

PPP: EN ALTERNATIV GNSS- MÄTMETOD

Milan Horemuz

KTH

horemuz@kth.se

SiL 2.0
Stornät i luften 2.0



LANTMÄTERIET

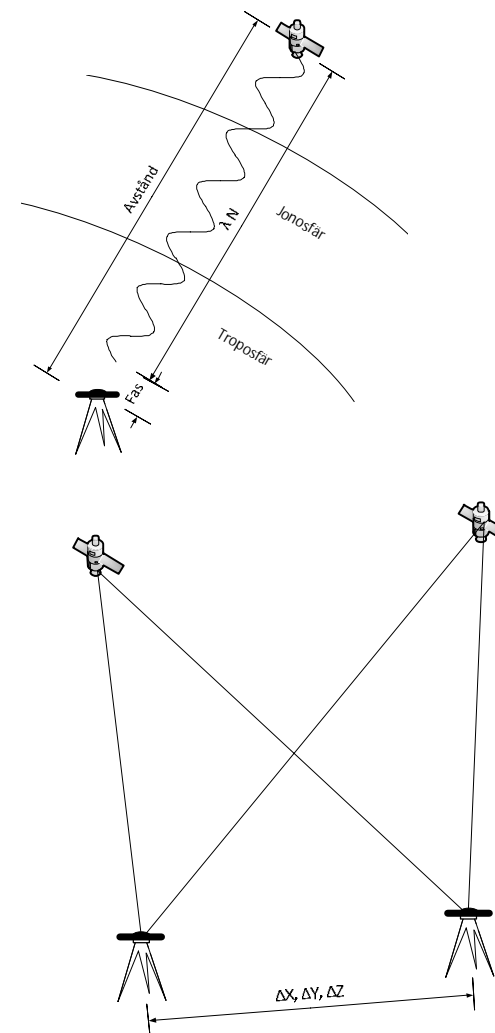


Agenda

- Vad är PPP?
 - Grundläggande principer
 - Standard PPP och realtids-PPP
 - Geodetiskt referenssystem
- Vilka tjänster finns?
 - Några exempel
- Resultat av tre praktiska tester
- Slutsatser

Precise Positioning

- Precise = Lägesosäkerhet på mm–cm–nivå
- Förutsättningar: Fasmätning på bärvågor + eliminering av felkällor
- Vanligaste är relativa metoder
 - RTK
 - Statiska observationer med efterbearbetning
 - Data från minst en referensmottagare behövs
 - Periodobekanta kan fixeras snabbt
- Resultat vid relativa metoder:
 - Baslinje (vektor) mellan referens och rörlig mottagare bestäms genom differentiering av data
 - Koordinater: addera vektorn till referenskoordinater
 - Samma koordinat-referenssystem som referenskoordinaterna (SWEREF 99)



PPP: Precise Point Positioning

- PPP är generellt accepterat namn för en odifferentierad positioneringsmetod
- Felkällorna elimineras ej, de måste korrigeras m.h.a. modeller eller värden som hämtas från en PPP-tjänst eller skattas tillsammans med koordinater
- Problem:
 - Felkällorna måste korrigeras med mm-cm precision
 - Det går inte att skatta alla felkällor, vissa måste skattas tillsammans (t.ex. periodobekanta med fas-bias)
 - Periodobekanta går inte att lösa snabbt, långa konvergeringstider (tiotals minuter)
- Användares koordinater bestäms i samma referenssystem som satellitkoordinater – **ITRF2014**, **ITRF2020**, för aktuell tidsepok

Error sources	PPP	Differential GNSS
Precise satellite clock corrections	✓	x
Satellite antenna phase centre offset	✓	✓
Satellite antenna phase centre variations	✓	✓
Precise satellite orbits	✓	✓/x
Group delay differential	✓ (L1 only)	x
Relativity term	✓	x
Satellite antenna phase wind-up error	✓	x
Receiver Specific Errors		
Receiver antenna phase centre offset	✓	✓
Receiver antenna phase centre variations	✓	✓
Receiver antenna phase wind-up	✓	x
Solid earth tide displacements	✓	x
Ocean loading	✓	x
Polar tides	✓	x
Plate tectonic motion	✓	x
Tropospheric delay	✓	✓/x
Ionospheric delay	✓ (L1 only)	x
GNSS hardware biases		
Inter system biases	✓	✓
Differential code biases	✓	x
Uncalibrated phase delays	✓	x

