

PŘESNOST VYBRANÝCH GLOBÁLNÍCH GNSS PRODUKTŮ V REÁLNÉM ČASE

Jakub Nosek, Jan Douša, Pavel Václavovic

Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, v. v. i.
Geodetická observatoř Pecný



Úvod

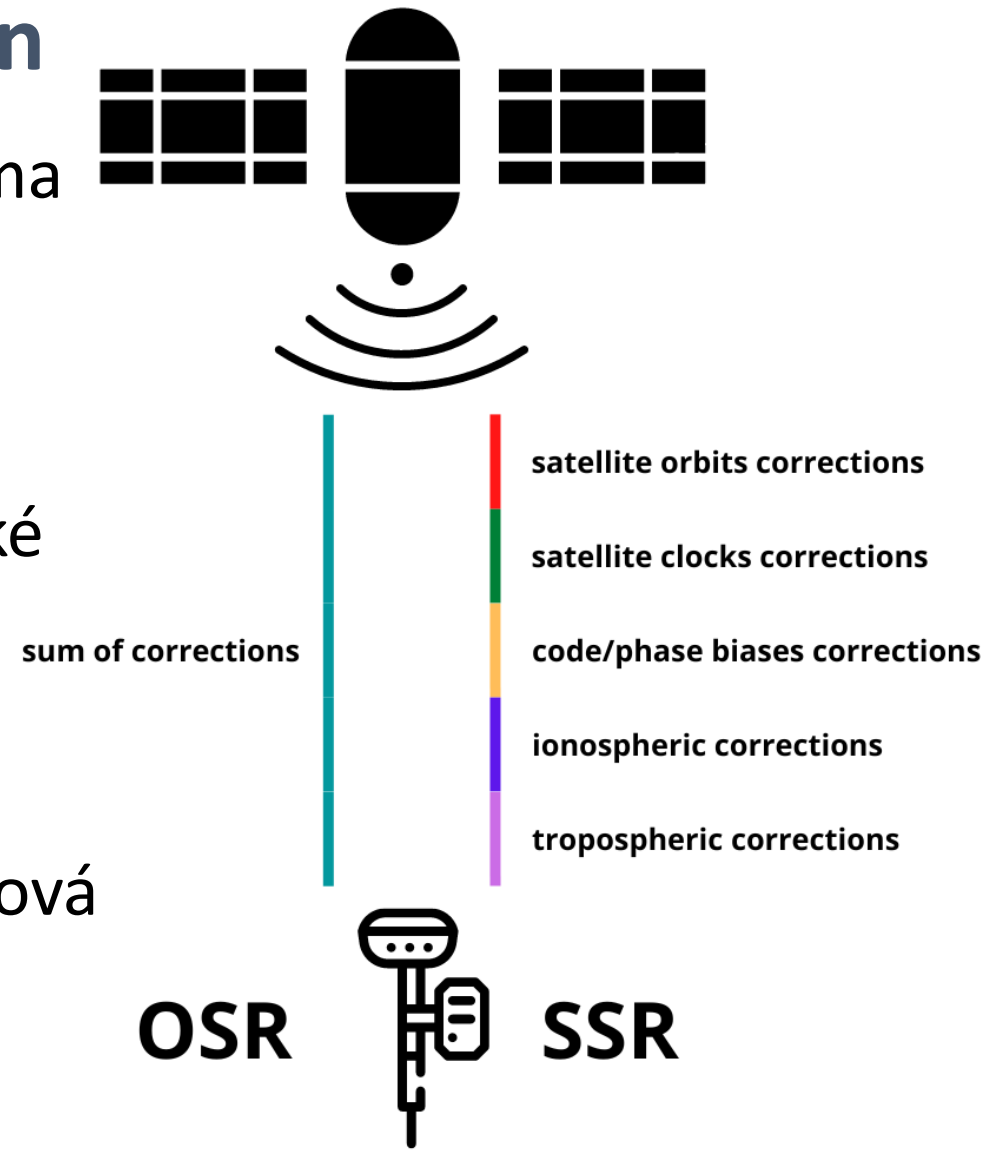
- Metoda Precise Point Positioning (PPP) je stále častěji využívána i mimo „vědecké“ prostředí.
- Uživatelům v reálném čase je k dispozici několik volně dostupných PPP produktů.
- PPP produkty je možné distribuovat i prostřednictvím družic → není potřeba internetové připojení.

PPP v reálném čase

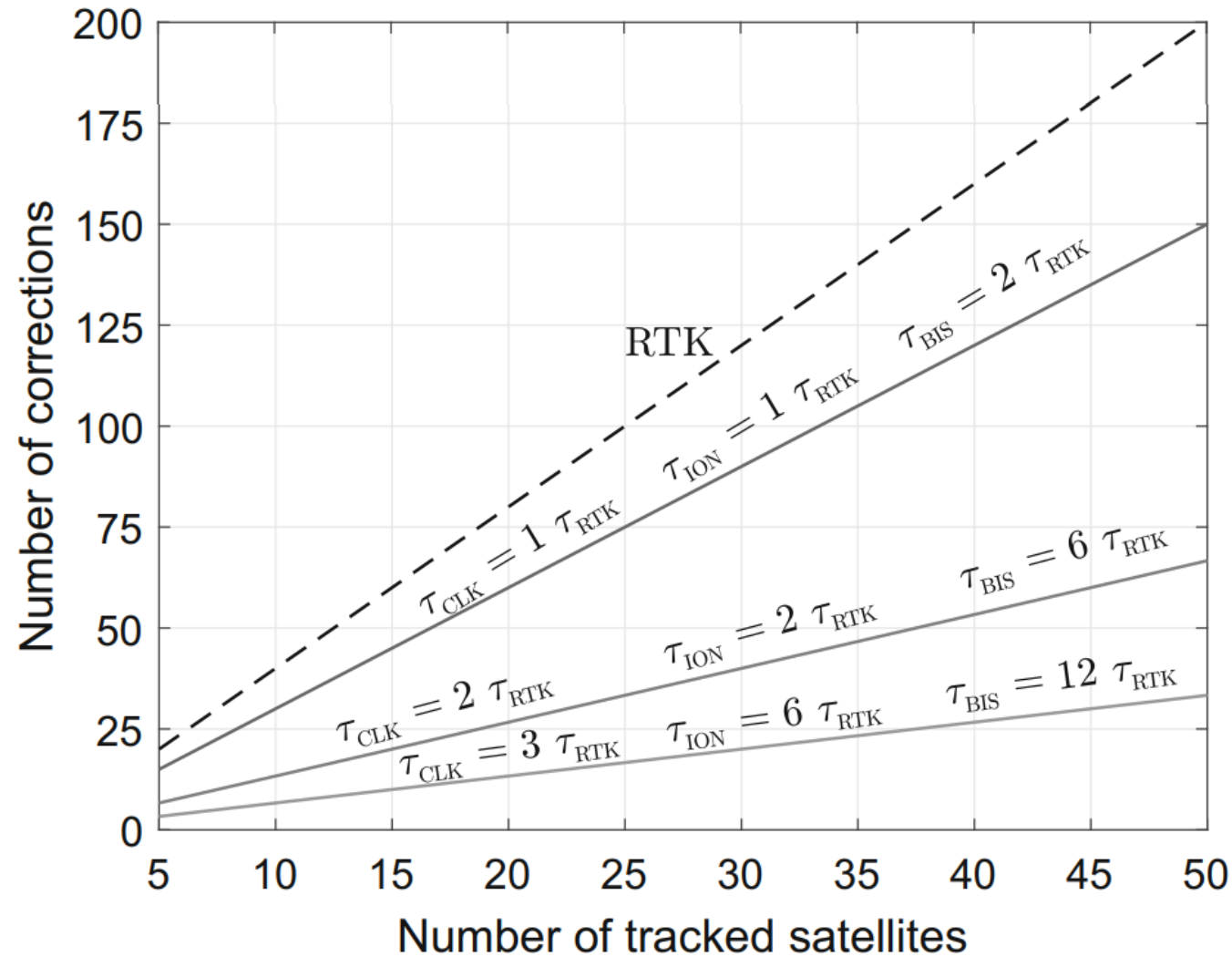
- K uživatelům jsou distribuovány korekce drah a hodin družic, korekce hardwarových zpoždění družic a případně i atmosférické korekce.
- Distribuce prostřednictvím Signal In Space, nebo prostřednictvím internetu.
- Na rozdíl od RTK není přesnost ovlivněna vzdáleností od referenčních stanic.
- Oproti RTK vyžadují korekce PPP menší přenosový výkon.

