

ZRYCHLENÍ ŘEŠENÍ CELOČÍSELNÝCH AMBIGUIT V PPP PŘI POUŽITÍ IONOSFÉRICKÝCH ZPOŽDĚNÍ

J. Nosek, P. Václavovic, L. Zhao, J. Douša

Research Institute of Geodesy, Topography and Cartography
Geodetic Observatory Pecný

Brno University of Technology
Institute of Geodesy, Faculty of Civil Engineering



Úvod

- **Metoda PPP je v současné době stále více využívána.**
- **Klasická podoba PPP má zásadní nedostatek v poměrně dlouhé době konvergence a řešení ambiguit pouze v podobě reálných čísel.**
- **Nové přesné produkty umožňují řešení celočíselných ambiguit (PPP-AR).**
- **Současným trendem je rychlé řešení ambiguit (PPP-RTK) → s využitím korekcí atmosférických vlivů.**
- **Tento příspěvek se zabývá srovnáním metod PPP, PPP-AR a PPP-RTK.**

Model PPP, PPP-AR a PPP-RTK

● PPP (PPP-AR)

- dvoufrekvenční observace → lineární kombinace ionosphere-free
- přesné produkty: efemeridy, korekce hodin družic + (kódová/fázová zpoždění družic)

$$P_{r,IF}^S = \rho_r^S + c(dt_r - dt^S) + T_r^S + c(b_{r,IF} - b_{IF}^S) + \varepsilon_{r,IF}^S$$

$$L_{r,IF}^S = \rho_r^S + c(dt_r - dt^S) + T_r^S + \lambda_{IF}(N_{r,IF}^S + B_{r,IF} - B_{IF}^S) + e_{r,IF}^S$$

● PPP-RTK

- nekombinovaná dvoufrekvenční měření
- přesné produkty: efemeridy, korekce hodin družic + kódová/fázová zpoždění družic + STEC

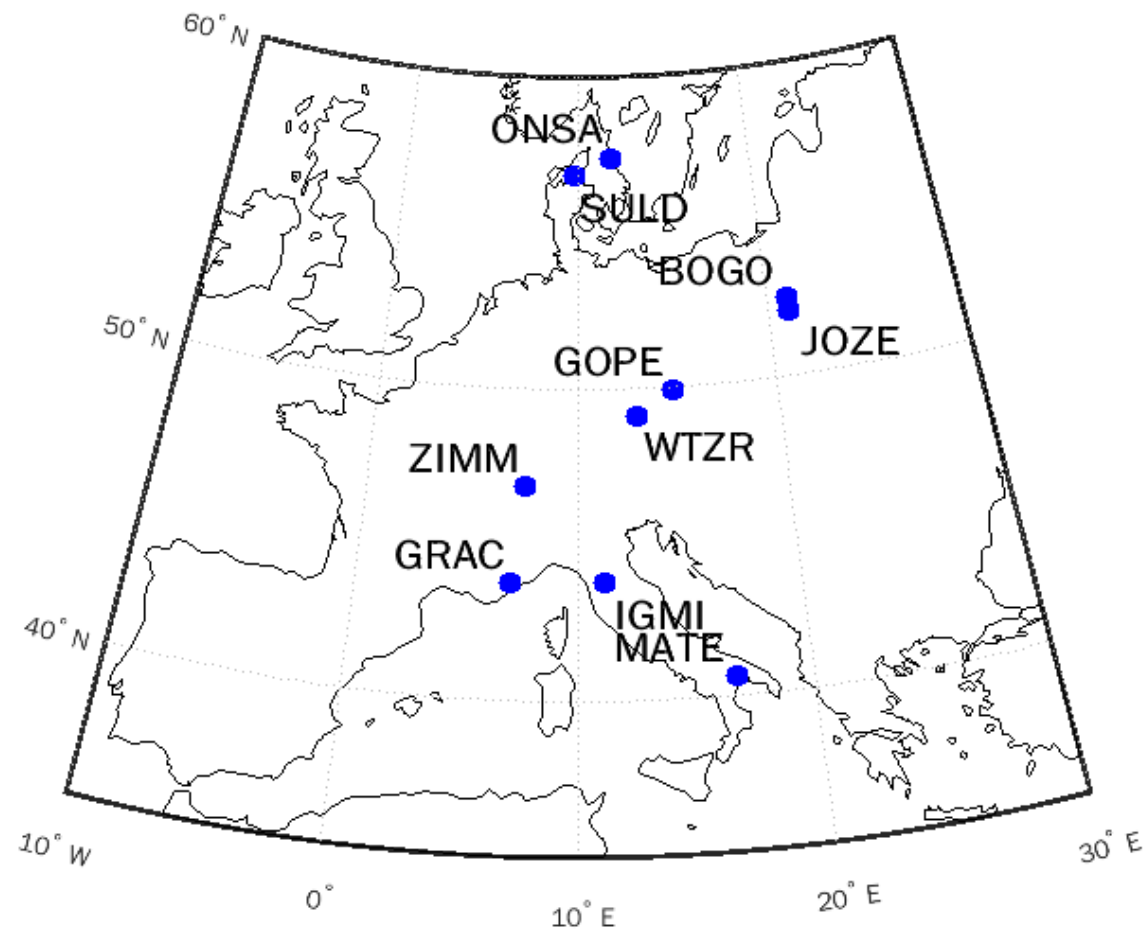
$$P_{r,j}^S = \rho_r^S + c(dt_r - dt^S) - \mu_j I_r^S + T_r^S + c(b_{r,j} - b_j^S) + \varepsilon_{r,j}^S$$

