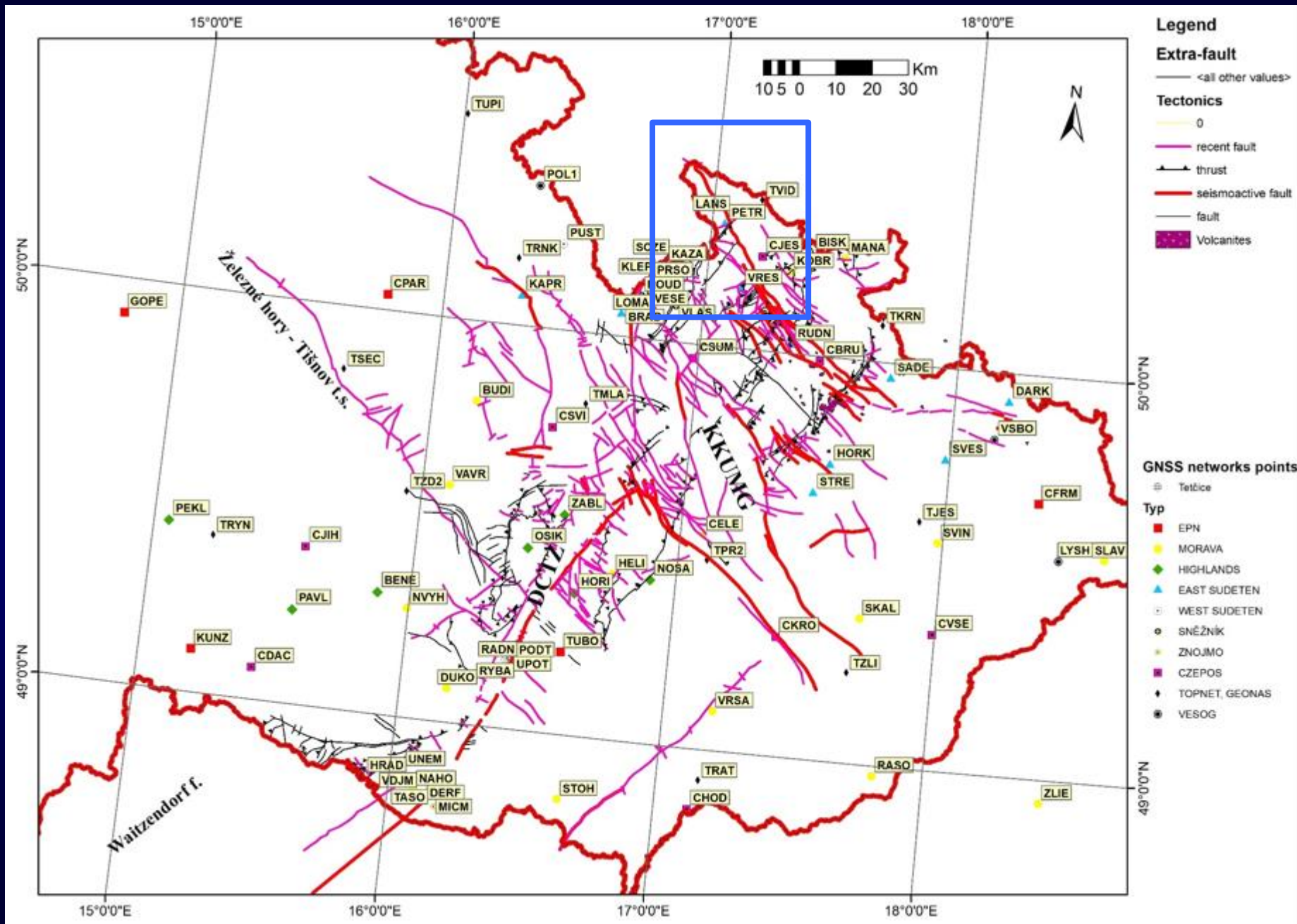
Data shromážděná v rámci každoročních měřických kampaní v české části sítě Sněžník jsou průběžně vyhodnocována. Jedná se o data pořízená aparaturami různých výrobců. Počáteční kampaně byly měřeny přijímači Ashtech, v dalším období převažovaly přijímače Leica sporadicky doplňované přijímači Ashtech a Trimble. Několik dalších kampaní bylo realizováno výhradně přijímači Leica. V posledních 5 letech byla používána kombinace přijímačů Leica a Trimble (v závislosti na vývoji přístrojového vybavení pracoviště).

30 let měření geodynamické sítě Sněžník

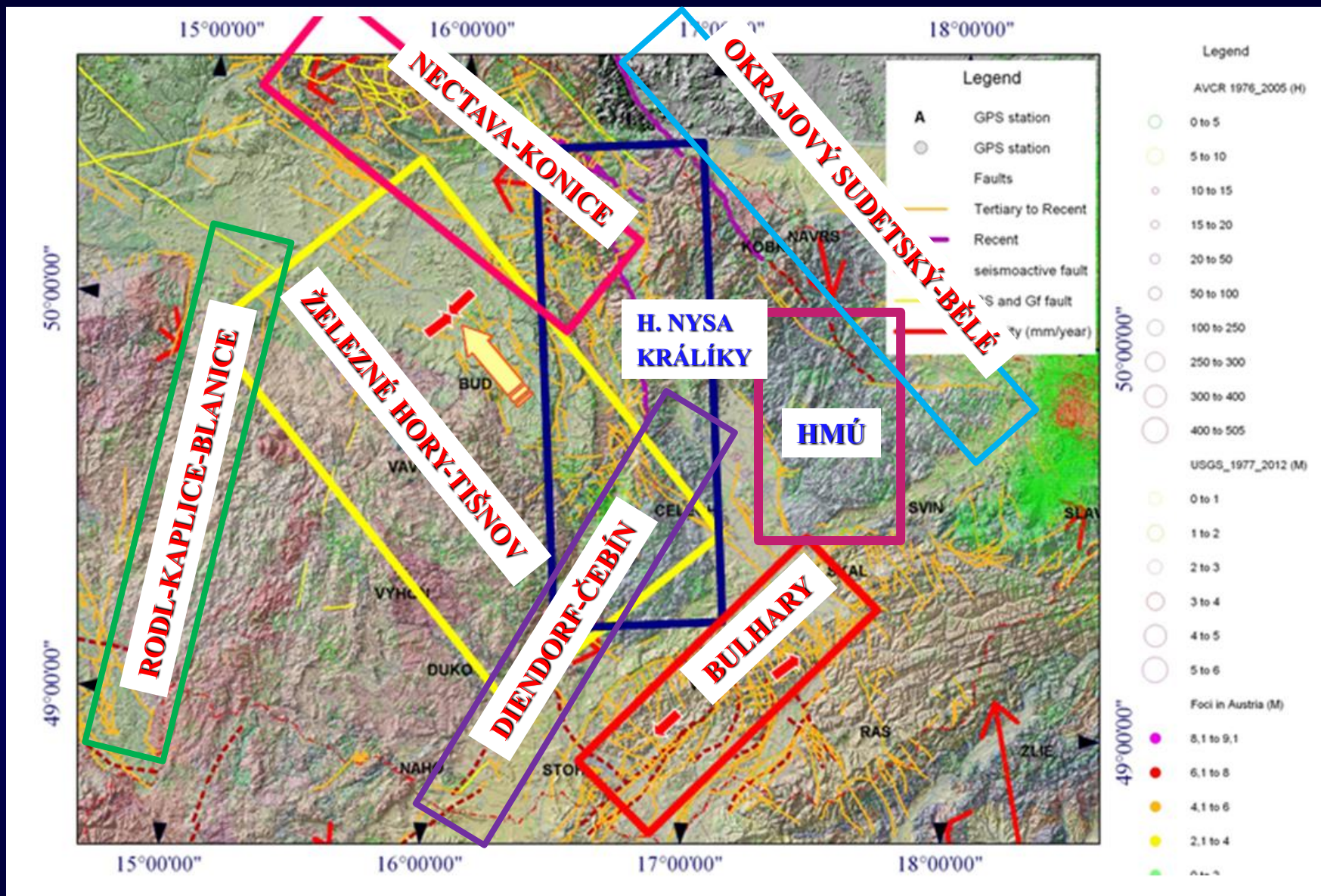
V uplynulém období bylo zpracováno několik řešení této sítě, na nichž jsme se podíleli. Do souhrnu ucelených zpracování měření v síti Sněžník lze zahrnout dva publikované výstupy.

