

# PERMANENTNÍ GNSS SÍŤE A JEJICH VYUŽITÍ V GEODYNAMICKÉM MONITORINGU ČESKÉHO MASIVU

**L. Pospíšil, O. Švábenský**

*Lubomil Pospíšil, Doc., RNDr., CSc., Katedra geodézie a důlního měřičství, HGF, TU Ostrava, 708 00 Ostrava - Poruba*

*Otakar Švábenský, Prof., Ing., CSc., Ústav geodézie, FAST VUT, Veveří 95, 602 00 Brno*

## Obsah prezentace

- 1. Permanentní GNSS stanice a jejich charakteristika
- 2. Permanentní GNSS sítě pro geodynamiku
- 3. GNSS monitoring v geodynamickém výzkumu
- 4. Úvodní analýza kinematiky Českého masivu
- 5. Detailní výzkum oblasti Blanické brázdy
- 6. Závěry

## Permanentní GNSS stanice - aspekty jejich zřizování

Permanentní GNSS stanicí se rozumí kontinuálně měřící soustava (přijímač a anténa) ve spojení se zařízením umožňujícím záznam a přenos dat, včetně dalšího příslušenství.

Druh a účel – součást globální a regionální geodetické infrastruktury, deformačního monitoringu stavebních objektů (přehrady, mosty, výškové budovy), geodynamického monitoringu (sesuvná území, seismicky aktivní oblasti, vulkány, zlomy), a další.

Umístění stanice – volný terén, stavební objekt. Náročné je zejména zřizování stanic v terénních podmínkách, kde je třeba zajistit nepřetržité autonomní napájení aparatur a také ochranu před poškozením či zcizením.

Způsob stabilizace a umístění antény – pilíř, stožár, tyč, konzola



Švýc. Alpy – ledovec Aletsch  
L1 GNSS + 3osý akcelerometr



IRKJ, IRKT – Irkutsk (RU)  
2,5 m nadz. + 2,8 m podz.



Již. Texas – ropná pole  
měření deformací terénu



Přehrada Pacoima (US)  
monitoring přehradní hráze





Santiago del Teide - Tenerife  
monitoring vulkanické aktivity



Vladivostok (RU) – most přes  
Zlatý Roh – 10+ letý monitoring

## Permanentní GNSS stanice - fungování

Mód záznamu a distribuce měřených dat – nepřetržitý nebo časově omezený (na observační kampaň, na plánované období určitého monitoringu atp.).

Struktura a formát poskytovaných dat – konstelace, počet frekvencí, signály (kód, fáze, kanál, Doppler, síla signálu). Zatímco v počátcích rozvoje družicové měřicí technologie se zaznamenávaly pro každý GPS satelit pouze hodnoty kódového a fázového měření na dvou frekvencích, v současné době je možné registrovat mnohem více dat, což klade zvýšené nároky na kapacitu záznamových a přenosových prostředků a zařízení.

Přístupnost dat – data některých stanic jsou bezplatně veřejně přístupná, data jiných stanic jsou zpoplatněna, a existuje též řada stanic, jejichž data jsou neveřejná a lze k nim získat přístup pouze na základě povolení příslušného správce.

```

G  16 C1C L1C D1C S1C C2S L2S D2S S2S C2W L2W D2W S2W C5Q  SYS / # / OBS TYPES
    L5Q D5Q S5Q                                     SYS / # / OBS TYPES
R  16 C1C L1C D1C S1C C2P L2P D2P S2P C2C L2C D2C S2C C3Q  SYS / # / OBS TYPES
    L3Q D3Q S3Q                                     SYS / # / OBS TYPES
S   4 C1C L1C D1C S1C                                     SYS / # / OBS TYPES
E  16 C1C L1C D1C S1C C5Q L5Q D5Q S5Q C7Q L7Q D7Q S7Q C8Q  SYS / # / OBS TYPES
    L8Q D8Q S8Q                                     SYS / # / OBS TYPES
J  12 C1C L1C D1C S1C C2S L2S D2S S2S C5Q L5Q D5Q S5Q     SYS / # / OBS TYPES
C  12 C2I L2I D2I S2I C6I L6I D6I S6I C7I L7I D7I S7I     SYS / # / OBS TYPES

```

Ukázka struktury současného záznamu dat na stanici TUBO

Jedna epocha záznamu dat může obsahovat až 76 hodnot – 16 pro družice systémů GPS, GLONASS a Galileo, 12 pro družice systémů BDS a QZSS, 4 pro družice SBAS



# Permanentní GNSS stanice - monitoring

Pro praxi je důležité mít aktuální informace o fungování a stabilitě výstupů permanentních stanic při plánování a zejména v průběhu měřických kampaní.