Observation Space Representation vs State Space Representation

- V případě OSR je k uživatelům přenášena suma všech chyb, které naměří referenční stanice (= observace).
- OSR vyžaduje zpracování stejných signálů, jaké mají k dispozici referenční stanice.
- SSR reprezentuje korekce jednotlivých systematických vlivů (hodiny družic, hardwarová zpoždění, atmosférické vlivy, ...).



Observation Space Representation vs State Space Representation



RTK vs PPP-AR

RTK

- Produkt: žádný nebo OSR

$$\Delta\nabla P_{r1,r2,j}^{s1,s2} = \Delta\nabla \rho_{r1,r2}^{s1,s2} + \Delta\nabla OSR_{r1,r2}^{s1,s2} + \cancel{c(dt_r - dt^s) - \mu_j I_r^s + T_r^s + c(b_{r,j} - b_j^s)} + \varepsilon_{r,j}^s$$
$$\Delta\nabla L_{r1,r2,j}^{s1,s2} = \Delta\nabla \rho_{r1,r2}^{s1,s2} + \Delta\nabla OSR_{r1,r2}^{s1,s2} + \cancel{c(dt_r - dt^s) + \mu_j I_r^s + T_r^s + \lambda_j (N_{r,j}^s + B_{r,j} - B_j^s)} + e_{r,j}^s$$

PPP-AR

- Produkt: korekce drah a hodin družic, hardwarových zpoždění družic (+ atmosférické korekce)

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

PPP produkty v reálném čase

- PPP produkty jsou poskytovány některými analytickými centry IGS.
- K dispozici jsou i komerční produkty, např. Trimble nebo Geo++.
- Globálním PPP produktem je i Galileo High Accuracy Service (HAS).

	Podporované GNSS	Vysílaný interval korekcí drah družic [s]	Vysílaný interval korekcí hodin družic [s]	Kódová zpoždění	Fázová zpoždění
SSRA02IGS1	GRE	10	10	Ano	Ne
SSRA03IGS1	GREC	10	10	Ano	Ne
SSRC00CNE0	GREC	5	5	Ano	Ano
SSRC00WHU0 (OSBC00WHU0)	GREC	5	5	Ano	Ano

Zpracování GNSS dat

- 6 vybraných stanic sítě EPN: GOP600CZE, BRUX00BEL, WTZR00DEU, CPAR00CZE, CRAK00CZE, CFRM00CZE.
- 30s data z 1. 10. 2024–31. 10. 2024 (3h reset všech parametrů)
- statické × kinematické řešení
- float PPP × PPP-AR

Použití produktů:

- SSRC00CNEO (CNES)
- SSRC00WHUO + OSBC00WHUO (Wuhan University)
- SSRA02IGS1, SSRA03IGS1 (IGS)
- HAS IDD (ESA)

Použitá strategie a software

Parametr	Hodnota
Použitý software	G-Nut/Geb RT
Typy observací	kódové + fázové
Kombinace observací	nekombinované řešení (GPS L1, L2; Galileo E1, E5a, E5b, E6)
Použité GNSS	Galileo + GPS
Vzorkovací frekvence	30 s
Elevační maska	10°
Váhování observací	elevačně závislé $1/\sin(\text{elevace})^2$
Korekce drah, hodin a hardwarových zpoždění družice	vysílané efemeridy + RT-PPP produkty
Ionosférické a troposférické zpoždění	určovány jako neznámé
Efekt wind-up	korigován
Fázová centra antén	korigovány pomocí igs20.atx
Slapové vlivy	IERS Conventions 2010

- U produktu SSRC00CNE0 byly zjištěny problémy s fixováním ambiguit Galileo → ISB random-walk změněn z hodnoty 20 mm na hodnotu 500 mm.

Zpracování výsledků

- měsíční časová řada souřadnic v referenčním systému ITRF2020
- zpracování programem G-Nut/Apep Pro
- referenční souřadnice stanic EPN z týdenního kombinovaného řešení EPN

Výsledkem tohoto zpracování byly:

- odchylky od referenčních souřadnic v systému North, East, Up,
- směrodatné odchylky a systematické posuny 3hodinových řešení ve směrech N, E, U
- 50%, 68% a 95% percentily polohových (HPE) a výškových (VPE) odchylek,
- doba konvergence na požadovanou přesnost (odpovídající 50%, 68% a 95% percentilům).