$$L_{r,j}^S = \rho_r^S + c(dt_r - dt^S) + \mu_j I_r^S + T_r^S + \lambda_j(N_{r,j}^S + B_{r,j} - B_j^S) + e_{r,j}^S$$

Vybrané GNSS stanice sítě EPN

- 11 duálních stanic ($d < 110$ m), 1. 1. 2021 – 31. 1. 2021
- observace ve formátu RINEX 3.xx, observační interval 30 s
- na většině duálních stanic jsou různé přijímače

stanice 1	přijímač	stanice 2	přijímač	d [m]
BOGO	JPS EGGDT	BOGI	JAVAD TRE_G3T	107
GOPE	TRIMBLE ALLOY	GOP6	SEPT POLARX5	4
GRAC	LEICA GR25	GRAS	TRIMBLE NETR9	32
IGMI	STONEX SC2200	IGM2	LEICA GR30	20
JOZE	SEPT POLARX5	JOZ2	TRIMBLE NETR9	84
MATE	LEICA GR30	MAT1	LEICA GR30	12
ONSA	SEPT POLARX5TR	ONS1	TRIMBLE NETR9	58
SULD	LEICA GR25	SUL5	TRIMBLE NETR9	11
VILO	SEPT POLARX5	VIL6	TRIMBLE NETR9	5
WTZR	LEICA GR50	WTZZ	JAVAD TRE_3	2
ZIMM	TRIMBLE NETR9	ZIM2	TRIMBLE NETR9	19



Výpočetní strategie

- Software: **G-Nut/Geb software**
- Kombinace observací: **ionosphere-free kombinace / nekombinovaná dvoufrekvenční měření**
- Použité GNSS: **GPS**
- Observační interval: **30 s**
- Přesné produkty: **CNES real-time** (dráhy družic, korekce hodin družic a kódová/fázová zpoždění)

Určované parametry:

- souřadnice stanic
- korekce hodin přijímače
- počáteční ambiguity v podobě reálných / celých čísel
- zenitové troposférické zpoždění + horizontální lineární gradienty
- + **Slant Total Electron Content (STEC)**

Zpracovávané varianty

- **PPP**

- klasická podoba PPP s ambiguitami v podobě reálných čísel
- hodinová řešení (01:00–23:59)

- **PPP-AR**

- celočíselné řešení ambiguit, lineární kombinace ionosphere-free
- hodinová řešení (01:00–23:59)