SiL 2.0
Stomnät i luften 2.0



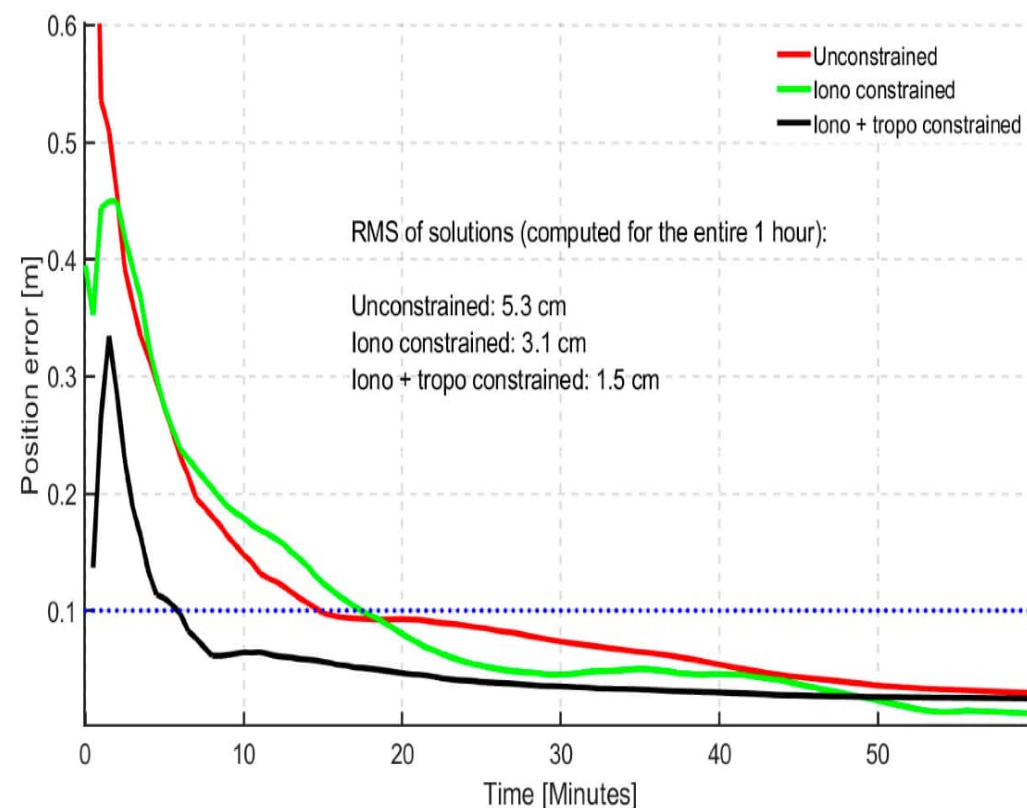
LANTMÄTERIET

wsp



Standard PPP

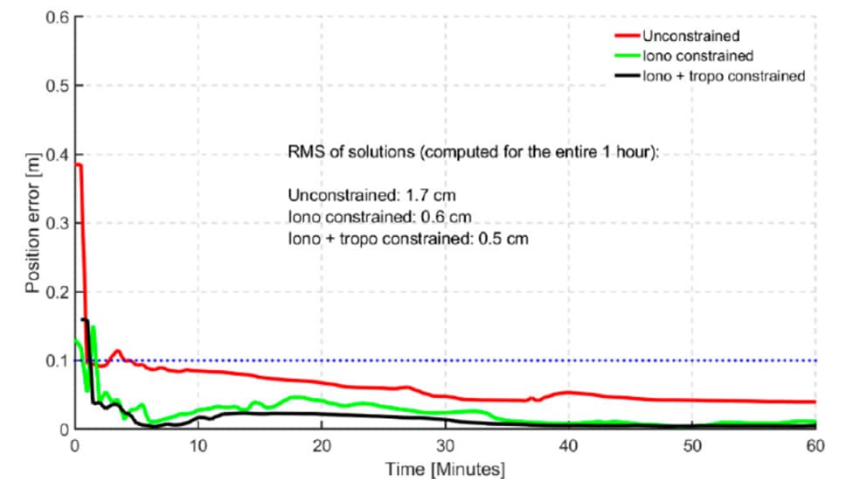
- Indata
 - Observationer från en mottagare
 - Precisa banparametrar + satellitklockor
 - Kod-bias (förskjutning mellan koder som satelliterna genererar)
 - Jonosfärmodell (inte nödvändig för två-frekvens mottagare)
- Att beräkna
 - Mottagarens koordinater
 - Troposfärskorrektion
 - Kombination av periodobekanta och fas-bias (fas-förskjutning mellan frekvenser)
- Används i efterbearbetning, t.ex. etablering av stompunkter i områden långt borta från referensstationer



Källa: Aggrey, J., and S. Bisnath. 2019. 'Improving GNSS PPP Convergence: The Case of Atmospheric-Constrained, Multi-GNSS PPP-AR', Sensors, 19.

Realtids-PPP, RTK-PPP, AR-PPP

- Det är inte möjligt att skatta jonosfär, satellitlockfel och fas-bias
- Nätverk av referensstationer + operationellt center kan beräkna kombination av dessa parametrar och andra parametrar i realtid -> **heltalslösning är möjligt**
- Det finns olika kombinationer av parametrar som separerar periodobekanta från jonosfären och bias