Výsledky – přesnost 3h řešení

statické řešení

Produkt	PPP			PPP-AR		
	s_N	s_E	s_U	s_N	s_E	s_U
WUH	1,3	2,2	2,4	0,9	1,3	2,1
CNS	1,2	2,3	2,6	1,0	1,6	3,1
IGS2	2,7	4,6	5,2			
IGS3	2,6	4,4	5,1			
CODE	0,4	0,9	1,0	0,2	0,2	0,7

kinematické řešení

Produkt	PPP			PPP-AR		
	s_N	s_E	s_U	s_N	s_E	s_U
WUH	1,8	3,2	4,1	1,2	1,9	2,9
CNS	1,5	2,7	3,2	1,2	1,8	3,5
IGS2	3,4	5,5	5,6			
IGS3	3,5	5,8	6,4			
CODE	0,9	1,5	1,9	0,3	0,2	0,9

Výsledky – kvalita PPP-AR řešení

Produkt	statické řešení			Kinematické řešení		
	Zastoupení fixovaných epoch	Počet všech/fix. družic	Zastoupení fixovaných družic	Zastoupení fixovaných epoch	Počet všech/fix. družic	Zastoupení fixovaných družic
WUH	79,1 %	15 / 8	52,9 %	77,6 %	15 / 8	50,0 %
CNS	78,6 %	15 / 6	41,7 %	77,6 %	15 / 6	41,2 %
CODE	86,0 %	15 / 10	62,5 %	87,0 %	15 / 10	61,1 %

Výsledky – rychlost konvergence

10 cm / 15 cm

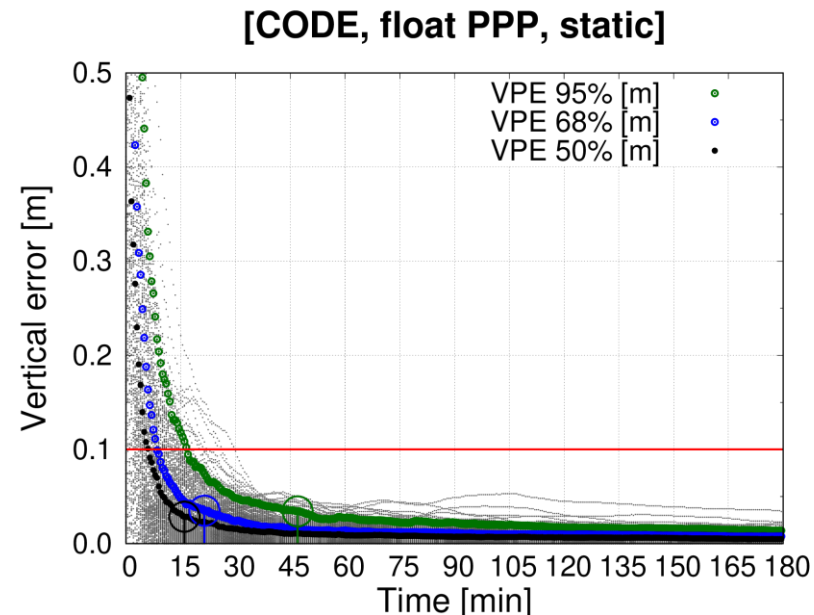
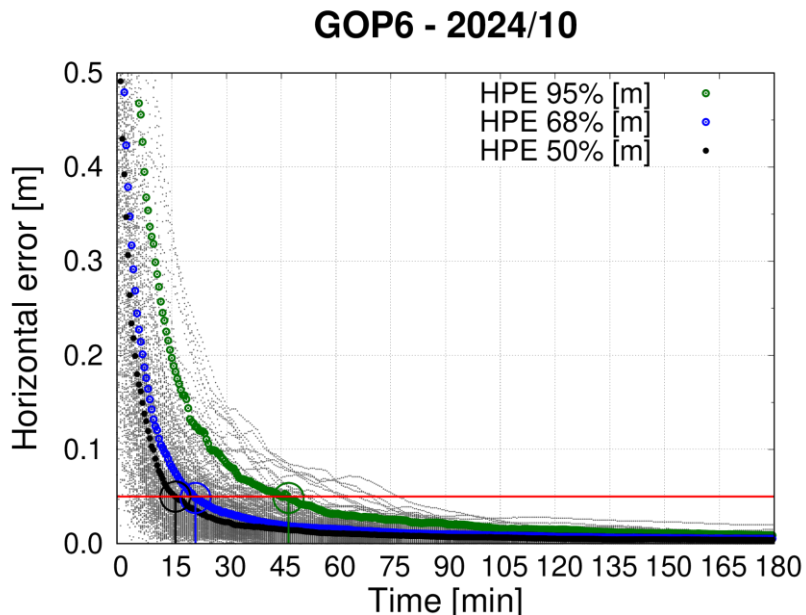
Produkt	Statické řešení		Kinematické řešení	
	PPP [min]	PPP-AR [min]	PPP [min]	PPP-AR [min]
WUH	14,4	14,2	22,2	21,1
CNS	12,6	14,2	18,8	21,6
IGS2	26,9		39,3	
IGS3	26,7		46,2	
CODE	15,7	8,2	26,3	10,5

5 cm / 10 cm

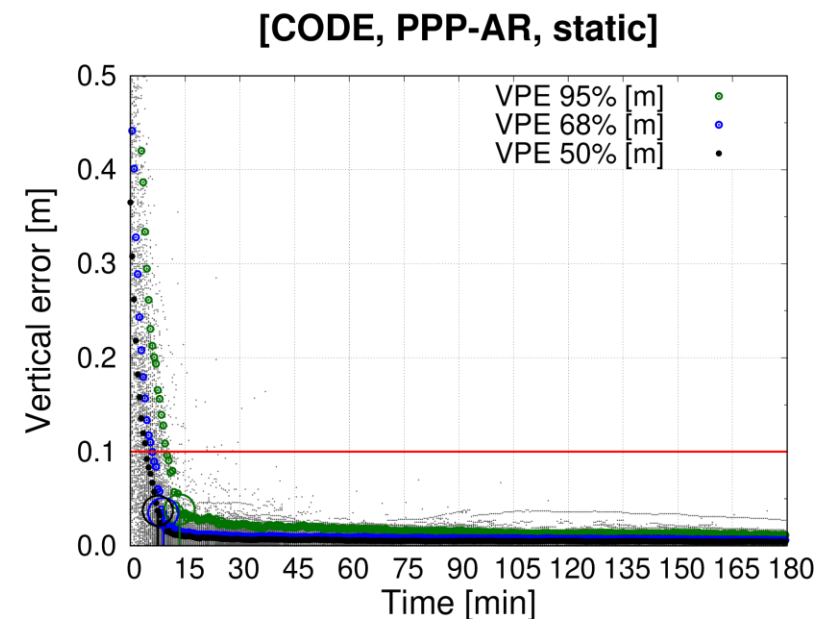
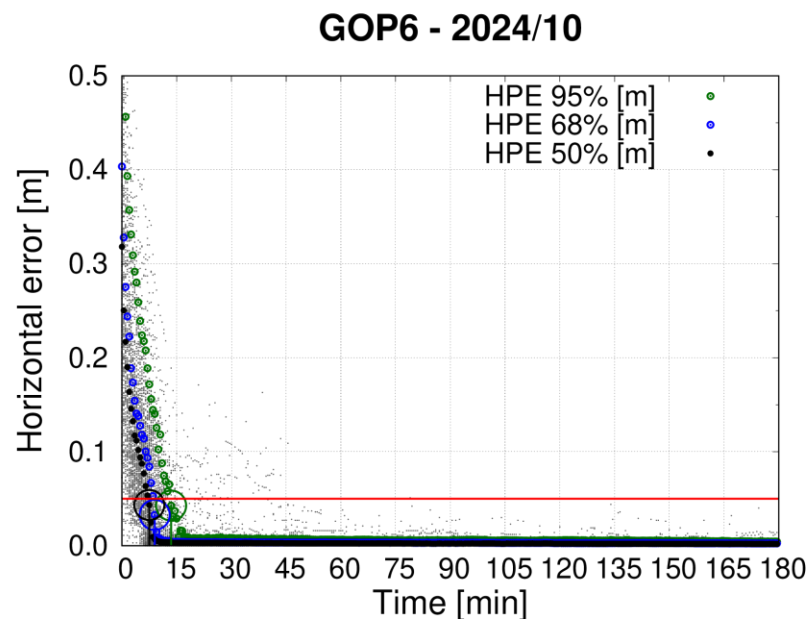
Produkt	Statické řešení		Kinematické řešení	
	PPP [min]	PPP-AR [min]	PPP [min]	PPP-AR [min]
WUH	33,7	24,4	58,5	33,1
CNS	33,7	33,2	56,3	52,9
IGS2				
IGS3				
CODE	28,8	10,4	45,2	12,3