První (Cacoń et al., 2004) představuje výsledky uceleného vyhodnocení horizontálních posunů v celé síti Sněžník z dat dvou kampaní 1993 a 2003, druhý (Puchrík et al., 2014) obsahuje pouze řešení české části. Obě práce konstatují, že odhadnuté rychlosti pro většinu bodů jsou menší než 1 mm/rok.

Sít' Sněžník umožnila za 30 let své existence získání rozsáhlého množství GNSS dat. Tato data jsou využívána jak pro vědeckovýzkumnou činnost Ústavu geodézie, tak též v rámci výuky a dalších odborných aktivit studentů oboru Geodézie a kartografie na VUT v Brně. Je též využívána pro praktickou výuku studentů magisterského studia. Z těchto důvodů je pochopitelná snaha udržet naše aktivity v této geodynamické síti i v dalších letech.



Přehled GNSS stanic existujících geodynamických a permanentních GNSS sítí na území Moravy



Geodynamicky aktivní oblasti podle údajů GNSS z území Moravy a nejbližšího okolí

METODIKA / METHODOLOGY

- **METODY GNSS a VPN:** umožňují sledovat recentní aktivní dynamiku rozsáhlých území v relativně časově krátkém období a s vysokou efektivitou. Nasazení technologie GNSS umožňuje efektivní určování kinematických tendencí bloků svrchní vrstvy zemské litosféry.
- **INTERFEROMETRIE:** podobný přínos poskytují data poskytované interferometrií
- **KOMPLEXNÍ** využití geodetických, geofyzikálních a geomorfologických údajů se stává neoptimálnějším způsobem pro mapování lokalit s významnými aktivními pohybovými tendencemi.

Geodynamický výzkum Severní Moravy

Použitá data a postup zpracování: Pro účely řešení projektu zaměřeného na území českého masívu a jeho okolí, byla shromážděna a posouzena dostupná data stanic v rozsahu zájmového území. Řešení vychází z již dříve ověřených postupů, kdy se geodetické výsledky z metod GNSS a VPN doplňují geomorfologickými a geofyzikálními údaji, což umožňuje v detailu ověřit nebo přímo najít strukturně – tektonické prvky, podílející se na generování zjištěných pohybových tendencí.

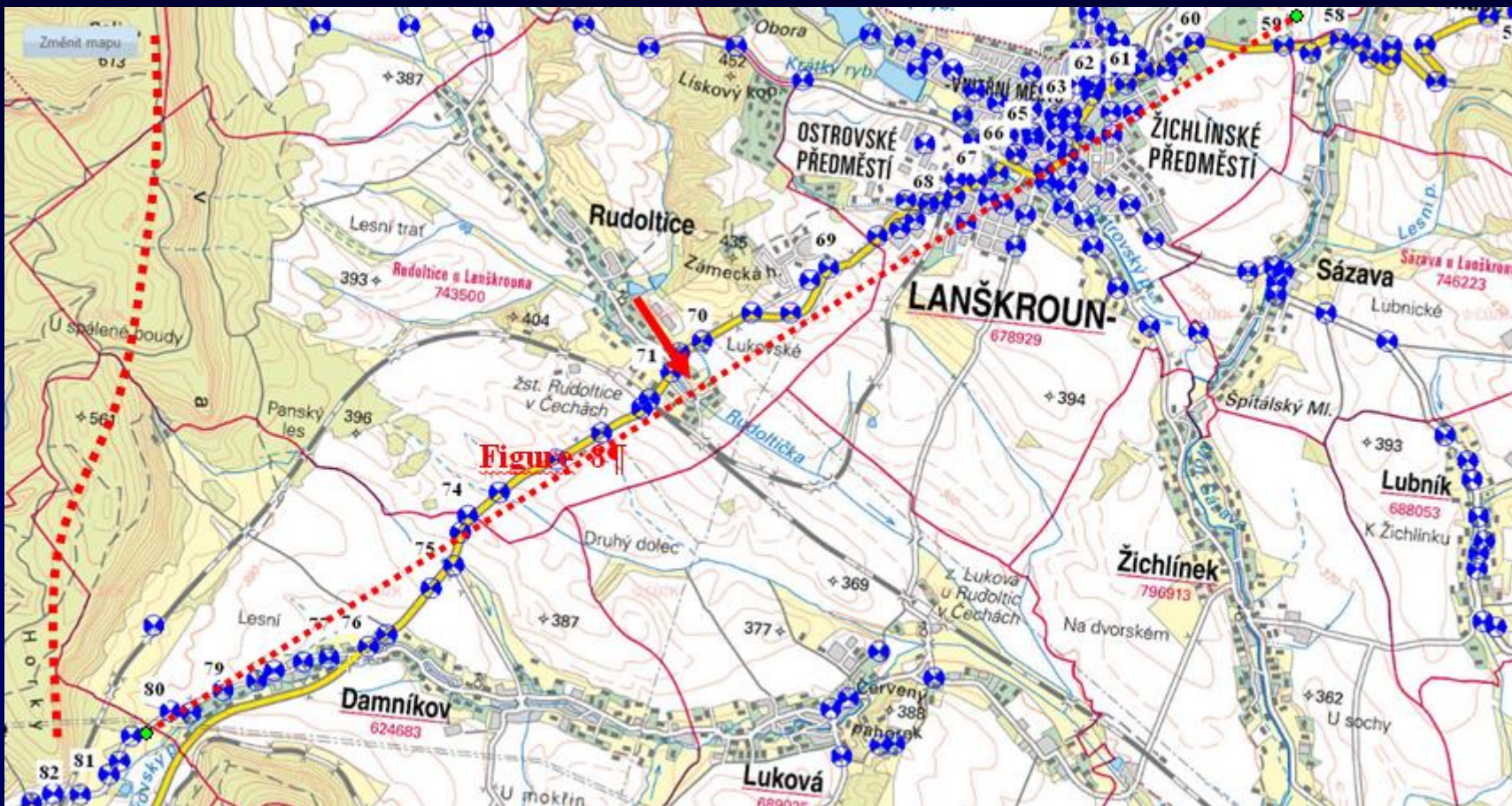
Hlavní fáze komplexního přístupu uplatňovaného v EBM zahrnovaly:

- interpretaci různých souborů dat měření GNSS na základě vzájemného propojení jejich výsledků novým jednotným zpracováním,
- odlišení nedávno aktivních tvarů terénu od pasivních geomorfologických struktur v rámci typického hustého liniového půdorysu jeho reliéfu pomocí nové základní regionální geomorfologické analýzy, podpořené dalšími výzkumnými metodami
- odvození nového geodynamického modelu v zájmovém regionu a hloubkových strukturních modelů v několika podoblastech s více indexy významné nedávné kinematické aktivity.