- **PPP-RTK**

- celočíselné řešení ambiguit, nekombinovaná dvoufrekvenční měření

1. „REFERENČNÍ“ STANICE

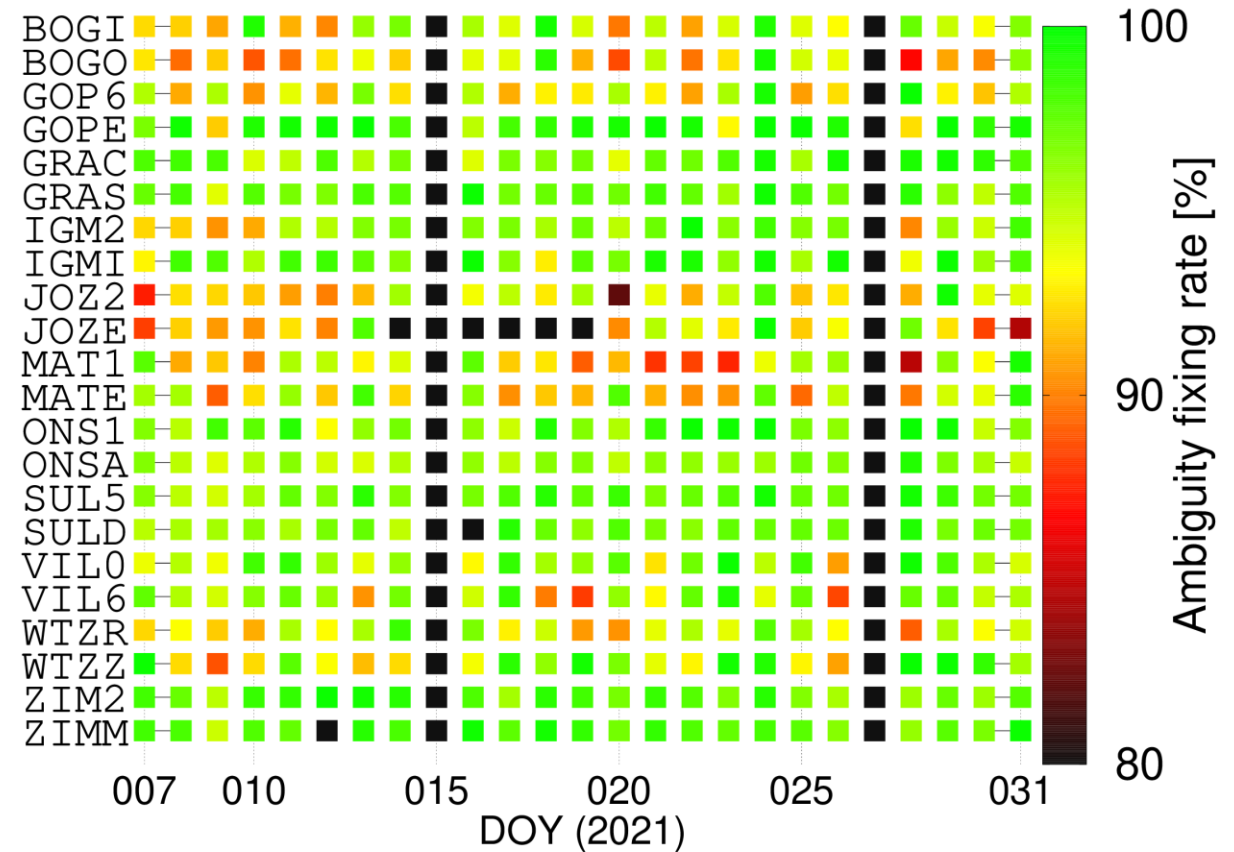
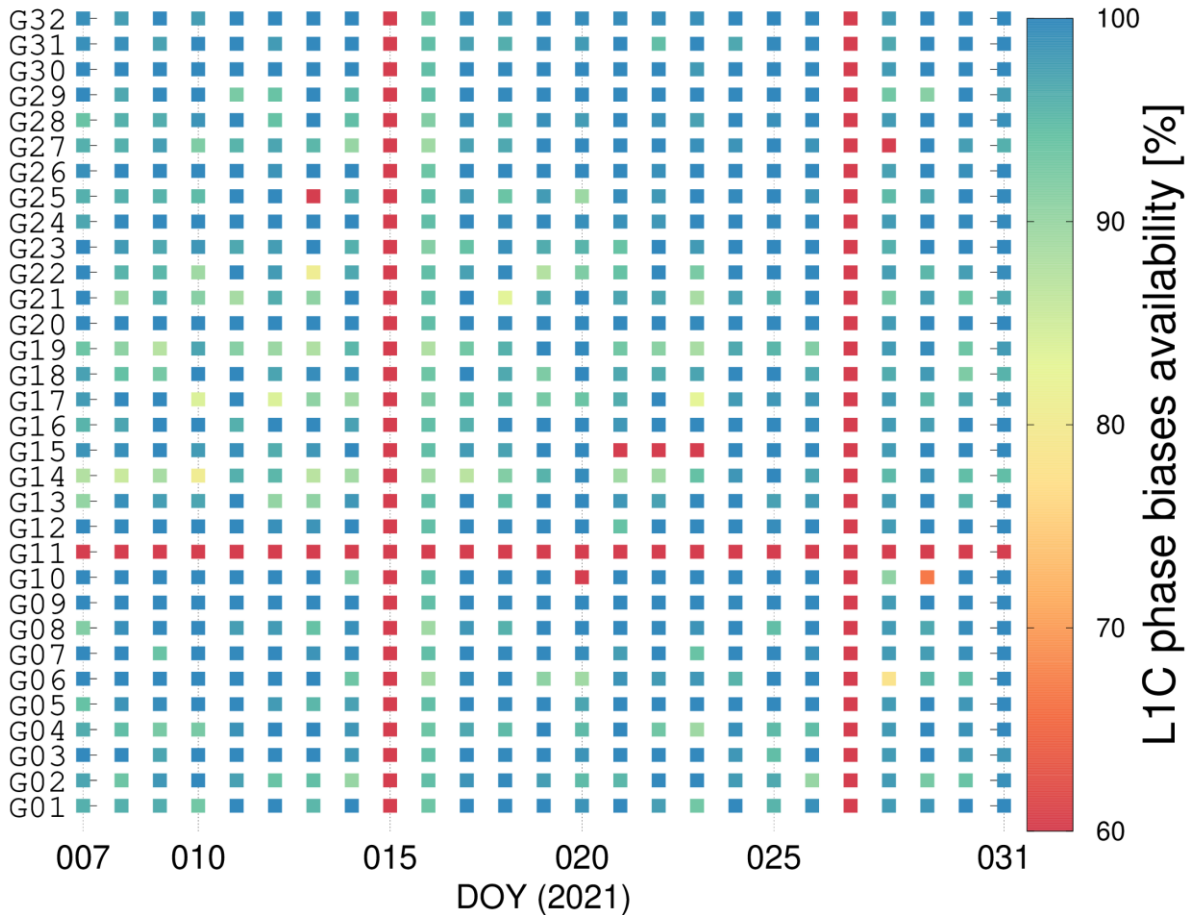
- denní řešení (00:00–23:59)
- odhad STEC