Výsledky – konvergence 5/10 cm (static)

Float PPP (CODE)

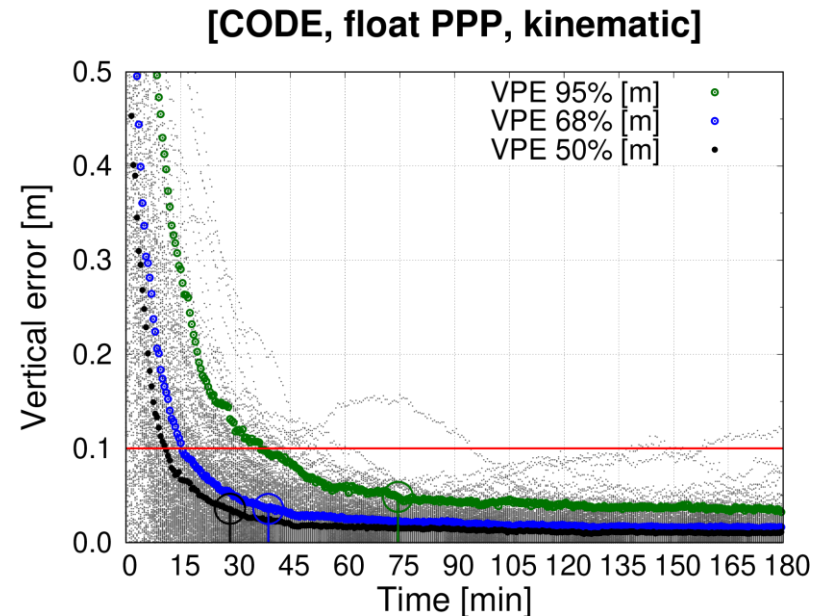
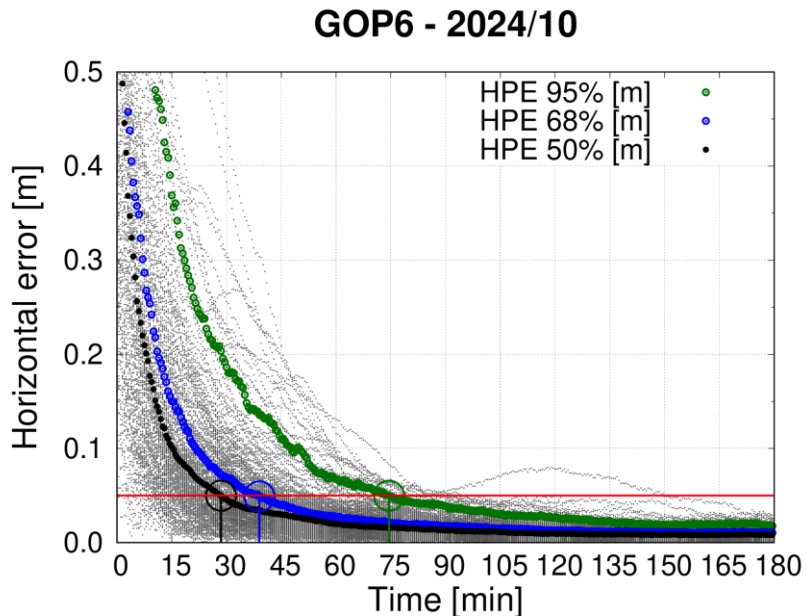


PPP-AR (CODE)

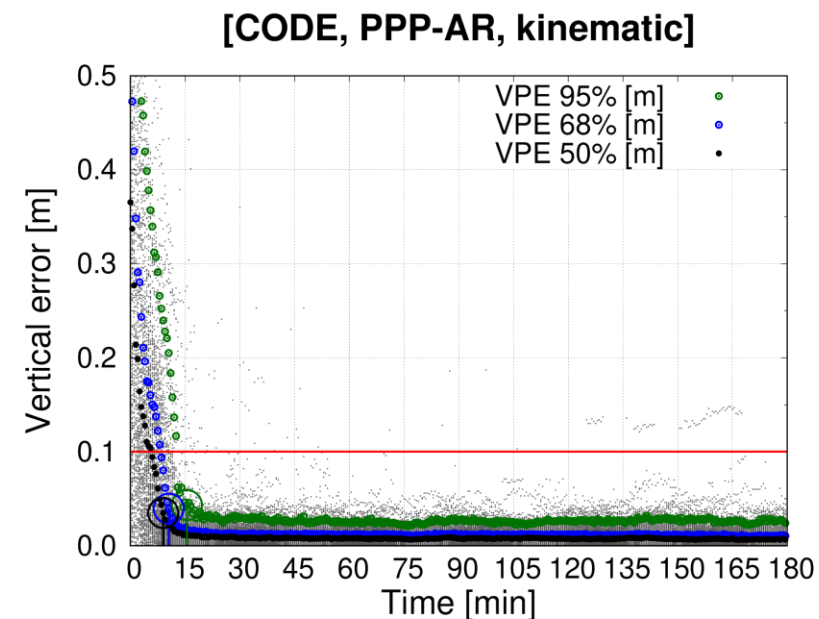
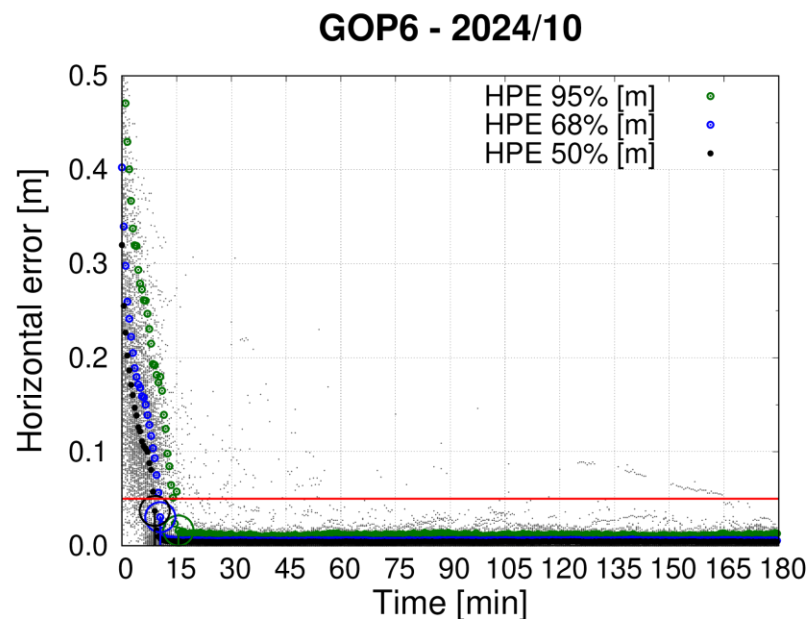