Zhodnocení výsledků a geodynamický model

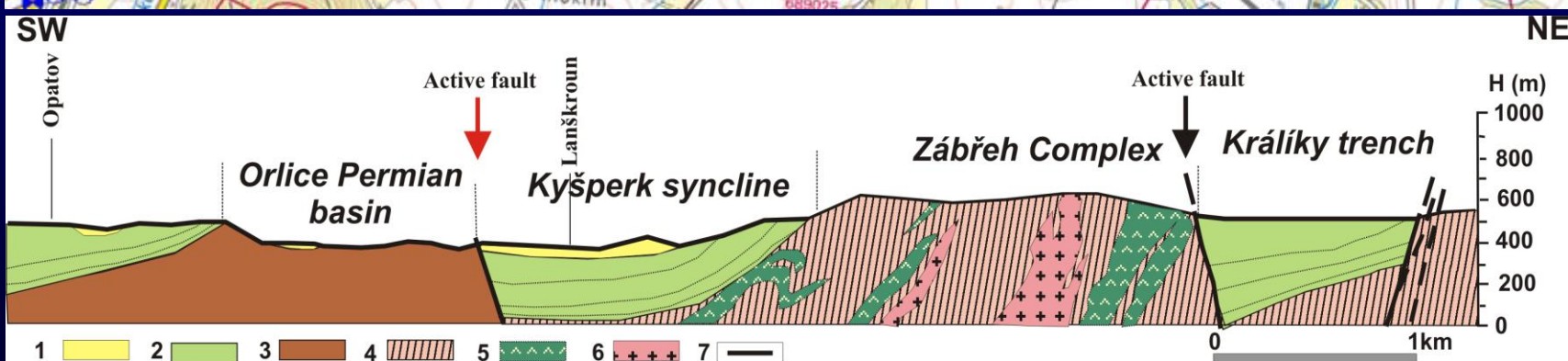
Recentní vertikální rychlosti: Přepočítali jsme rychlosti recentních vertikálních pohybů z izoliniové mapy (Vyskočil, 1996) pro účely digitálního modelu.

- Hodnoty se pohybovaly v exponované části EBM od + 0,6 do – 0,5 mm/rok se dvěma nejvyššími maximy na SV (centra Hrubého Jeseníku a Vysočiny Nízkého Jeseníku) a v Západních Karpatech od + 0,5 až – 2 mm/rok s nejvýraznějším minimem na S (Vídeňská pánev).
- V EBM byl pokles indikován v oblasti MSFZ, na JV cípu české křídové pánve, v karpatské předhlubni a v pánvích deformačního systému Horní Nysa–Králíky (UNKG) a Hornomoravského úvalu (UMB).
- Vztah mezi změnami polarity nedávných vertikálních pohybů a nedávno aktivními zlomy je pravděpodobný podél částí zlomových systémů Nectava–Konice (NKF), Železné Hory–Tišnov (ZHTTZ), Diendorf–Čebín, severní Boskovická brázda (DCTZ), Šternberk–Horní Benešov (SHBF), nebo Bělského zlomu (BF); míra korelace se však liší a v jiných zlomových úsecích takový prostorový paralelismus neexistuje.

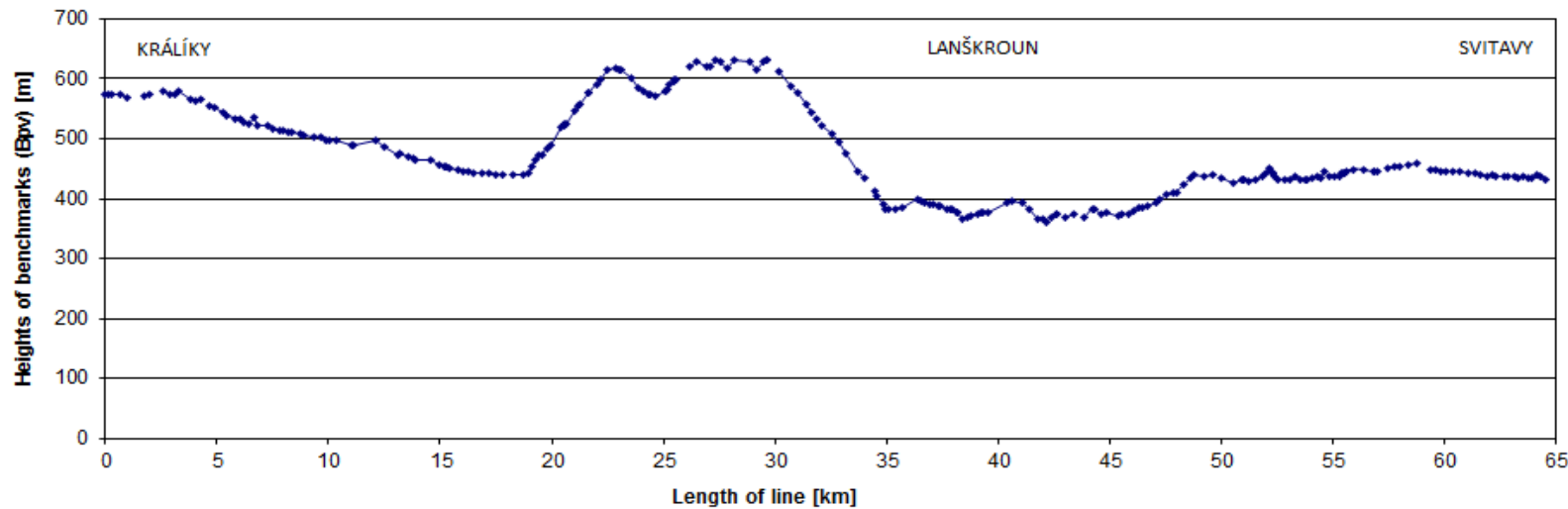


Nivelační pořad 1. řádu EF (Králíky – Svitavy) – část mezi body EF-56 and EF-82. Mapa je doplněna částí geologického profilu probíhajícího přes zájmovou oblast (červená tečkovaná linie). Arrow indicates the change of movement trend. Tečkovaná čára vyznačuje předpokládanou polohu Nectava – Konice tektonické zóny