- Alla metoder är matematisk ekvivalenta och ger dubbel-differentierade periodobekanta



AGGREY, J. & BISNATH, S. 2019. Improving GNSS PPP Convergence: The Case of Atmospheric-Constrained, Multi-GNSS PPP-AR. *Sensors*, 19

PPP-tjänster

- Standard PPP via online-tjänster
 - GAPS – GNSS Analysis and Positioning Software, University of New Brunswick, gratis
 - MagicPPP, spanskt företag GMV, kommersiell tjänst
 - Canadian Spatial Reference System Precise Point Positioning (CSRS-PPP)
- Realtids-tjänster
 - Trimble RTX
 - Hexagon Veripos
 - Topcon Starpoint
 - Furgo
 - Beidou B2b
 - Galileo High Accuracy Service – operationell sedan januari 2023
(www.euspa.europa.eu/newsroom/news/galileo-high-accuracy-service-now-operational)
 - ...

SiL 2.0
Stomnät i luften 2.0



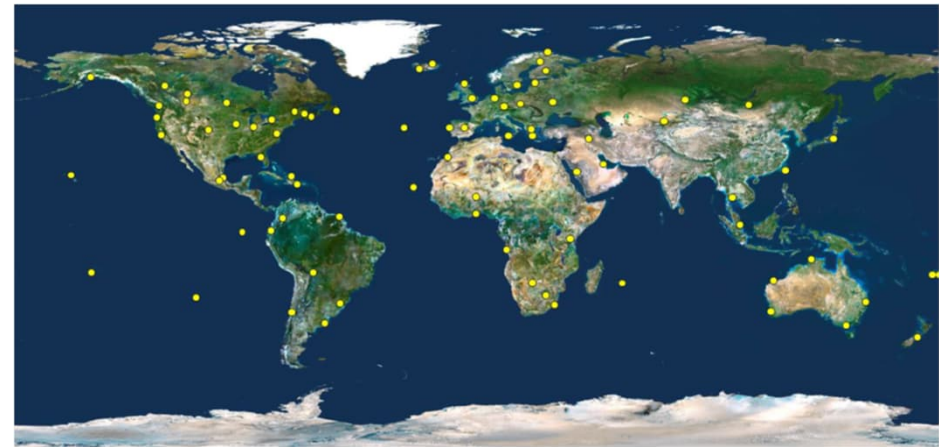
LANTMÄTERIET

wsp



Test med Trimble RTX

- Realtids-PPP-tjänst baserad på ca 100 referensstationer
- Korrektioner skickas via satelliter och internet
- Lägesosäkerhet:
 - 2 cm horisontalt
 - 5 cm vertikalt
- Konvergeringstid: 2–30 minuter