2. „ROVER“

- hodinová řešení (01:00–23:59)
- použití STEC z **1.**

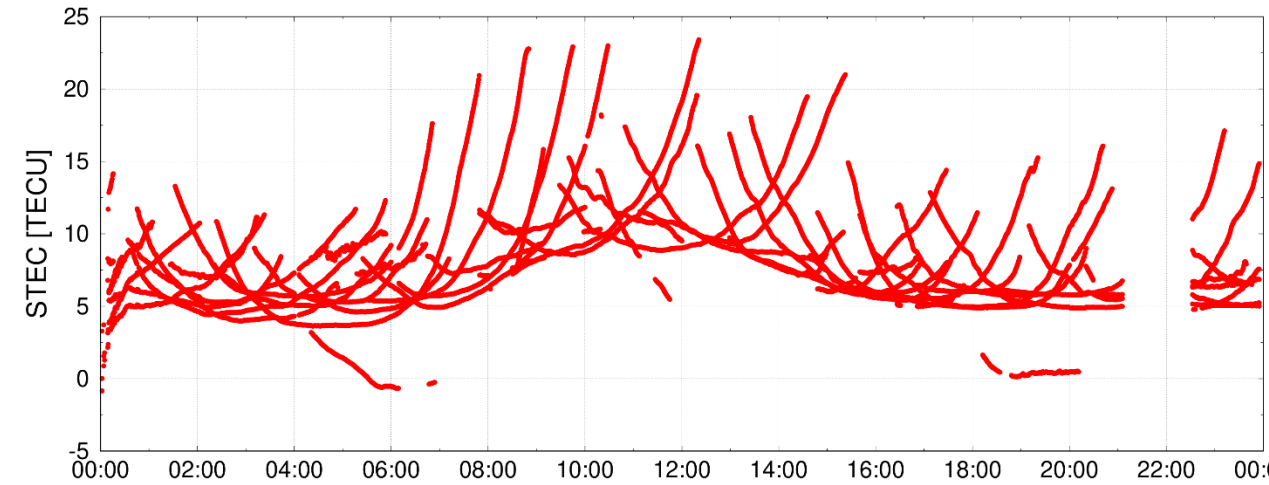
Úspěšnost vyřešení celočíselných ambiguit

- 1. 1. –6. 1., 15. 1 a 27. 1. nebyla dostupná kódová/fázová zpoždění CNES → nelze vyřešit ambiguity
- průměrně 98 % (ze všech stanic / dní)