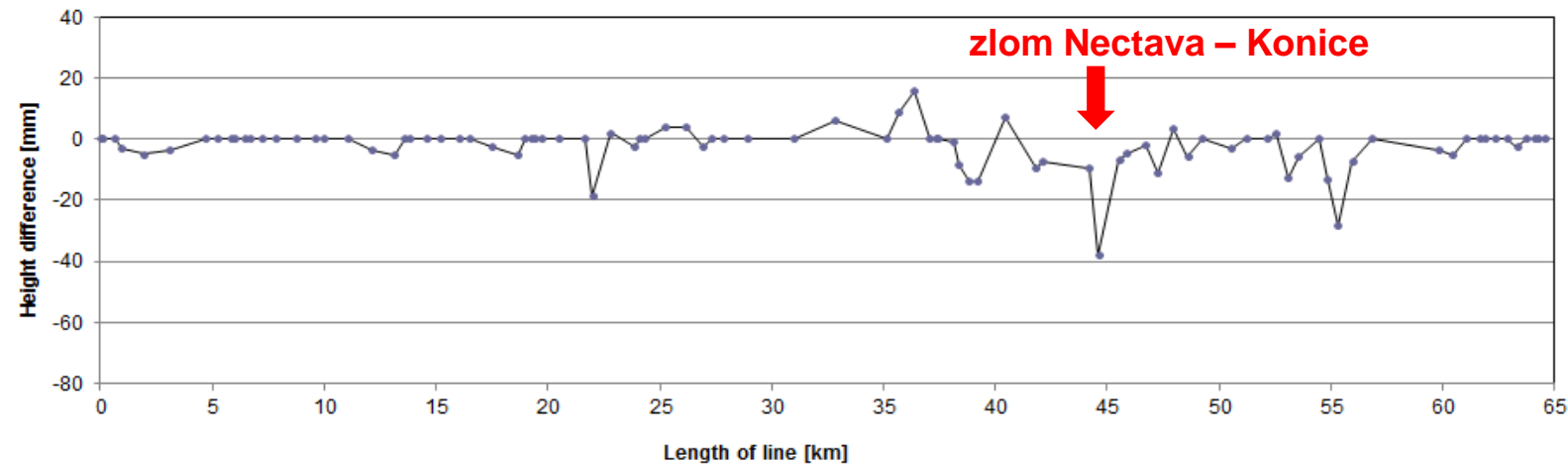
Poloha aktivní Nectava – Konice tektonické zóny byla detekována na Profilu opakované nivelace (RLP) poblíž Lanškrouna. Na geologickém profilu (modifikovaném podle Geologické mapy ČSSR, list Moravská Třebová-ÚÚG Praha) je označena červenou šipkou. Největší poklesy byly zaznamenány v centrální zóně Kyšperské synklinály, poblíž Lanškrouna. Legenda: 1- Neoge (Lower Badenian), 2- Křída (Cenoman až Coniac), 3- Paleozoikum (Perm), 4- Proterozoikum (biotitické ruly, fylity, břidlice, pararuly), 5- Amfibolity a eklogity, 6-Diority a granitodiority (tonality), 7- zlomy.



I. Order Levelling Line EF (Králíky - Svitavy) - Topo Relief Profile



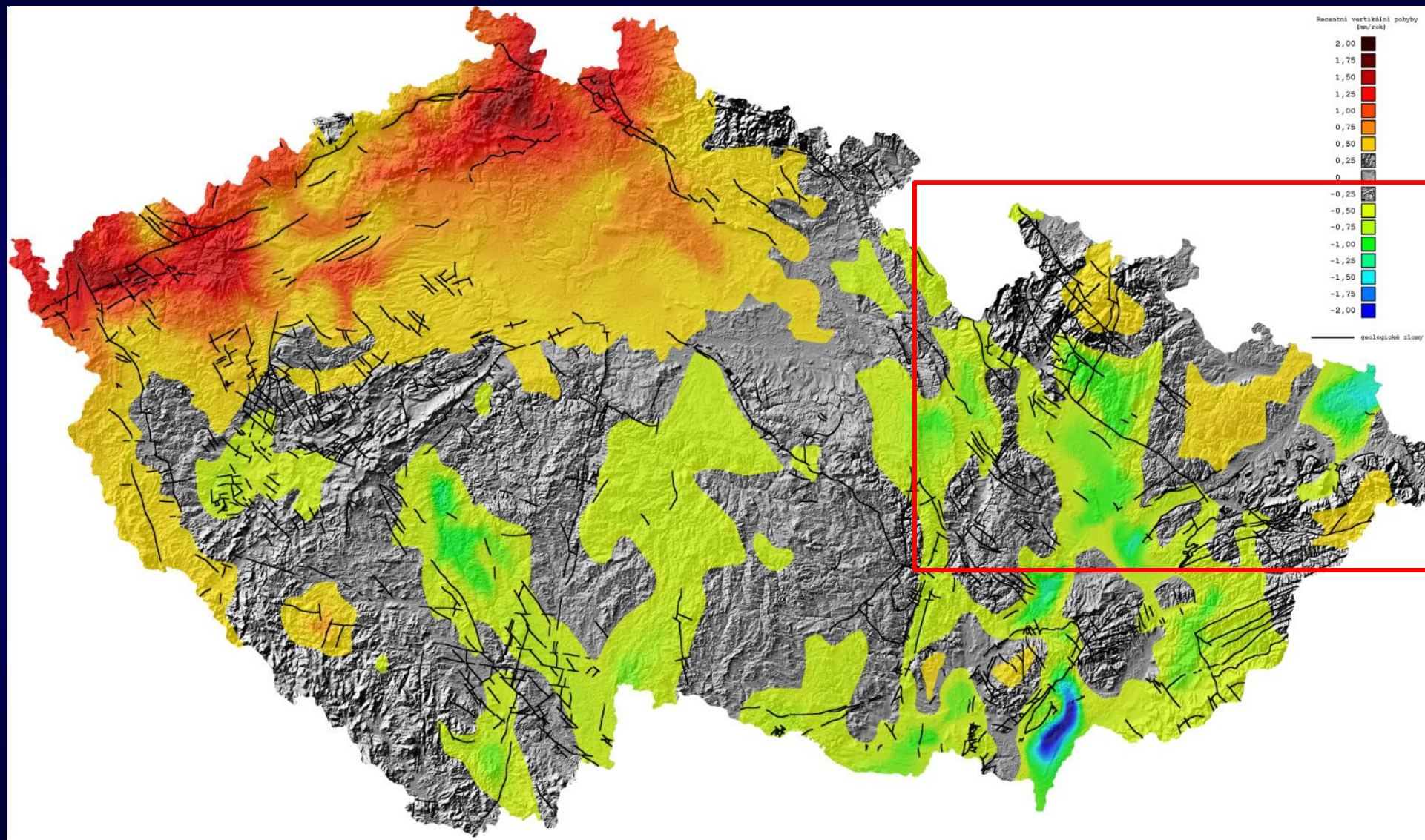
I. Order Levelling Line EF (Králíky - Svitavy) - Height Changes of Benchmarks (1948 - 1993)



Nivelační pořad 1. řádu EF (Králíky – Svitavy) – část mezi body EF-56 and EF-82. Mapa je doplněna částí geologického profilu probíhajícího přes zájmovou oblast (červená tečkovaná linie). Arrow indicates the change of movement trend. Tečkovaná čára vyznačuje předpokládanou polohu Nectava - Konice tektonické zóny