SiL 2.0
Stomnät i luften 2.0



LANTMÄTERIET

wsp



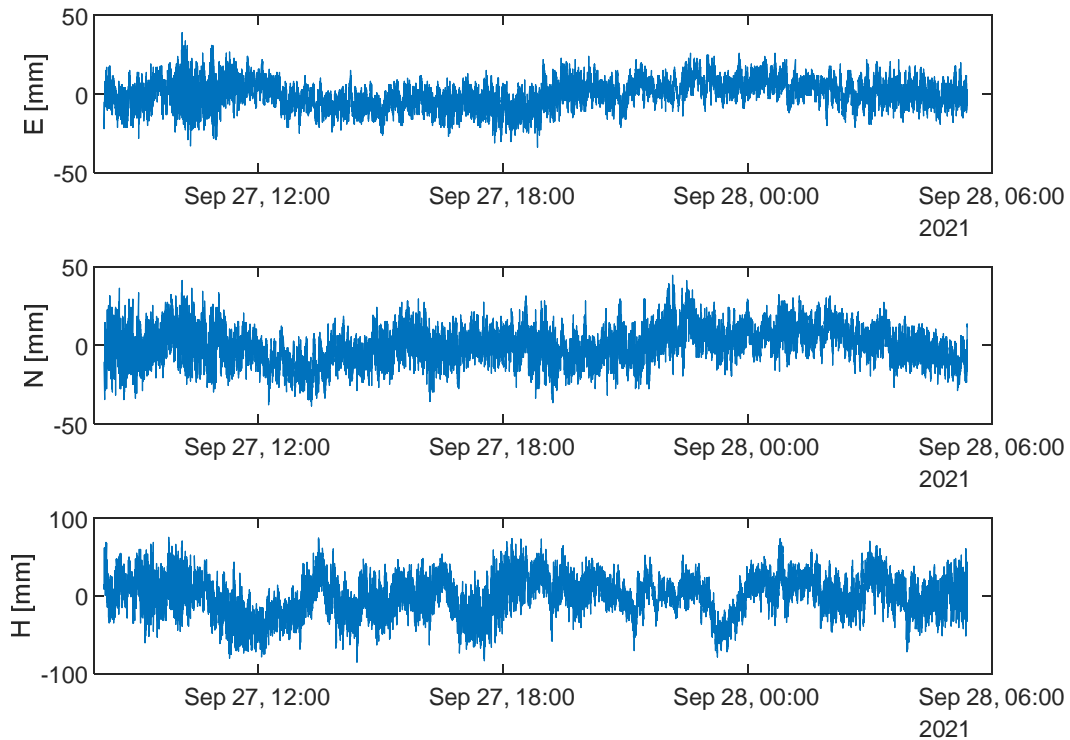
Test WSP

- Statisk mätningar i ca 2 dygn, Trimble R12-mottagare
- Punkt A: 1 s N-RTK koordinater + 15 s rå GPS + GLONASS + Galileo data
- Punkt B: 1 s RTX koordinater + 15 s raw GPS + GLONASS + Galileo data



WSP test: resultat

RTX, session 27



RTX

$u(E) = 8 \text{ mm}$

$u(N) = 10 \text{ mm}$

$u(H) = 23 \text{ mm}$

RTK

$u(E) = 2 \text{ mm}$

$u(N) = 3 \text{ mm}$

$u(H) = 6 \text{ mm}$

Differens mot beräkningstjänst

	dE	dN	dH
RTX	-22 mm	3 mm	-76 mm
N-RTK	3 mm	7 mm	40 mm

SiL 2.0
Stomnät i luften 2.0



LANTMÄTERIET

wsp



Test Lantmäteriet

- Fem gånger 30 minuter statisk mätningar på 4 punkter
- Repeterbarhet
 - $u(E) = 6\text{--}7$ mm, $u(N) = 9$ mm, $u(H) = 17\text{--}26$ mm
- Differens mot beräkningstjänst
 - $dE = -6$ till $+14$ mm, $dN = +4$ till $+30$ mm, $dH = -54$ till -135 mm
- Tidskorrelation
 - RTX: 6–10 minuter horisontalt, 8–26 vertikalt
 - RTK: 1–6 minuter horisontalt, 2–4 vertikalt