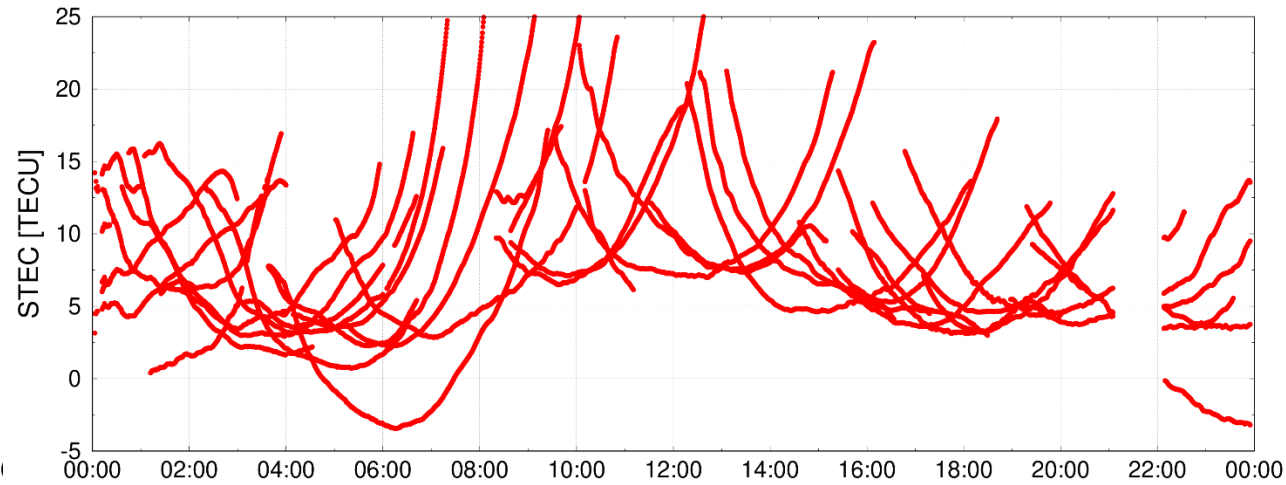


Porovnání STEC

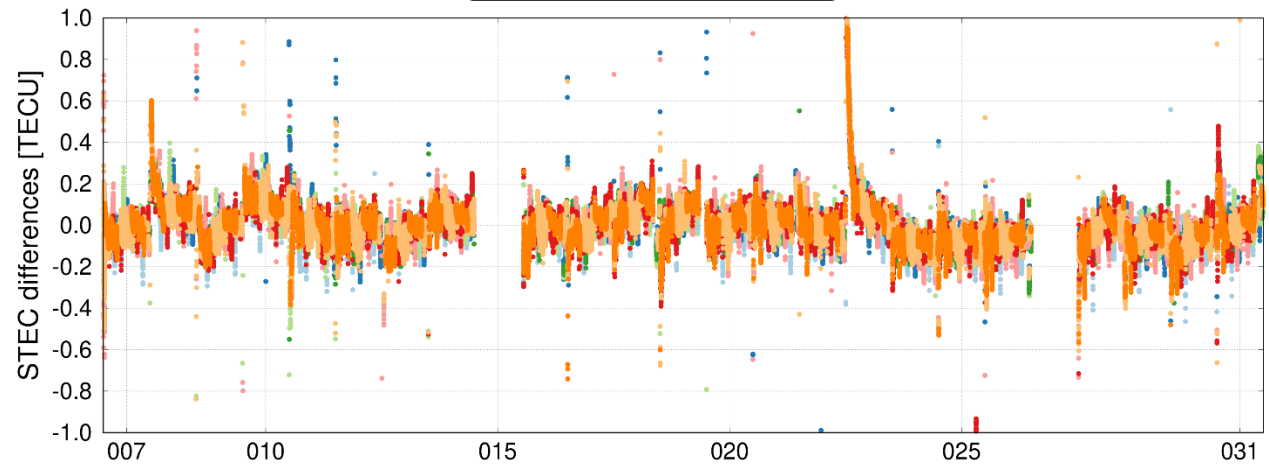
VIL6 – 7. 1.



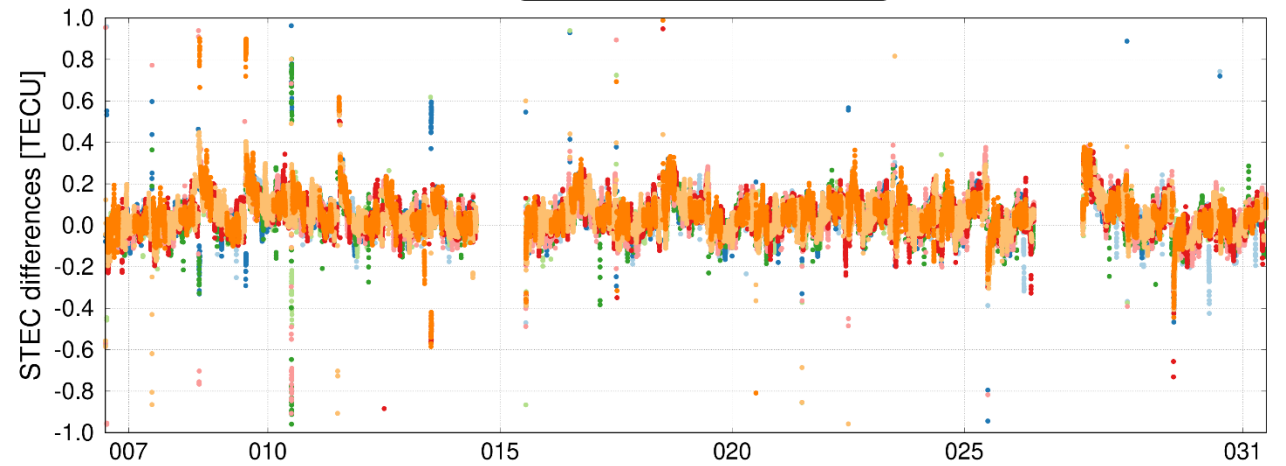
GOPE – 7. 1.