Protože znalost těchto skutečností je využívána v řadě GNSS aplikací, je funkce PGS v řadě sítí systematicky monitorována a vyhodnocována s co nejmenším zpožděním.

Zejména se sledují nejen náhlé skoky v hodnotách souřadnic, ale i jejich eventuální trendy a periodické oscilace. Také dochází občas k dočasnému zhoršení kvality dat nebo k úplným výpadkům stanic (např. důsledkem hardwarových poruch, přerušením napájení, vlivem RF rušení příjmu signálu). Menší či větší nespojitosti v souřadnicových časových řadách bývají též způsobeny výměnou součástí hardware a upgradem firmware přijímačů.

Například nezávislý monitoring VÚGTK zpracovává průběžná data většiny aktivních permanentních GNSS sítí na území ČR a jeho výstupy jsou k dispozici na webu GO Pecný.

## Permanentní GNSS sítě pro geodynamiku

GEONET (GPS Earth Observation Network) je rozsáhlá permanentní GNSS síť pro kontinuální monitorování deformací zemské kůry na území Japonska. Současně také zajišťuje a udržuje japonský geodetický referenční systém. Tato síť budovaná od roku 1993 zahrnuje více než 1300 stanic v průměrné vzájemné vzdálenosti ~20 km, stabilizovaných 5 m vysokými ocelovými pilíři. Přenos měřených dat se uskutečňuje v reálném čase s následným vyhodnocením a vstupem do bezpečnostního seismického systému.

SCIGN (Southern California Integrated GPS Network) je permanentní GNSS síť zřízená pro účely průběžného sledování změn způsobovaných interakcemi zlomů a postseismickými deformacemi v oblasti východokaliifornské střižné zóny. Je aktivní od roku 2001 a tvoří ji více než 250 stanic rozmístěných v Jižní a Baja Kalifornii. Hlavní přínosy této geodynamické sítě jsou: hustší regionální pokrytí pro lepší odhadování seismického rizika v oblasti Los Angeles, identifikace aktivních slepých zlomů a měření variací regionálního napěťového pole spolu s následnými reakcemi zlomů.



GEONET



SCIGN

## Permanentní GNSS síť pro geodynamiku

CEGRN (Central European GNSS Research Network), který je pokračováním původní střeoevropské iniciativy CERGOP (Central European Research on Geodynamics Project) 11 zemí. Je zaměřen na monitorování recentních deformací povrchu zemské kůry ve střeoevropském regionu.

Současný rozsah tohoto projektu zpracovává data z více než 1200 permanentních a epochových stanic, pokrývajících území od Litvy po Severní Makedonii v S-J směru, a od Švýcarska po Ukrajinu v Z-V směru. Přiřazení do ETRF2000 je zajišťováno prostřednictvím 234 stanic EPN.

Do řešení projektu je v současnosti zapojeno 33 zemí.



# Permanentní GNSS sítě pro geodynamiku

VESOG je síť permanentních GNSS stanic sloužící pro vědeckovýzkumné a výukové účely. Zahrnuje 11 stanic na území ČR, které jsou umístěny na akademických, výzkumných a vojenských institucích. Operační centrum sítě VESOG se nachází na Geodetické observatoři Pecný. Součástí této sítě je také stanice TUBO umístěná na budově VUT FAST Brno. Mezi využití pro výzkumné účely patří i příspěvek pro tvorbu mapy tektoniky Evropy ze zpracování dlouhodobých časových řad souřadnic.

GEONAS (GEOdynamic Network of the Academy of Sciences) je síť permanentních GNSS stanic budovaná pro účely geodynamického monitoringu na území ČR. Operační centrum této sítě se nachází v ÚSMH AV ČR, v.v.i. Její fungování započalo v roce 2001 instalací prvních dvou stanic (SNEC, BISK). V současné době zahrnuje 18 stanic, z nichž tři (BISK, POUS, VACO) jsou začleněny do sítě EPN. Je navržena tak, aby pokrývala různé geologické struktury a mohla tak významně přispívat k rozšíření referenčního rámce pro geodynamický monitoring Českého masivu.