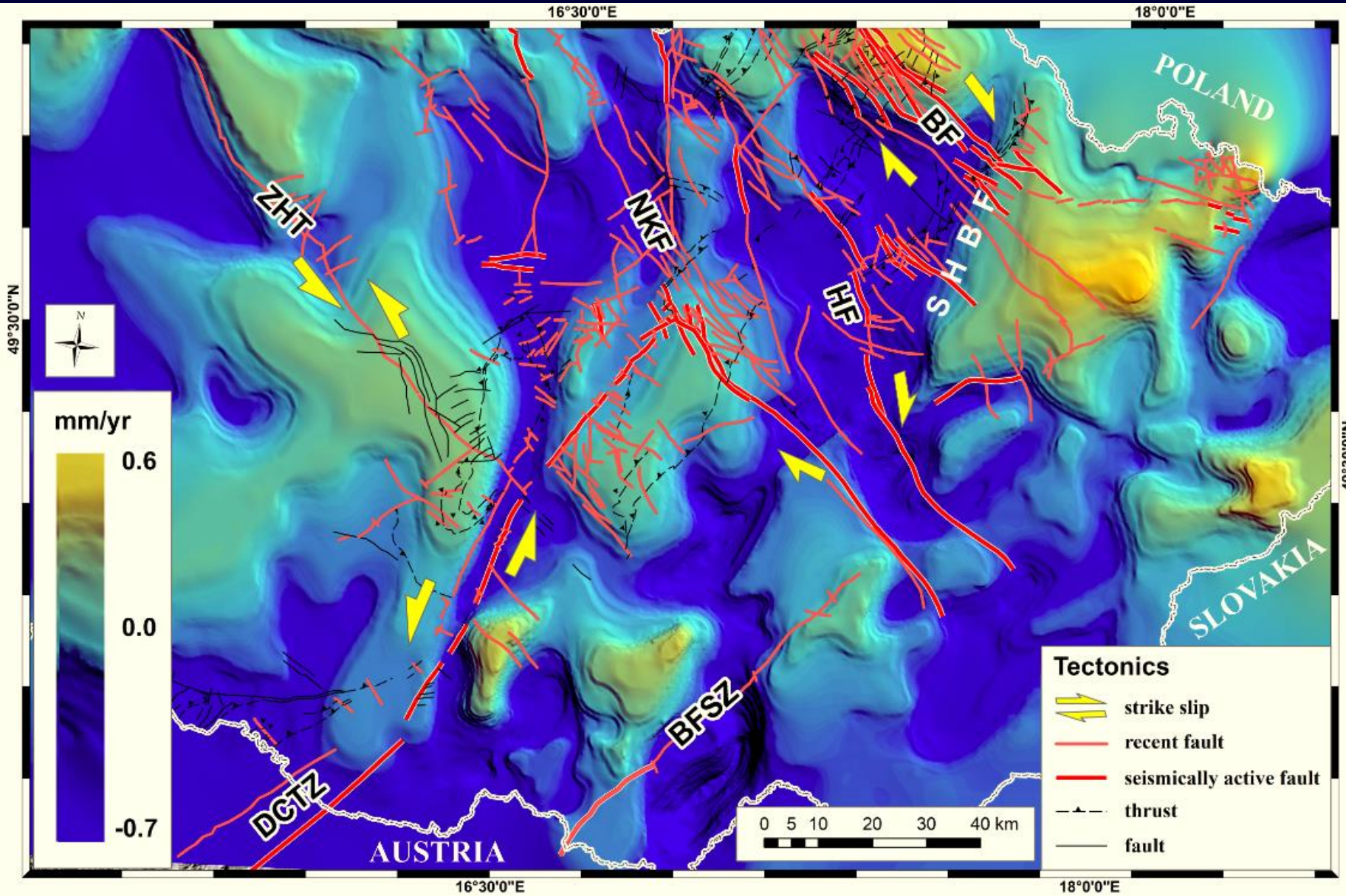
Poloha aktivní Nectava – Konice tektonické zóny byla detekována na Profilu opakované nivelace (RLP) poblíž Lanškrouna. Na geologickém profilu (modifikovaném podle Geologické mapy ČSSR, list Moravská Třebová-ÚÚG Praha) je označena červenou šipkou. Největší poklesy byly zaznamenány v centrální zóně Kyšperské synklinály, poblíž Lanškrouna. Legenda: 1- Neoge (Lower Badenian), 2- Křída (Cenoman až Coniac), 3- Paleozoikum (Perm), 4- Proterozoikum (biotitické ruly, fylity, břidlice, pararuly), 5- Amfibolity a eklogity, 6-Diority a granitodiority (tonality), 7- zlomy.

Vertikální pohybové tendence / Vertical movement tendencies



Mapa recentních vertikálních pohybů (RVM) v mm/rok – podle Vyskočil, 1996 upraveno autory

Mapa recentních vertikálních pohybů + hlavní zlomové systémy podle GNSS



ZLOMY:

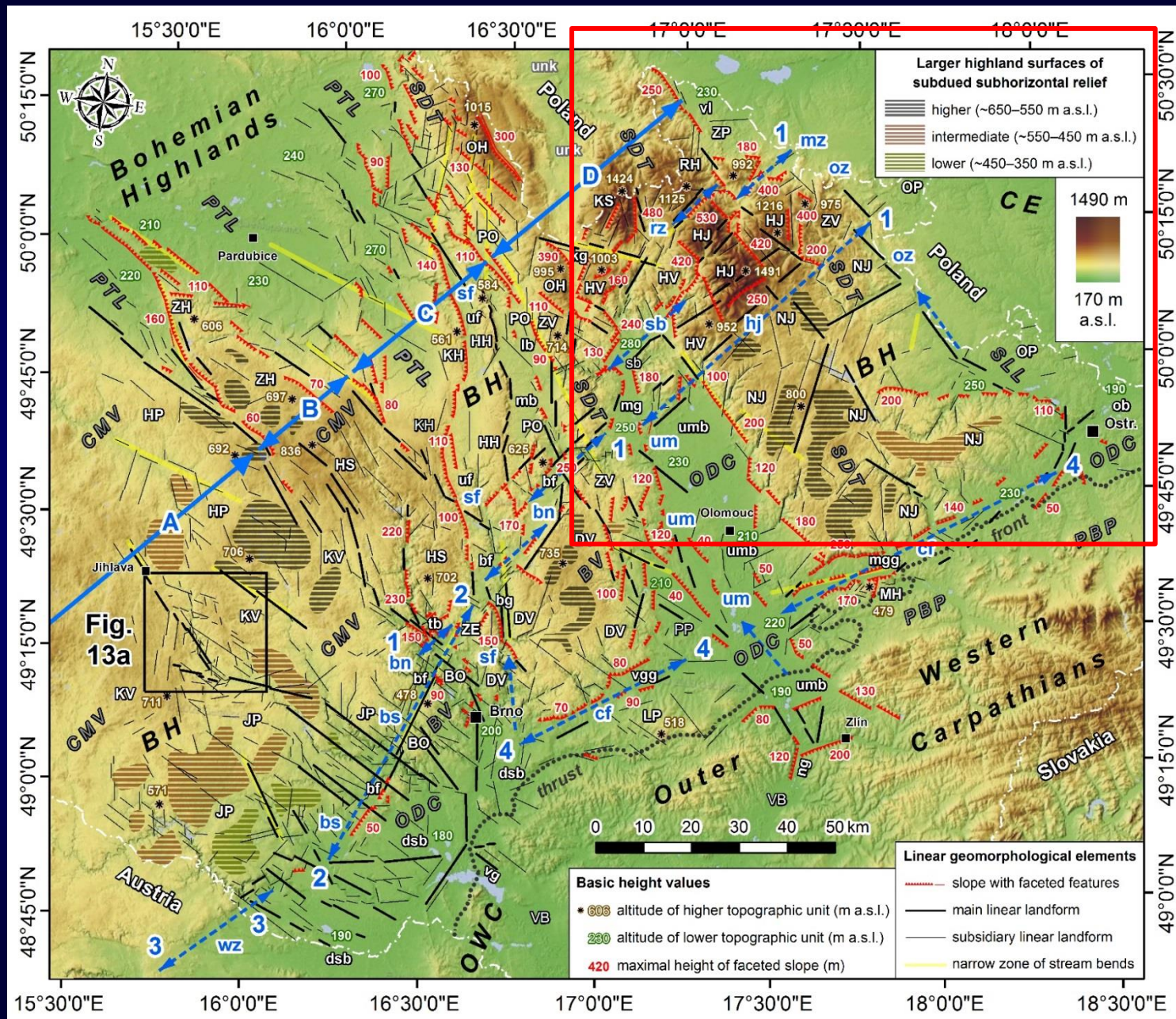
BF - Bělá zlom

HF - Haná zlom

NKF - Nectava - Konice zlom
ZHT - Železné hory-Tišnov
tektonická zóna

DCTZ – Diendorf-Čebín
tektonická zóna

BFSZ – Bulhary střižná zóna

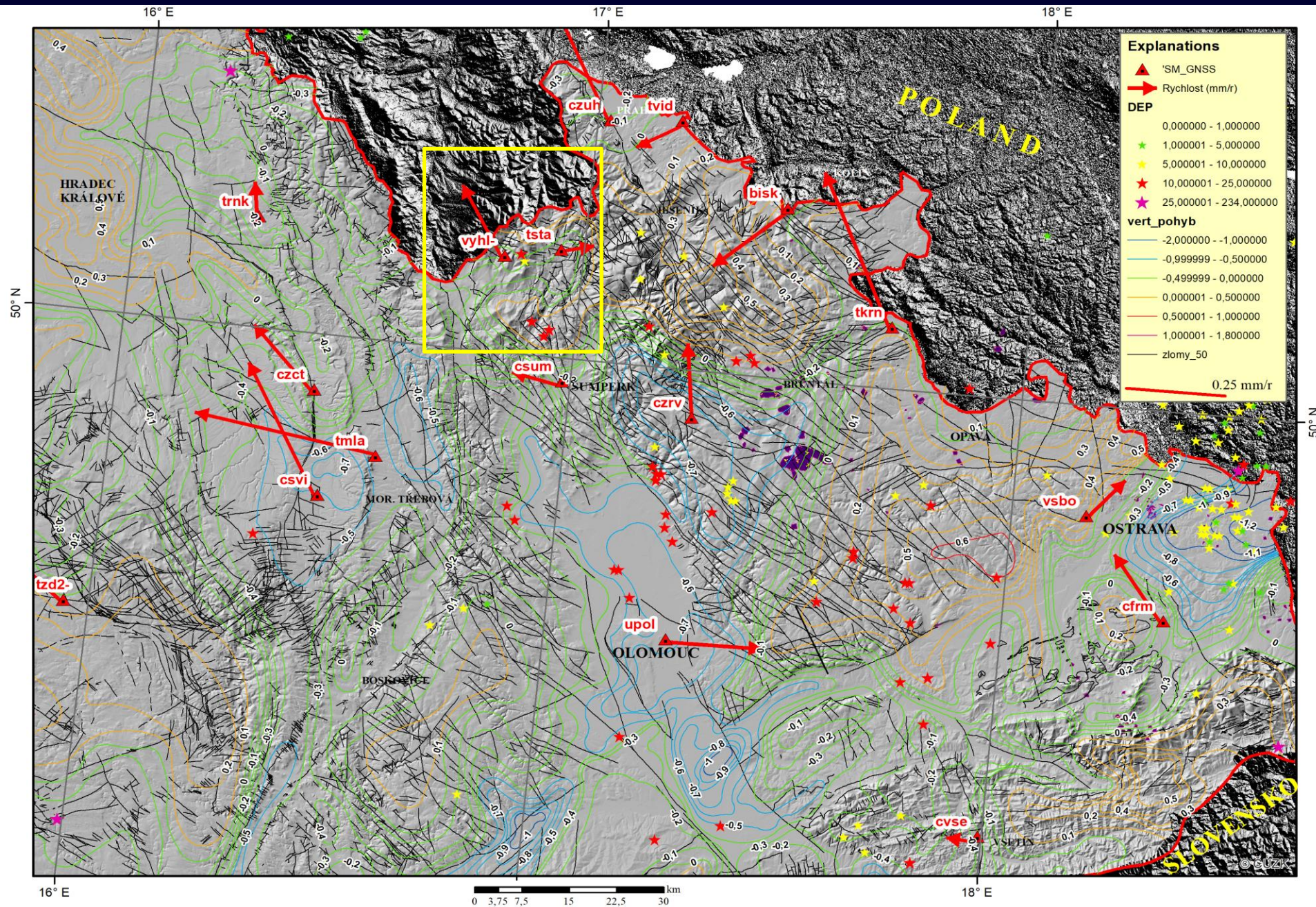


Ukázka výsledků a dat získaných z nové morfotektonické analýzy (Roštínský et al., 2019)

Zhodnocení výsledků a geodynamický model

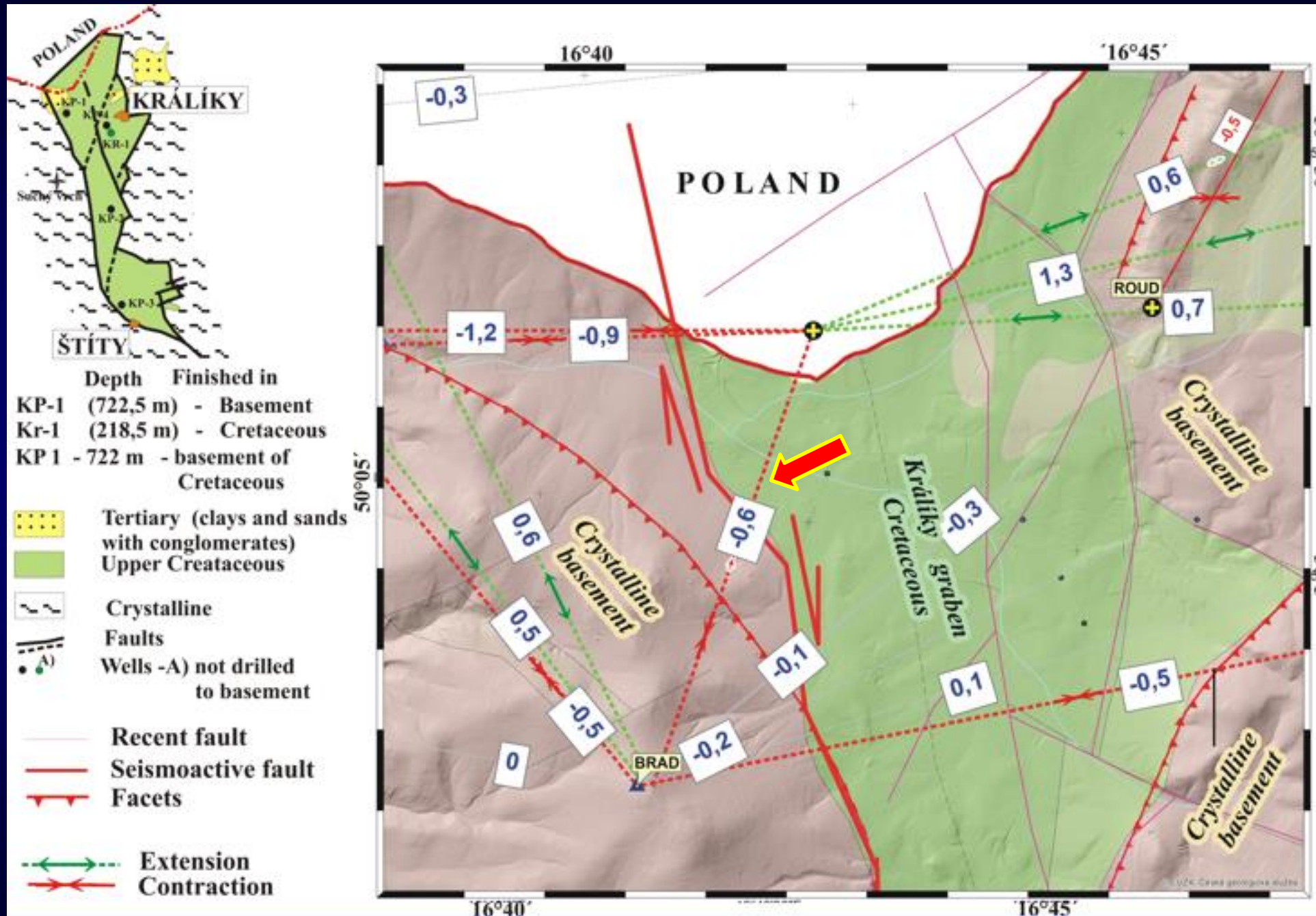
Recentní horizontální rychlosti a kinematický model: I když zatím nebylo možné zabývat se detailními vztahy na jednotlivých aktivních zlomech, i tak získané vektory horizontálních rychlostí umožnily odhalit jak extenzní a kontrakční tendence mezi jednotlivými body.