SiL 2.0
Stomnät i luften 2.0



LANTMÄTERIET

wsp



PPP vid Lantmäteriet i övrigt



- Nationella/regionala tjänster med lägesosäkerhet på cm-nivå är baserade på nätverks-RTK, t.ex. Lantmäteriets Swepos Nätverks-RTK
- 464 Swepos-stationer
- 10 500 registrerade användare av Swepos Nätverks-RTK
- Ingen PPP-tjänst från Lantmäteriet
- Vissa tester med PPP av Lantmäteriet
 - T.ex. i det nu pågående projektet Dinpas

SiL 2.0
Stomnät i luften 2.0

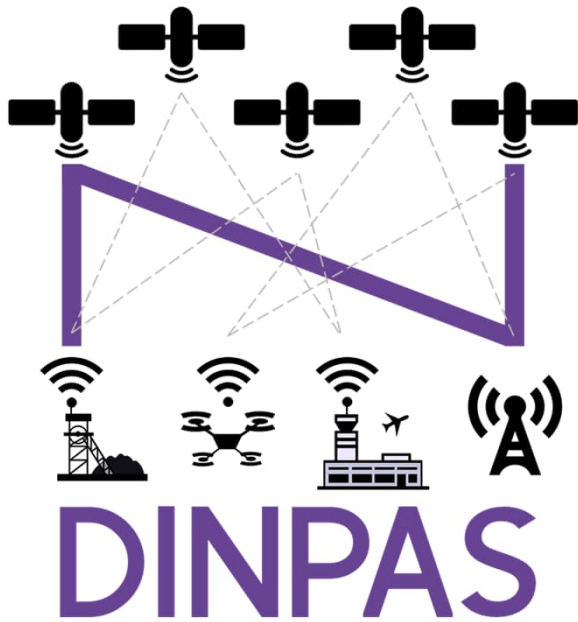


LANTMÄTERIET

wsp



Dinpas



- Dinpas = Digital Infrastructure Enabling Accurate Positioning for Autonomous Systems
- Projekt om positionering med PPP för den autonoma flygplatsen och dess fordon samt för drönare
- Finansierat via Vinnova
- Projektid från 1 oktober 2021 till 30 september 2023
- Nio projektdeltagare
- Initialt statistiskt test genomfört i Gävle



SiL 2.0
Stornät i luften 2.0



LANTMÄTERIET



Initialt statistiskt Dinpas-test i Gävle

- PPP-data genererat i realtid från ett urval av Swepos-stationerna med ett avstånd på ca 70 km med programvaran GNSMART
- Sju statistiska mätningar med GNSS-mottagaren u-blox F9P
- Repeterbarhet (med vissa outliers)
 - $u(E) = 22 \text{ mm}$, $u(N) = 27 \text{ mm}$, $u(H) = 60 \text{ mm}$

SiL 2.0
Stomnät i luften 2.0



LANTMÄTERIET

wsp



Slutsatser

- Fördelar med PPP
 - Envägskommunikation till användare (vid realtids-PPP)
 - Större geografisk täckning
 - Ingen lokal infrastruktur vid standard PPP
- Nackdelar
 - Högre lägesosäkerhet
 - Längre mättider
 - Transformation från ITRF till SWEREF 99
- PPP kan inte ersätta relativ mätning vid precisa tillämpningar, men kan vara smidigare vid mindre krävande applikationer, såsom navigering av autonoma fordon

SiL 2.0
Stomnät i luften 2.0



LANTMÄTERIET