Výsledky – konvergence 5/10 cm (kinematic)

Float PPP (CODE)

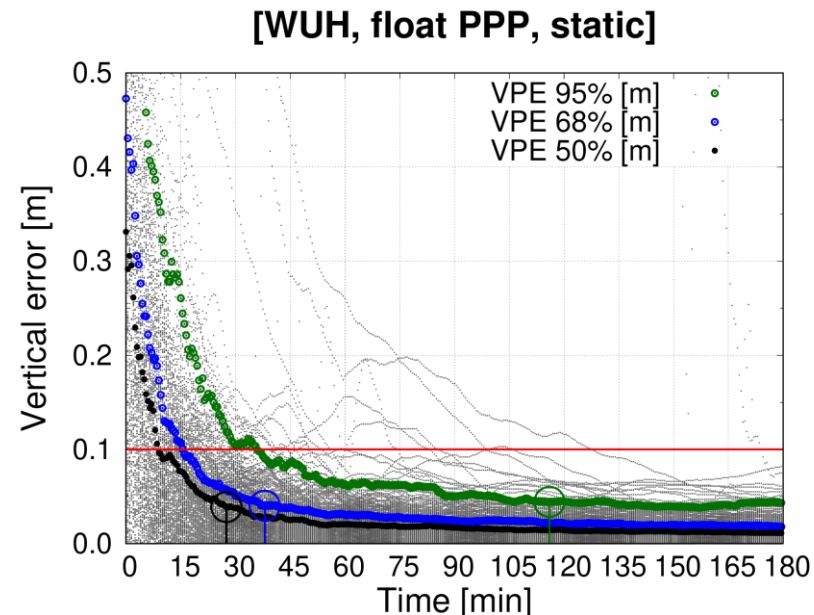
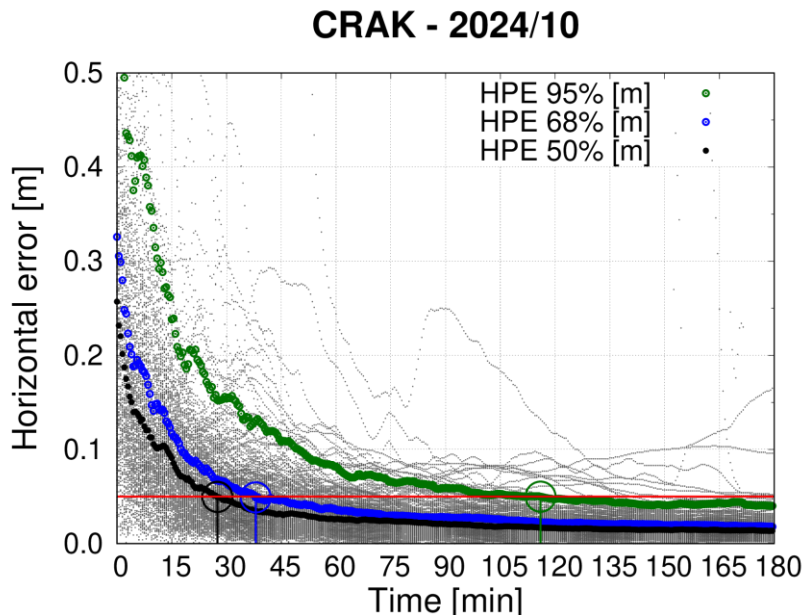


PPP-AR (CODE)

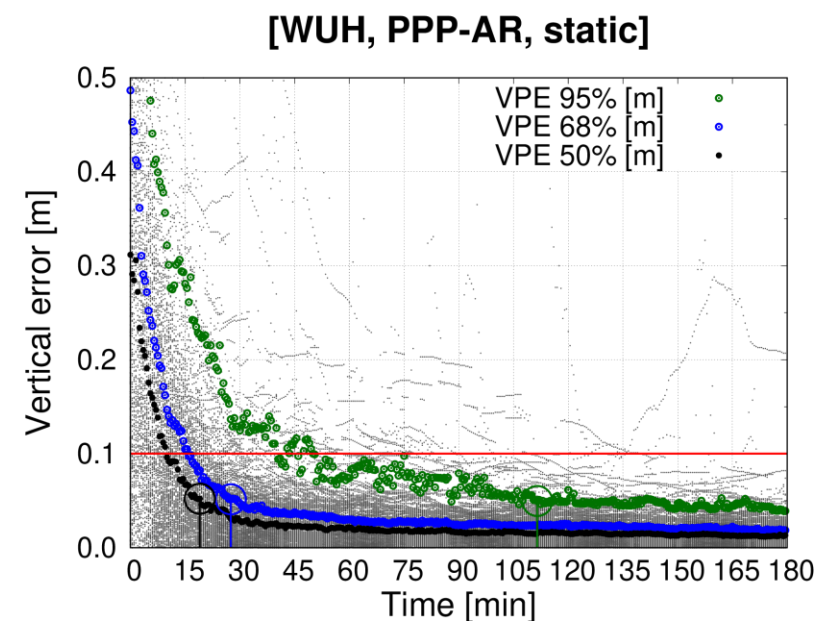
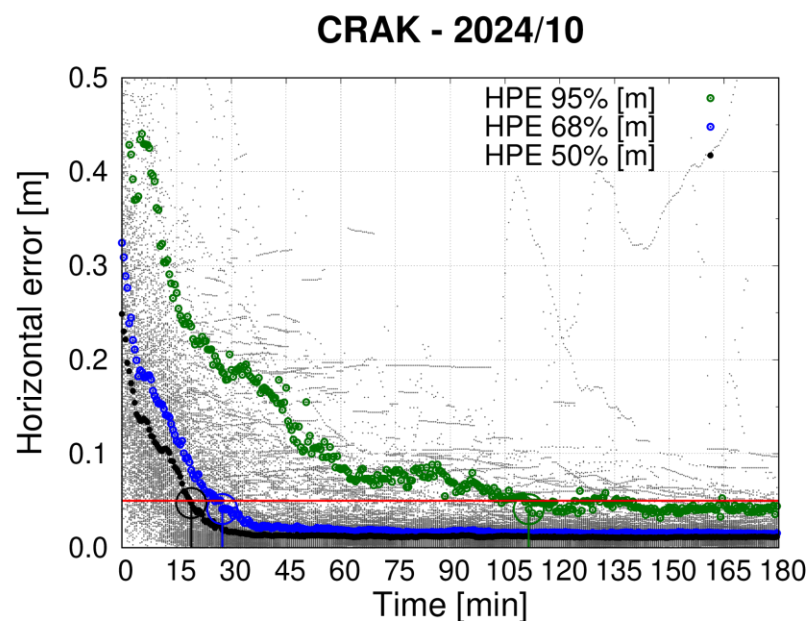