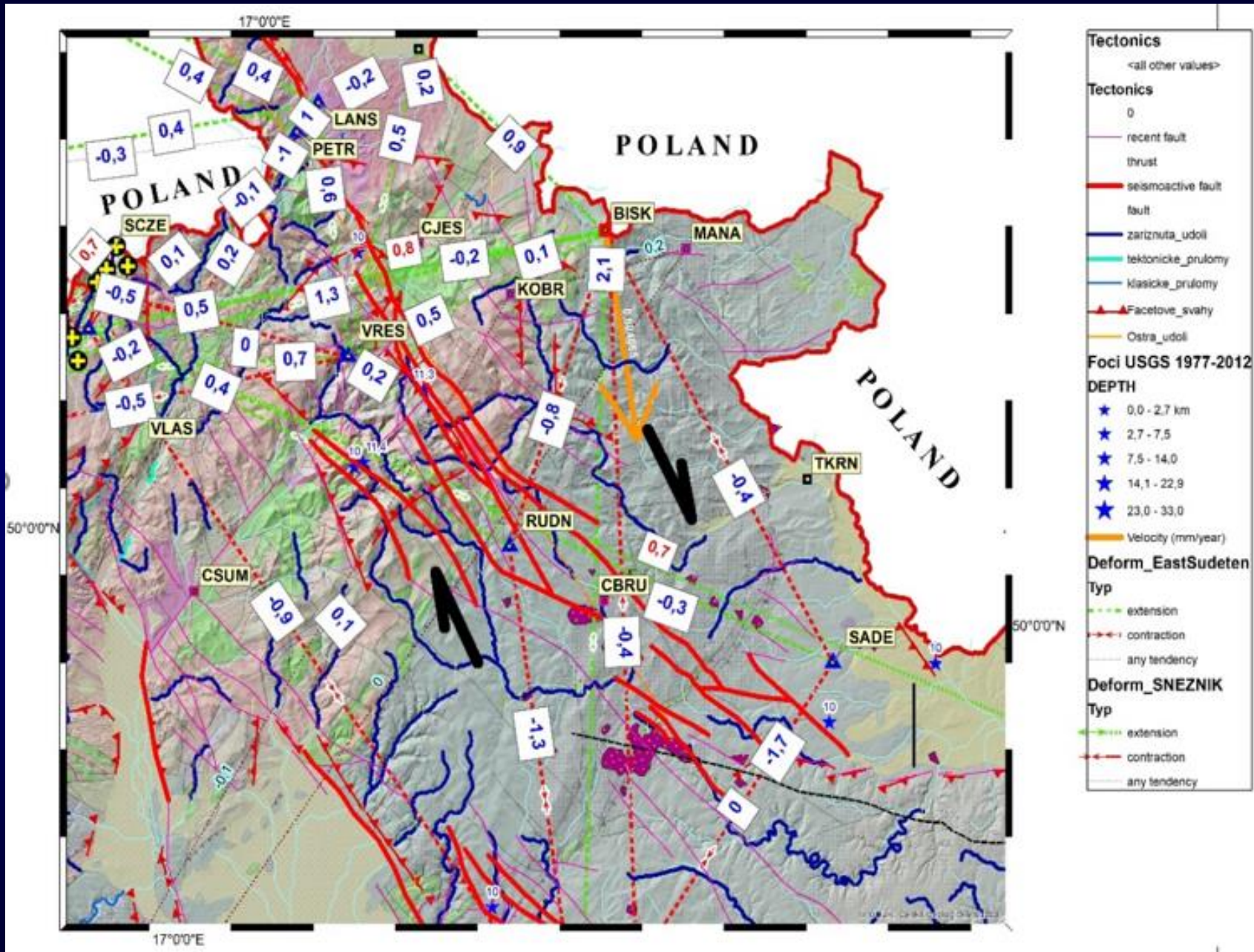
- Předběžné se ukazuje, že oblast mezi masivem Kralického Sněžníku a Dyjskou klenbou na jihu, se projevuje jako pasivní blok s nasunutým moldanubikem na západní straně.
- Oblast flyšových Karpat na východě má tendenci se pohybovat na SV různými rychlostmi
- Největší pohyby a aktivita je spojena s bloky mezi Okrajovým Sudetským zlomem a zlomovým pásmem ZHTTZ. Různá rychlost jednotlivých bloků vytváří složitý systém grábenů, označovaných UNKG a UMB
- Většina omezujících zlomů má strike slip charakter s dominujícími pravostrannými pohyby. Výjimkou je blok Orlických hor, který má relativně opačný smysl pohybu.
- Další oblastí, kde se projevují zvýšené rychlosti mezi jednotlivými bloky, je oblast Slezika s Bělským a Okrajovým Sudetským zlomem.



Přehledná mapa permanentních stanic GNSS na území severní Moravy s vektory rychlostí, doplněná aktivními zlomy zjištěnými geologickými, geomorfologickými a geofyzikálními metodami, a ohnisky zemětřesení