VILO-VIL6

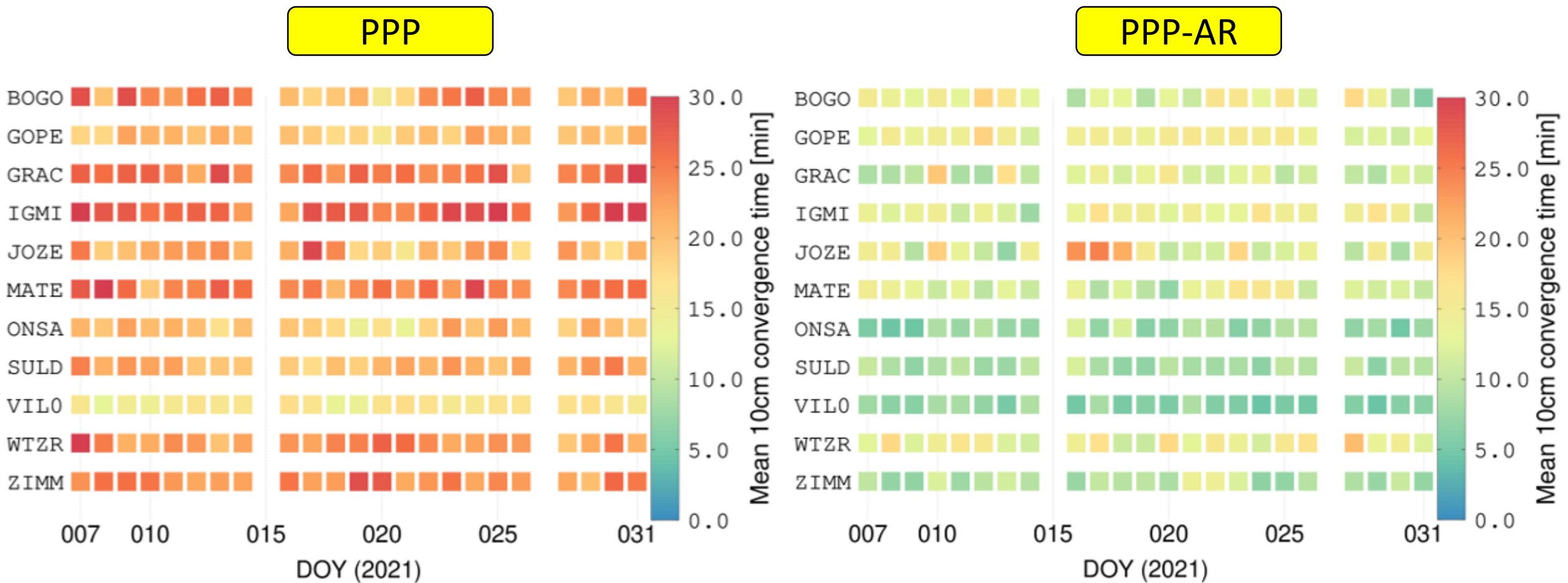


ONSA-ONS1



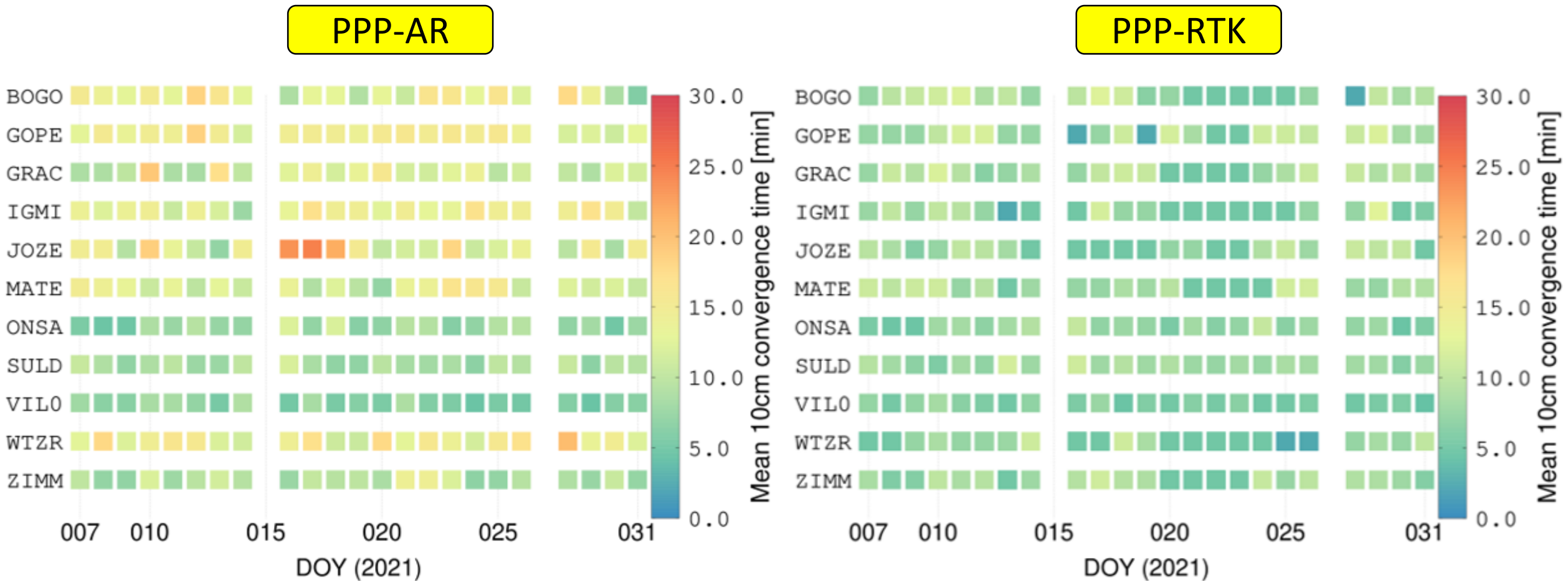
Rychlost konvergence

- průměrná doba nutná pro dosažení 10cm horizontální přesnosti
- na základě hodinových dat (01:00–23:59) pro každý den zvlášť