Výsledky – konvergence 5/10 cm (static)

Float PPP (WUH)

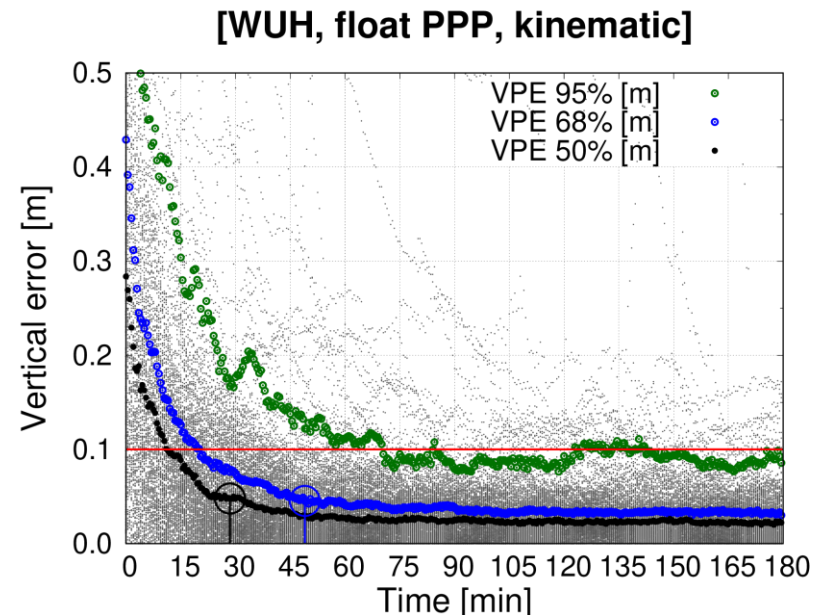
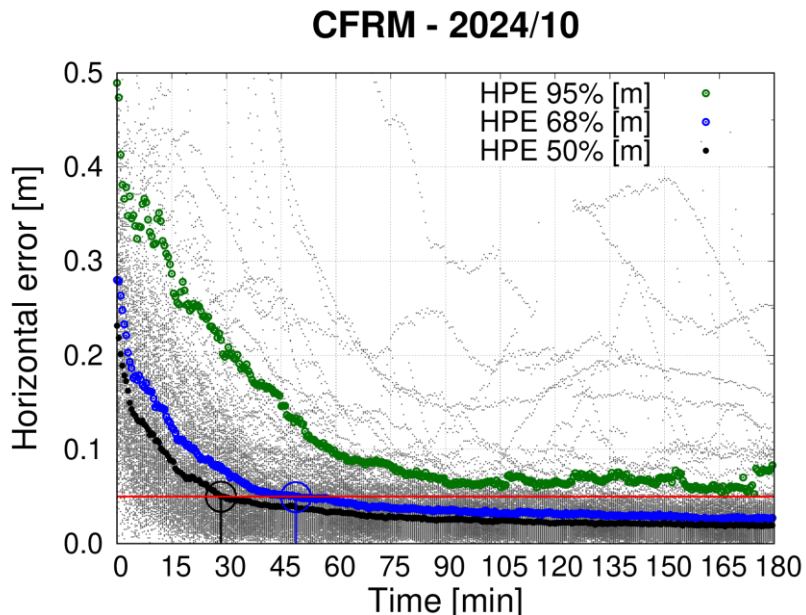


PPP-AR (WUH)

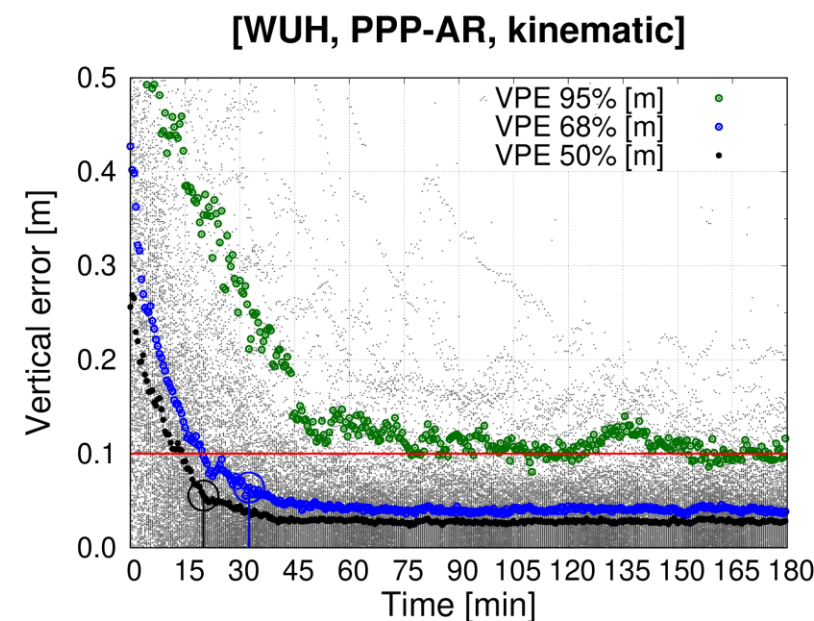
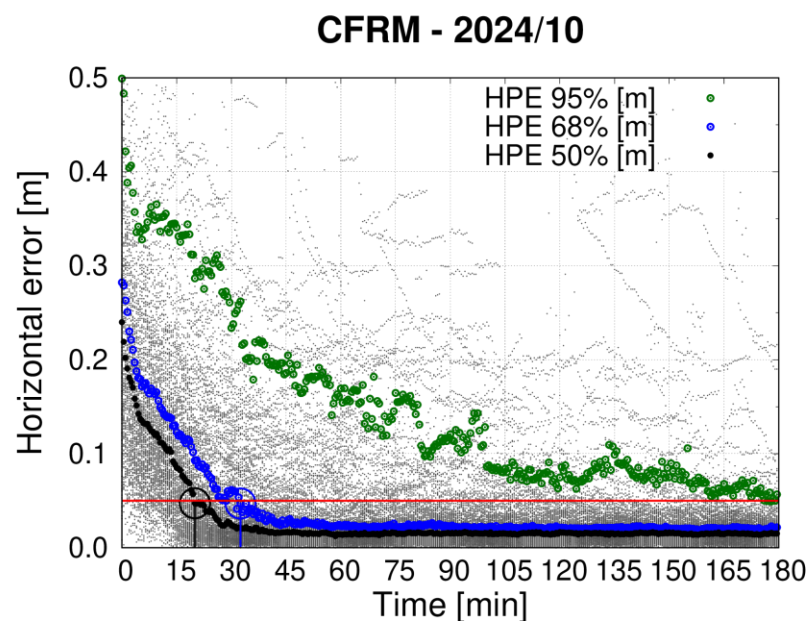