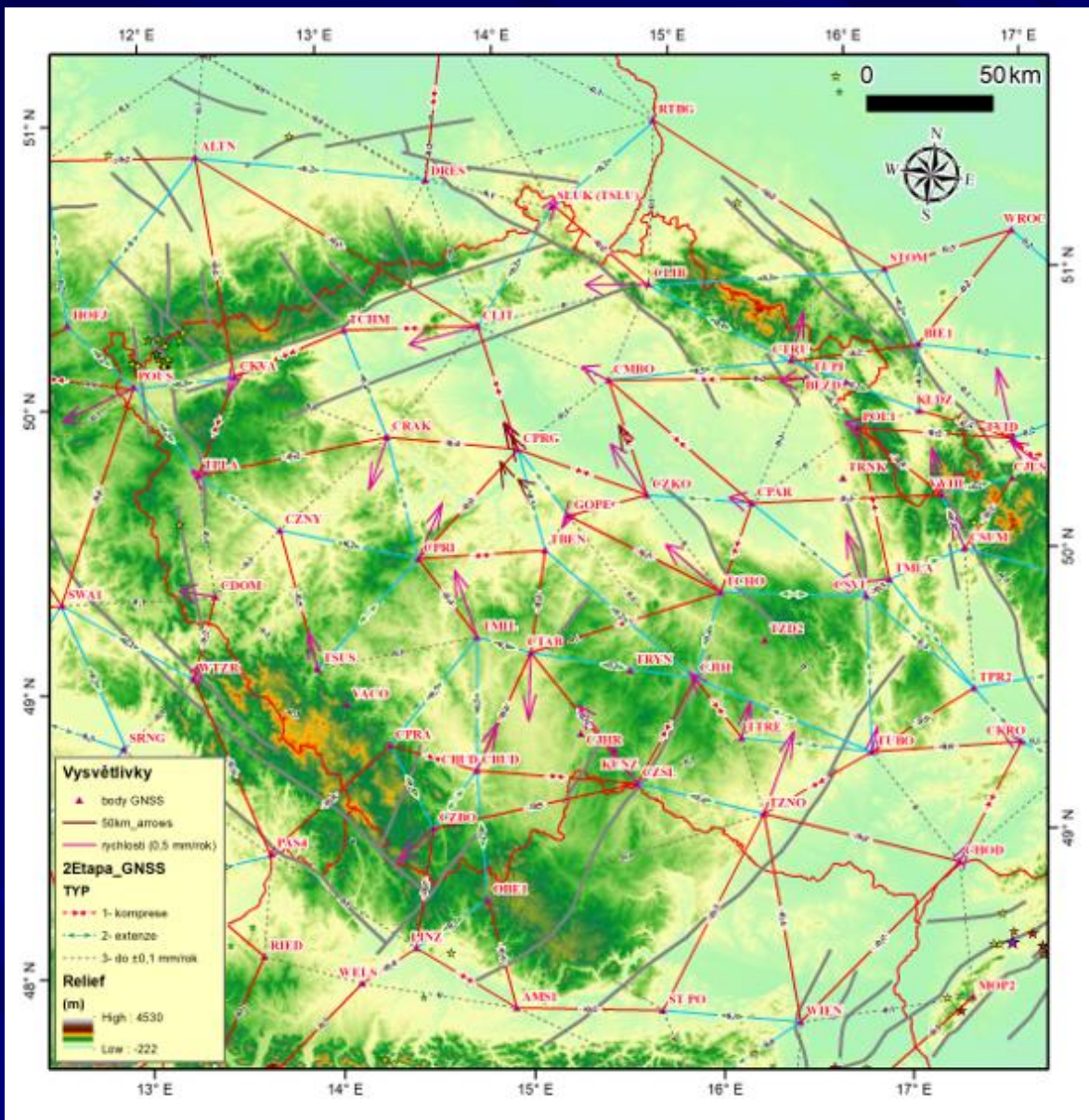


# GNSS monitoring v geodynamickém výzkumu ČR – příklad 1

Prvním příkladem je úvodní průzkum eventuální tektonické aktivity v rozsáhlejší oblasti zahrnující území Čech a blízkého okolí. V rámci tohoto průzkumu byla využita data vybraných bodů permanentních GNSS sítí EPN, VESOG, CZEPOS, TopNET a VRS-NOW, pokud možno pravidelně rozložených v rozsahu zkoumaného území.