Rychlost konvergence

- průměrná doba nutná pro dosažení 10cm horizontální přesnosti
- na základě hodinových dat (01:00–23:59) pro každý den zvlášť



Rychlost konvergence - srovnání

- průměrná doba nutná pro dosažení 10cm horizontální přesnosti:

PPP → 22 min

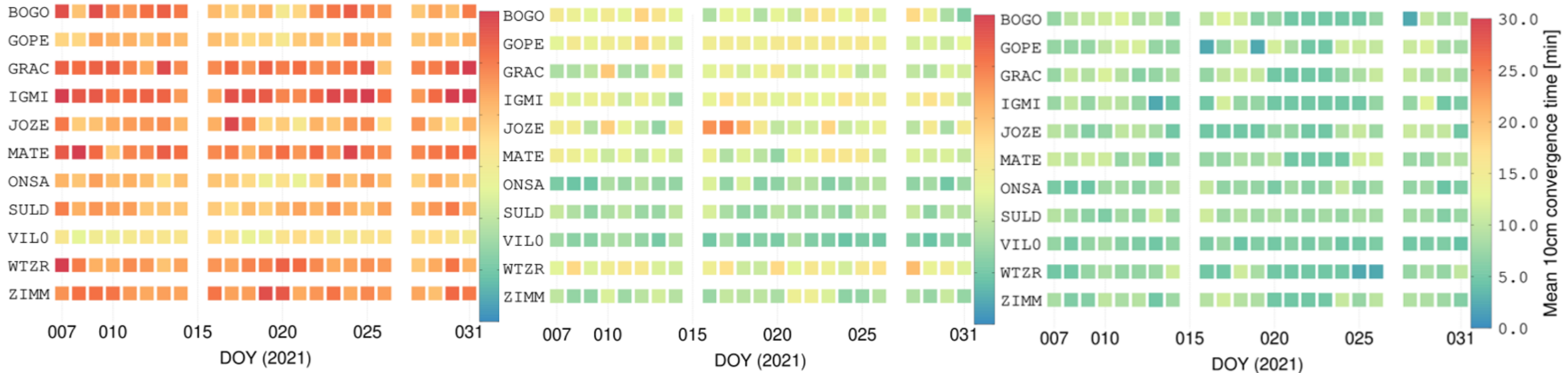
PPP

PPP-AR → 11 min

PPP-AR

PPP-RTK → 7 min

PPP-RTK



Time To First Fix (TTFF)