Výsledky – konvergence 5/10 cm (kinematic)

Float PPP (WUH)

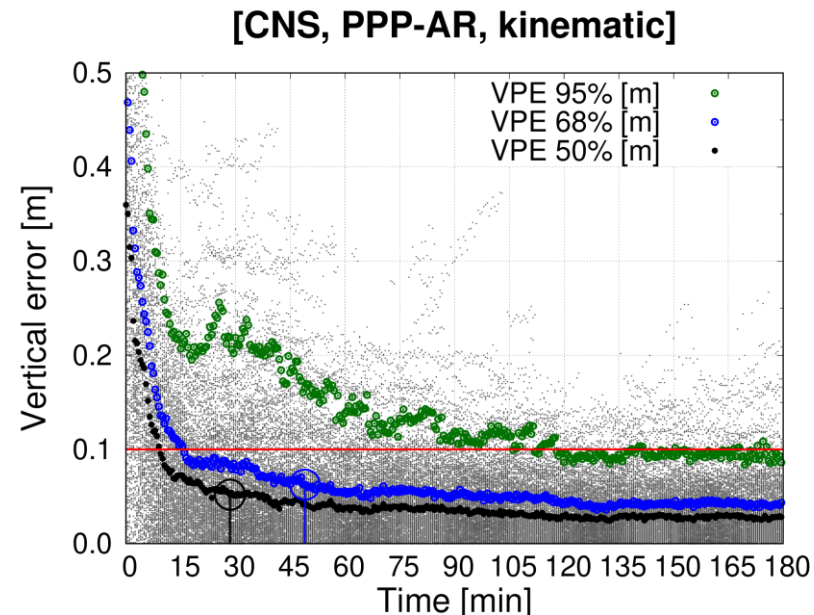
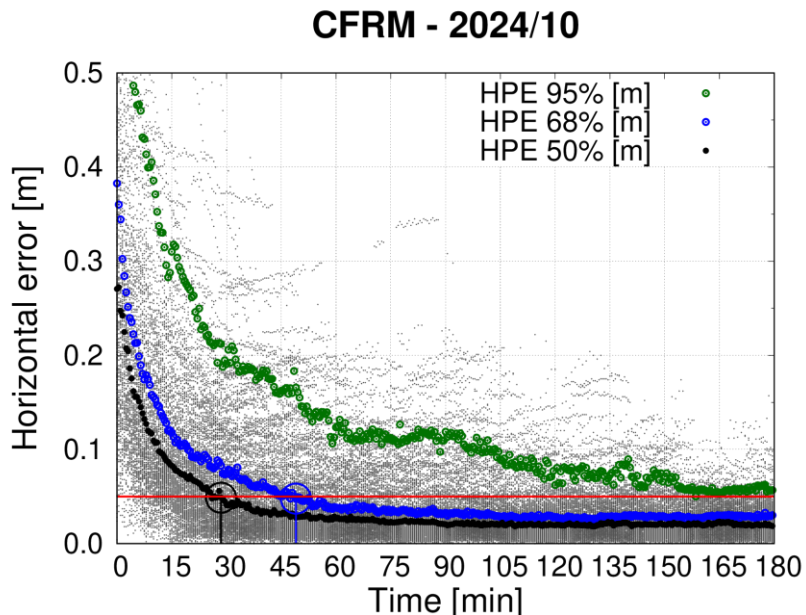


PPP-AR (WUH)

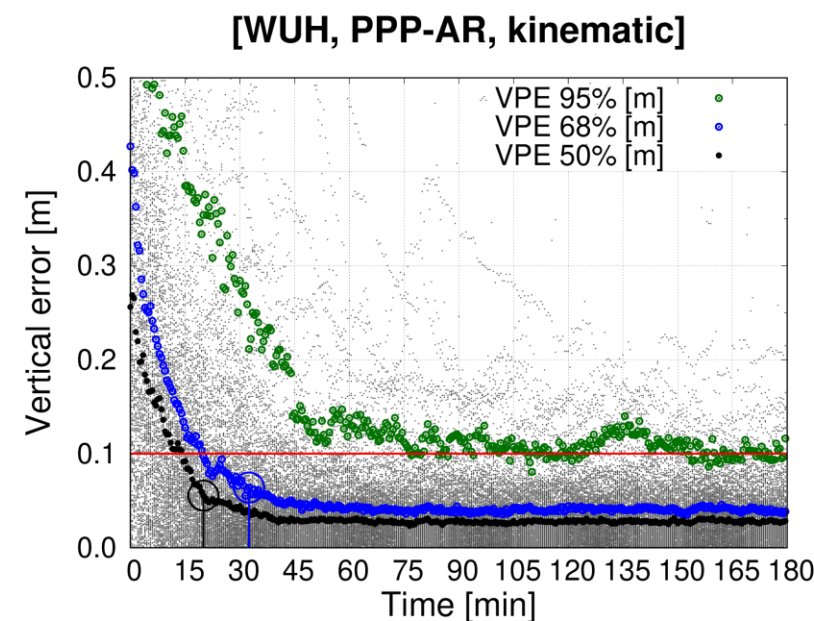
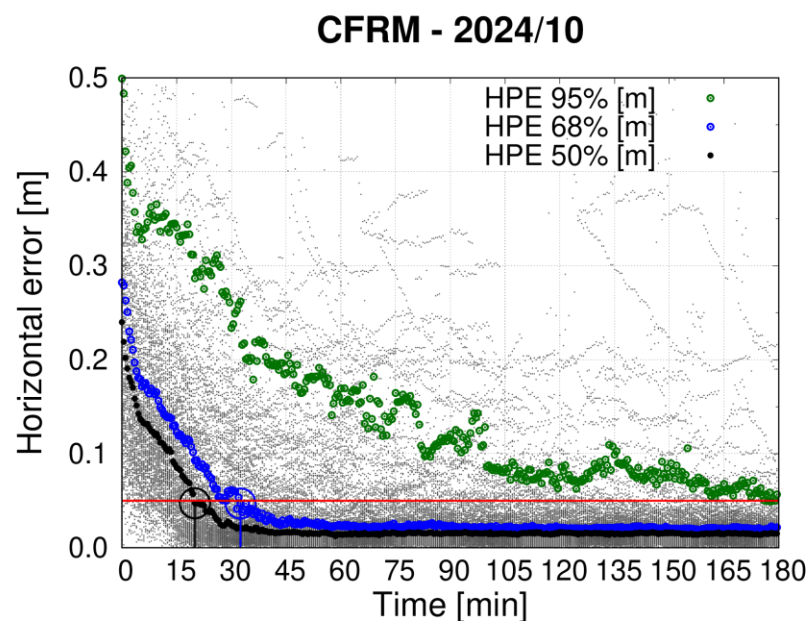