Na základě analýzy víceletých souřadnicových časových řad těchto stanic zpracovaných v BSW52 s využitím podpůrných produktů reprocessingu (CODE REPRO 2015) byly získány informace o indikacích regionálních horizontálních pohybových tendencí týkajících se území Českého masivu a jeho vztahů k okolním strukturám. Z těchto dat lze odhadovat přímo nejen relativní rychlosti změn vektorů, ale i druh pohybu (extenzní, kontrakční).

Pro vytvoření referenčního rámce byly použity 2 stanice sítě IGS (WTZR, GOPE) a 7 stanic sítě EPN kategorie A (TUBO, CLIB, CTAB, POUS, CPAR, CRAK, LINZ) .



## Český masiv

Přehledná mapa vektorů horizontálních rychlostí vybraných permanentních GNSS stanic doplněná o kompresní a extenzní pohybové tendence mezi jednotlivými stanicemi.

## GNSS monitoring v geodynamickém výzkumu ČR – příklad 2

V druhém příkladu je ukázka detailnějšího zpracování oblasti podél Blanické brázdy (BB), která představuje jednu z komplikovanějších zón z hlediska geologické stavby a tektoniky.

Permokarbon z Blanické brázdy tvoří diskontinuální, až 12 km široký pás usazenin, probíhající ve směru SSV-JJZ z Českého Brodu do Českých Budějovic. Na severu kolem Českého Brodu, Kouřimi a Kostelce nad Černými Lesy (severní část brázdy) a na jihu mezi Českými Budějovicemi a Lhoticemi (jižní část) mají tyto výskyty největší rozlohu. Střední část zahrnuje několik menších výskytů v okolí Vlašimi a Tábora. Podle fosilní flóry je spodní přítomná vrstva v brázdě považována z hlediska stáří za stephan C, zatímco ložiska, která následují výše, jsou přiřazena k autunu. Přechod sedimentů vrchního karbonu do spodního permu je spojitý.

K poruchám Blanické brázdy patří i Drahotěšický zlom a paralelní Lhotický zlom, stejně jako východní okrajový zlom Lhotické pánve. Celý systém je považován za součást Rodl-Kaplice-Blanice tektonického systému, jehož délka přesahuje 200km a je aktivní od paleozoika.