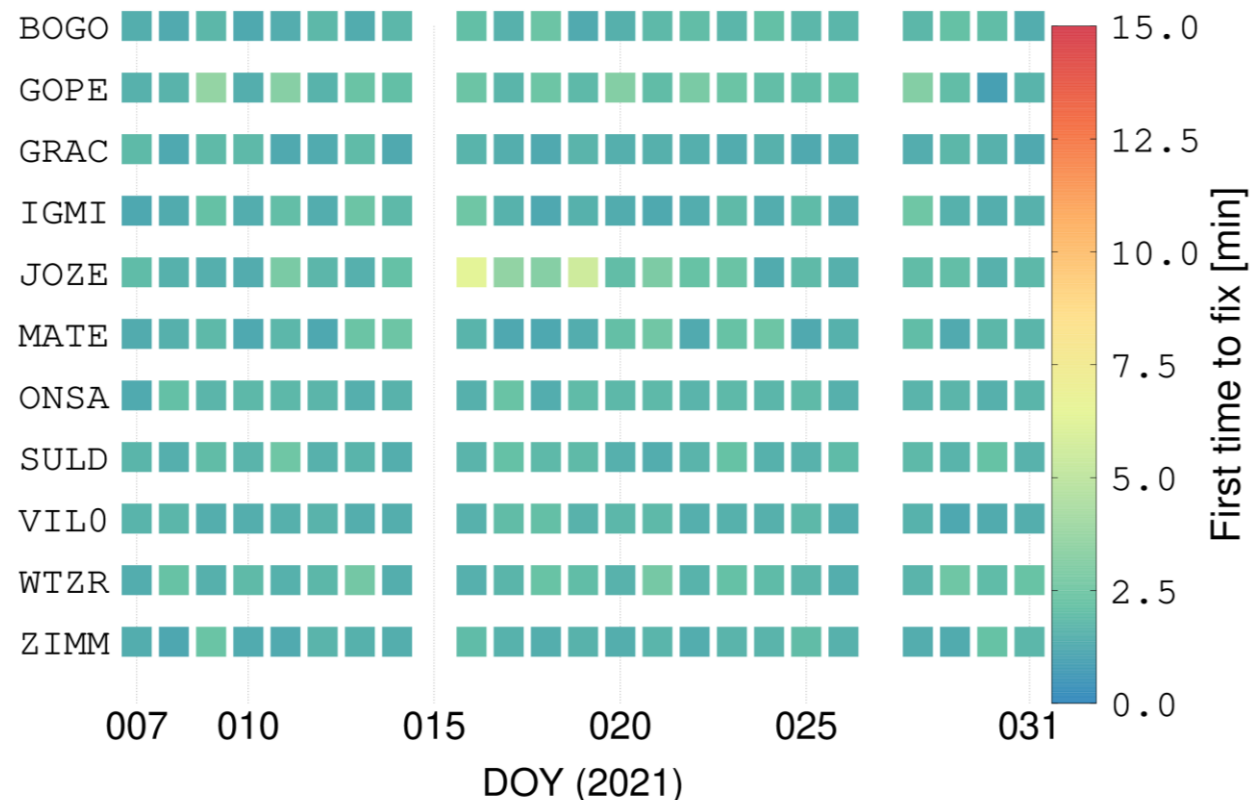
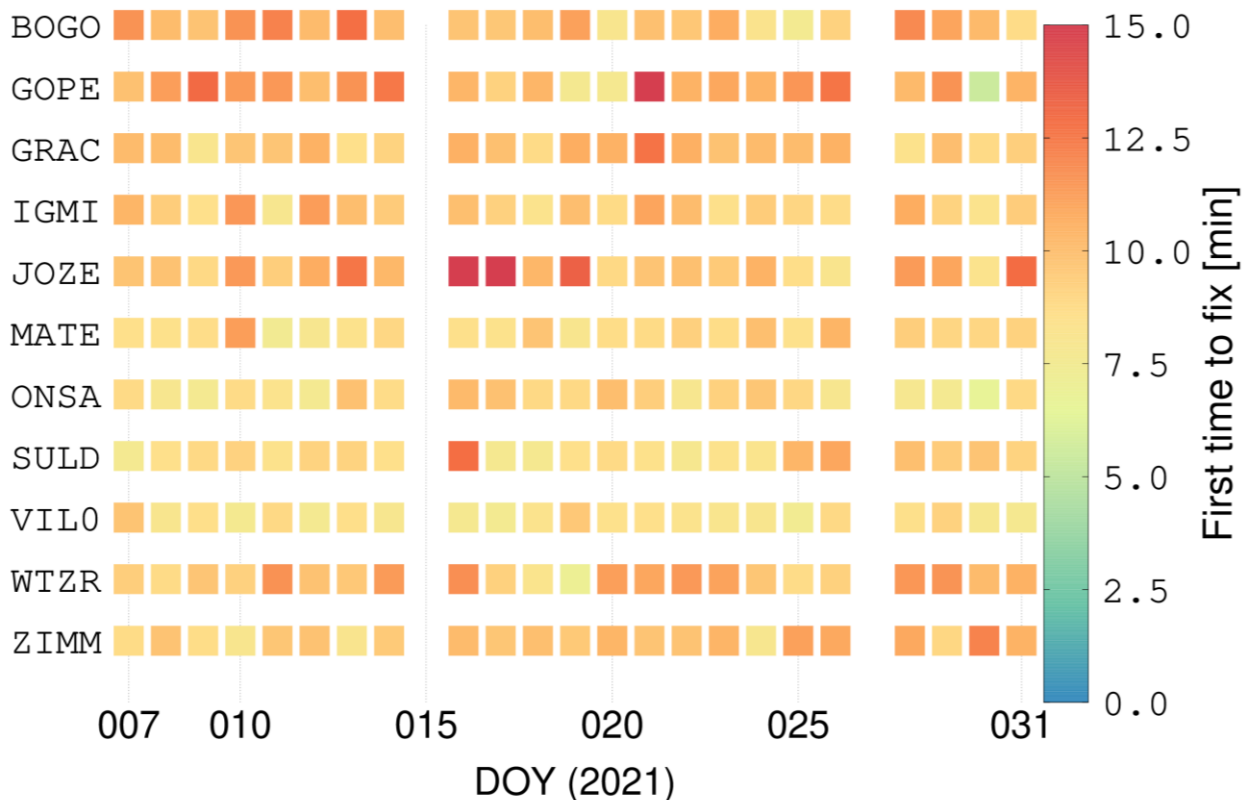
- doba, která byla nutná pro vyřešení celočíselných ambiguit
- pouze v případě PPP-AR / PPP-RTK
- průměrný TTFF:

PPP-AR → 10 min (20 epoch)

PPP-RTK → 2 min (4 epochy)

PPP-AR

PPP-RTK



Závěr

- Odhadnuté STEC na kolokovaných stanicích jsou vysoce konzistentní → STD 0,08 TECU.
- Vyřešení celočíselných ambiguit má zásadní vliv na rychlost konvergence (PPP 22 min, PPP-AR 11 min, **PPP-RTK 7 min**).
- Nekombinovaný model PPP-RTK se vstupem STEC umožňuje významně rychlejší řešení celočíselných ambiguit (PPP-AR 10 min, **PPP-RTK 2 min**).

DĚKUJI ZA POZORNOST

Tento článek vznikl v rámci řešení projektů Specifického výzkumu VUT v Brně FAST-J-21-7178 and FAST-S-21-7484.