Králický příkop
Králický graben



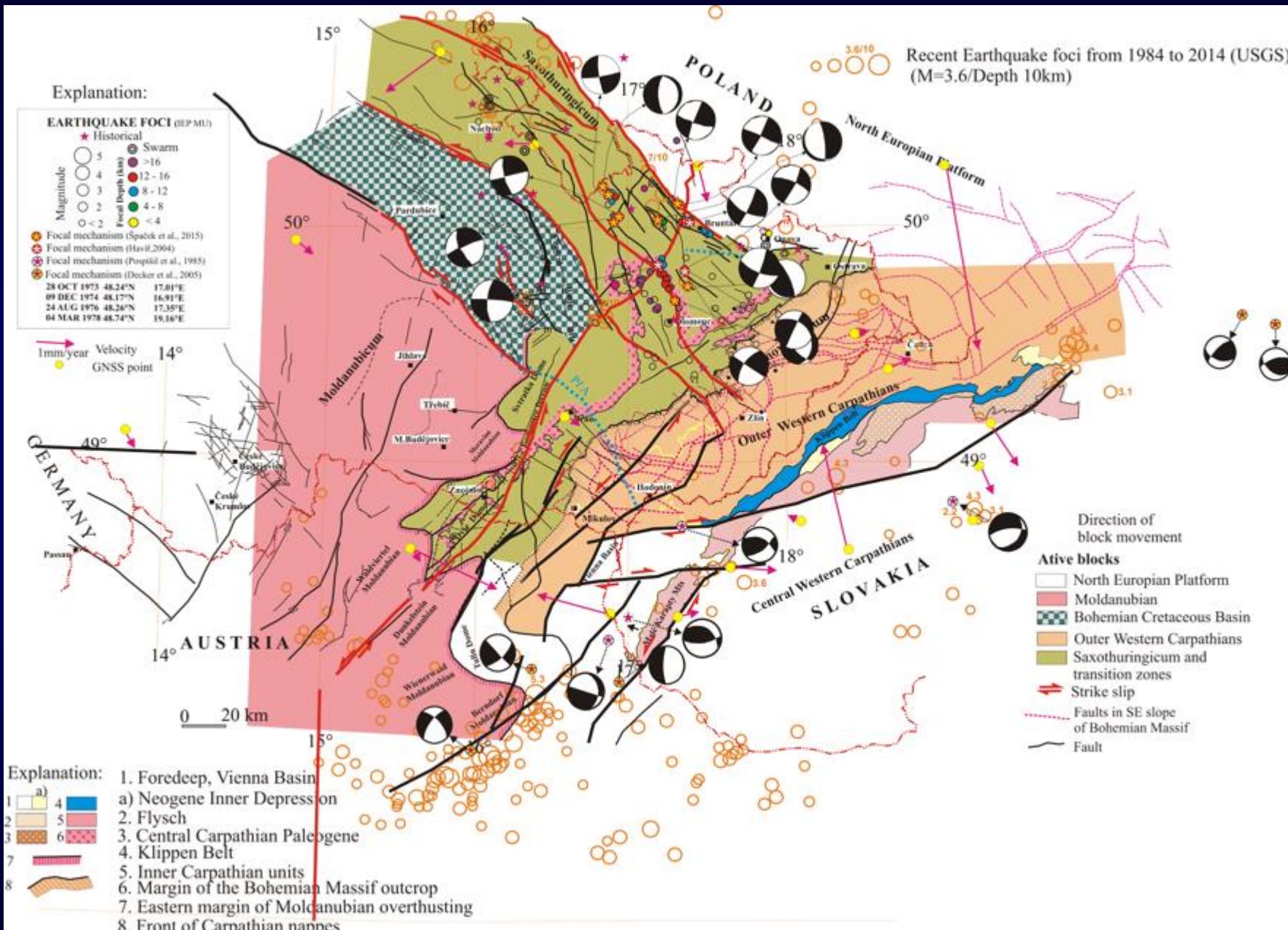


Bělá tectonická zóna

dextrální pohyby interpretované podle údajů GNSS

použitá GNSS data:

- ← Hefty, 2007, 2010
- ← Schenková et al., 2009
- ← Švábenský et al., 2012



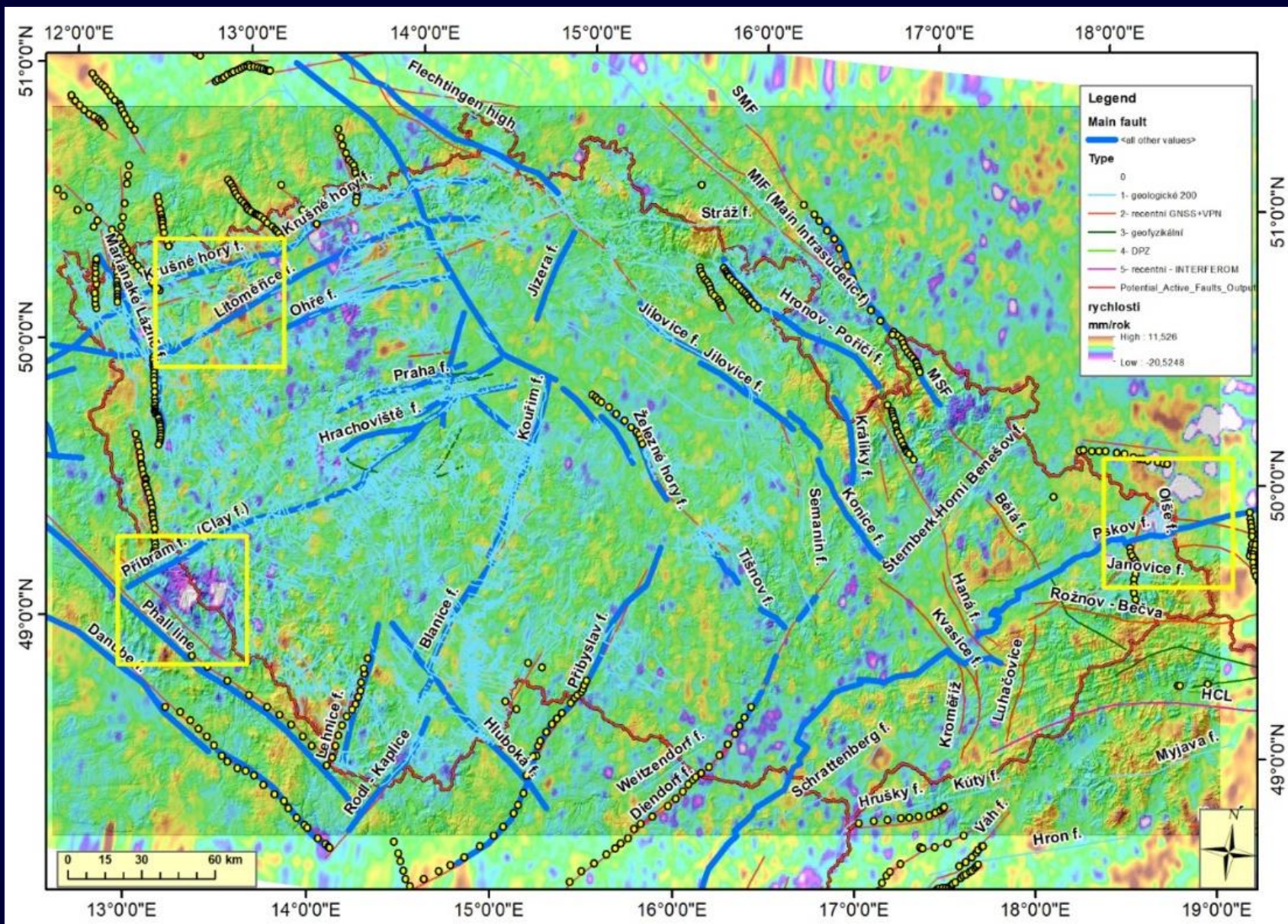
Geodynamický a kinematický model moravské části Českého masívu

Model byl kontrolován výsledky seismologických studií.

Především výskyt ohnisek zemětřesení a některé zpracované fokální mechanismy umožnily plošně doplnit představy o pohybech jednotlivých bloků.

Použita jsou ohniska recentních zemětřesení za posledních 30 let

HLAVNÍ AKTIVNÍ ZLOMY / MAIN ACTIVE FAULTS



Přehled hlavních a recentně aktivních zlomů v Českém masívu.

Výslednou mapu doplňují vertikální rychlosti sestavené ze zpracování snímků Sentinel 1 z území celé ČR (Lazický et al., 2020).

Znázornění :

- hlavní zlomy (modře)
- aktivní zlomy (červená linie)
- zlomy s projevy seismicity (kroužky)

Závěry/Conclusions

- Nová GNSS měření provedená v severovýchodní části Českého masivu a jeho okolí přinesla nové výsledky, které byly použity k definování a možné interpretaci kinematicky aktivních poruch.
- Zejména zlomy DČTZ, tektonická zóna RKB, boskovická brázda - ZHTTZ, Bělá tektonický systém, nectavsko-konický zlom a králický zlom - vykazují intenzivní recentní aktivitu, která všechny tyto zlomy řadí mezi nejrizikovější oblasti Moravy.

Doporučení: Pro snadnější a rychlejší aktualizaci databází pozorovaných jevů je nutná realizace přímých měření GNSS na dalších vybraných lokalitách podél výše uvedených zlomů v síti s vyšší hustotou bodů, doplněná o 2D měření geofyzikálních profilů, a také exogenní analýza založená na leteckých snímcích.

Poděkování/Acknowledgement

Zvláště děkujeme všem studentům a doktorandům Ústavu geodézie VUT Brno, kteří se podíleli na GNSS kampaních.

In particular, we would like to thank all students and PhD students of the Institute of Geodesy of BUT who participated in the GNSS campaigns.

Děkujeme za pozornost!

Thank you for your attention!

2023