## GNSS monitoring v geodynamickém výzkumu ČR – příklad 2

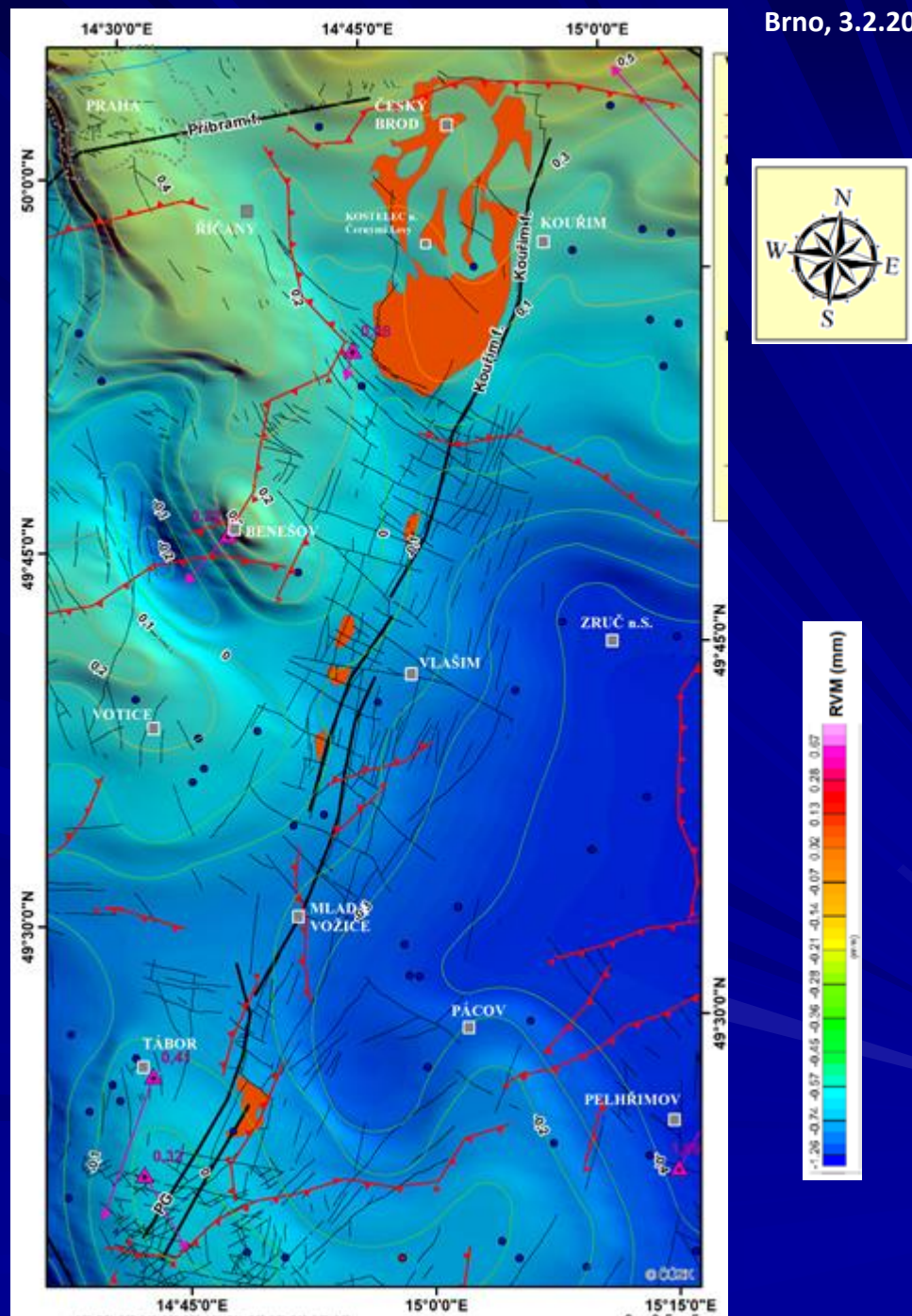
Pro získání předběžných informací o charakteru recentních horizontálních pohybů ve větším rozsahu jihočeského regionu byla na základě dostupných dat vykonána podobně jako v předchozím příkladu regresní analýza souřadnicových časových řad hustší sítě aktivních permanentních stanic nacházejících se v zájmové oblasti BB a jejím okolí. Referenční rámec byl v tomto případě vytvořen pomocí 7 permanentních stanic (WTZR, GOPE, LINZ, CLIB, CTAB, POUS, TUBO).

Vyhodnocení poskytlo vhodná kritéria pro posouzení kinematiky a vertikálních pohybových tendencí v severním úseku zlomového systému. V kombinaci s mapou vertikálních pohybových tendencí [9] je patrné zvedání bloku na západ od BB. Na východě převládají až po Mladou Vožici poklesové tendence.

Indikace vektorů rychlostí mají opačné směry podle blanického zlomu. Západní blok se pohybuje k jihu (0,2 až 0,4 mm/rok) zatímco východní blok se pohybuje k severu (0,5 až 1 mm/rok). Tento poměrně překvapivý výsledek bude třeba nadále sledovat a zpřesňovat.

## Blanická brázda

Vektory horizontálních rychlostí  
posunů GNSS permanentních  
stanic zobrazené na podkladě  
Mapy vertikálních rychlostí  
(Vyskočil, 1966),  
spolu se zákresem hustotních  
rozhraní pro  $h = 4$  km  
(Linsserovy indikace)





## Závěry

Zpracování nově získaných dat z permanentních i epochových GNSS sítí a jejich propojení s dřívějšími výstupy určitě přinese mnohé nové překvapivé výsledky, které mohou být následně použity pro účely geodynamického výzkumu možné recentní tektonické aktivity na celém území ČR. Základním předpokladem konzistence těchto výsledků je využití dat permanentních stanic pro vytvoření homogenního a stabilního souřadnicového rámce).

Komplexnější studie dynamiky litosféry Českého masívu musí být založeny na kombinaci geodetických, geologických a geologických dat a geofyzikálních výsledků, které umožní snadnější interpretaci recentních geodynamických procesů. Pro snadnější a rychlejší aktualizace databází pozorovaných jevů je potřebné realizovat přímá GNSS měření na vybraných místech podél zmíněných zlomů v síti s vyšší hustotou bodů, která budou doplněna měřeními geofyzikálních profilů a exogenní analýzou na základě leteckých snímků

# Děkujeme za pozornost

Otakar ŠVÁBENSKÝ  
Lubomil POSPÍŠIL