Výsledky – konvergence 5/10 cm (kinematic)

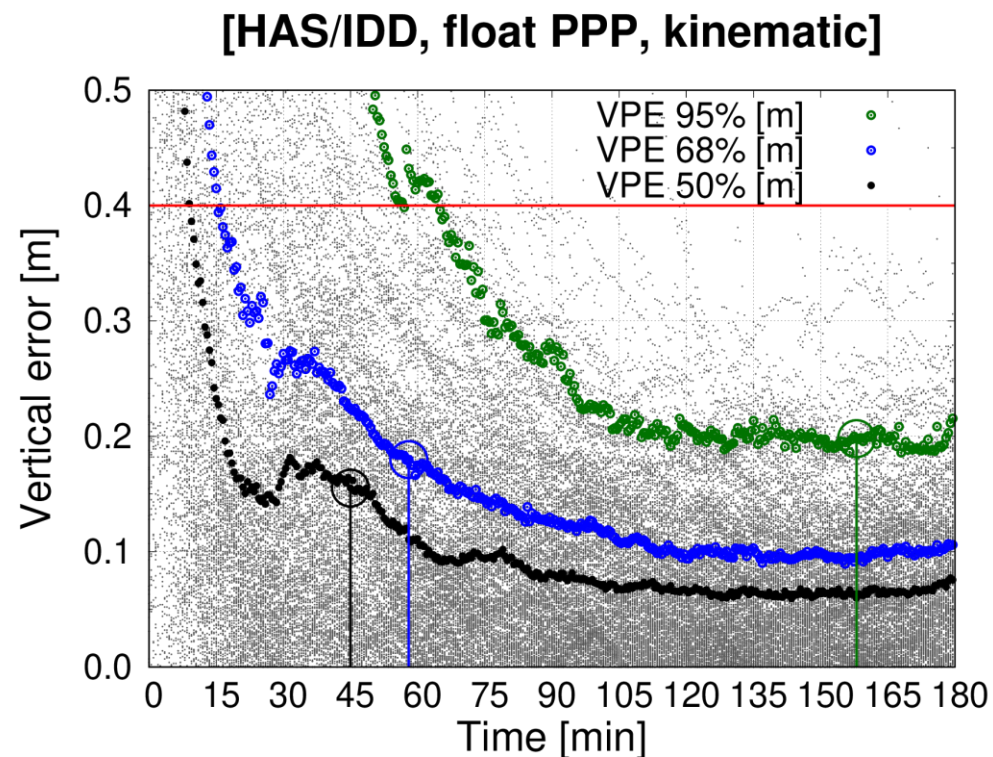
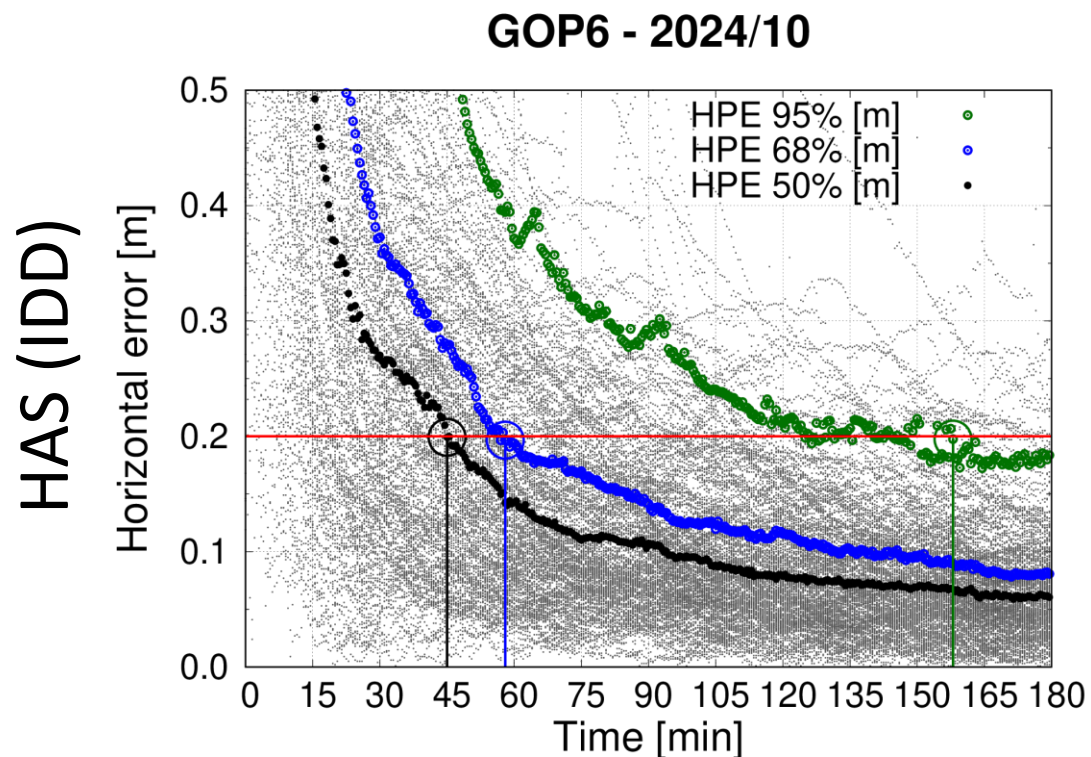
PPP-AR (CNES)



PPP-AR (WUH)



Výsledky – konvergence 20/40 cm (kinematic)



Závěry

- Produkty CNES a WUH jsou srovnatelné jak v přesnosti, tak i době konvergence nutné k dosažení požadované přesnosti.
- Kombinované produkty IGS2 a IGS3 poskytovaly horší výsledky (přesnost, doba konvergence) v porovnání s produkty CNS a WUH.
- Metody PPP a PPP-AR stále nemohou z důvodu dlouhé konvergence konkurovat řešení RTK (výrazným přínosem bude až použití PPP-RTK).
- V reálném čase může být PPP-AR alternativou pro oblasti, kde nejsou k dispozici korekce pro standardní RTK řešení.

DĚKUJI ZA POZORNOST