

Kandidatarbete

15 hp

KTH
Samhällsbyggnadsprogrammet
inriktning Geografisk IT



DEGREE PROJECT IN BUILT ENVIRONMENT, FIRST
CYCLE

Accuracy and Precision Analysis of Total Station Measurements

MALIN HÄGGLUND ERIKSSON

SoM EX KAND 2014-23

KTH ROYAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SCHOOL OF ARCHITECTURE AND THE BUILT ENVIRONMENT
Department of Urban Planning and Environment
Division of Geodesy and Geoinformatics

MÄTNING MED TOTALSTATION

MOT

ICKE-PERFEKT VINKLADE PRISMOR

Översikt

- Bakgrund till varför arbetet var intressant att göra

Översikt

- Bakgrund till varför arbetet var intressant att göra
- Instrument och prismetor

Översikt

- Bakgrund till varför arbetet var intressant att göra
- Instrument och prismetor
- Vad man mäter med en totalstation

Översikt

- Bakgrund till varför arbetet var intressant att göra
- Instrument och prismetor
- Vad man mäter med en totalstation
- Lite om osäkerhet och riktighet

Översikt

- Bakgrund till varför arbetet var intressant att göra
- Instrument och prismor
- Vad man mäter med en totalstation
- Lite om osäkerhet och riktighet
- Testmätningarna

Översikt

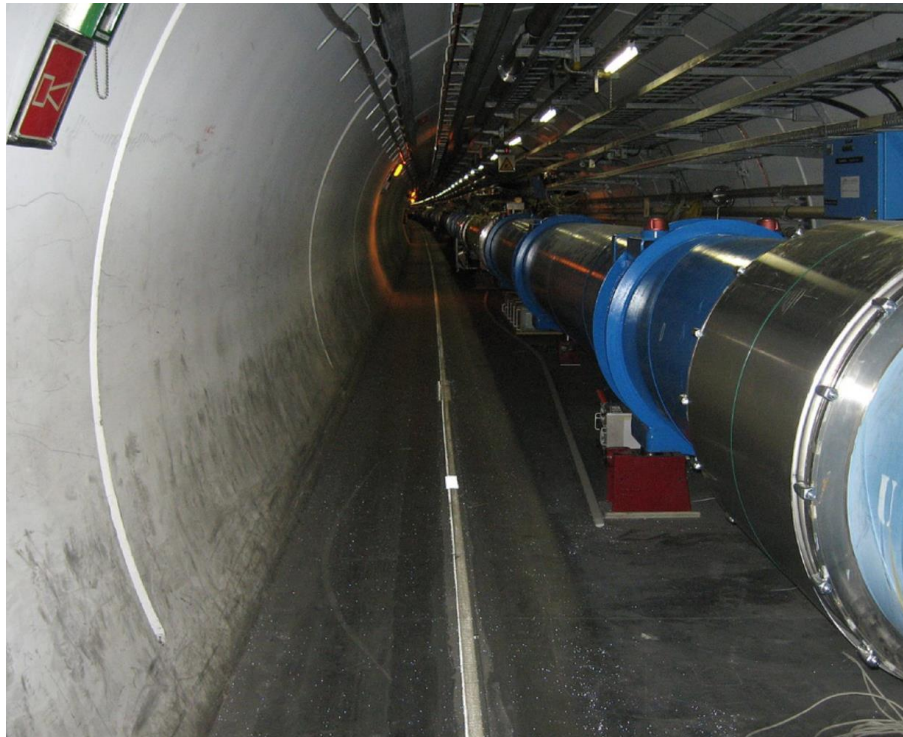
- Bakgrund till varför arbetet var intressant att göra
- Instrument och prismor
- Vad man mäter med en totalstation
- Lite om osäkerhet och riktighet
- Testmätningarna
- Resultat

Bakgrund

- Behov av att mäta noggrant

Bakgrund

- Behov av att mäta noggrant
Sub-millimeternivå



Dambyggnader:
Övervaka deformationer, undvika dammbrott.

CERN:
Placering av dipol-magneter i linje med hög precision över en
27 km lång cirkulär tunnel.
Med en total osäkerhet på under 0.2 mm vid 1σ .

Bakgrund

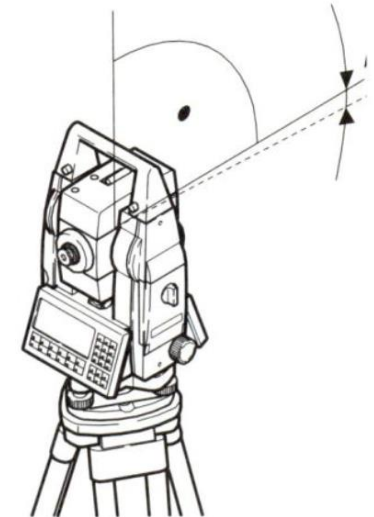
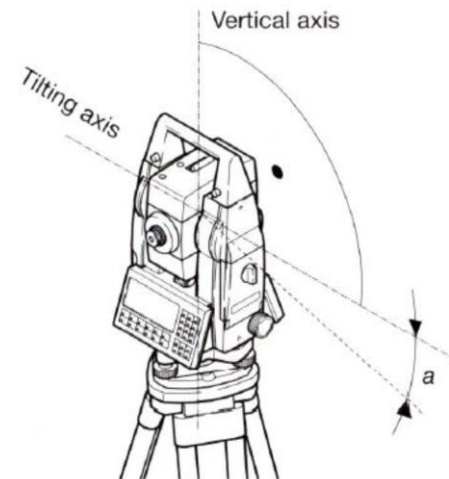
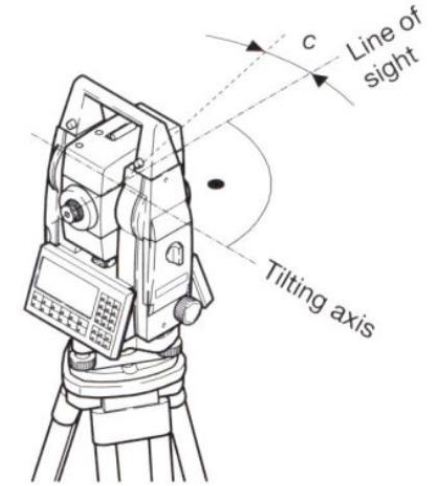
- Behov av att mäta noggrant
- Behov av att veta hur noggrant man mäter

Bakgrund

- Behov av att mäta noggrant
- Behov av att veta hur noggrant man mäter

Systematiska avvikelser – kalibreras bort

Prismakonstanter
-34.4 mm
-11.3 mm
+ 2.0 mm



Bakgrund

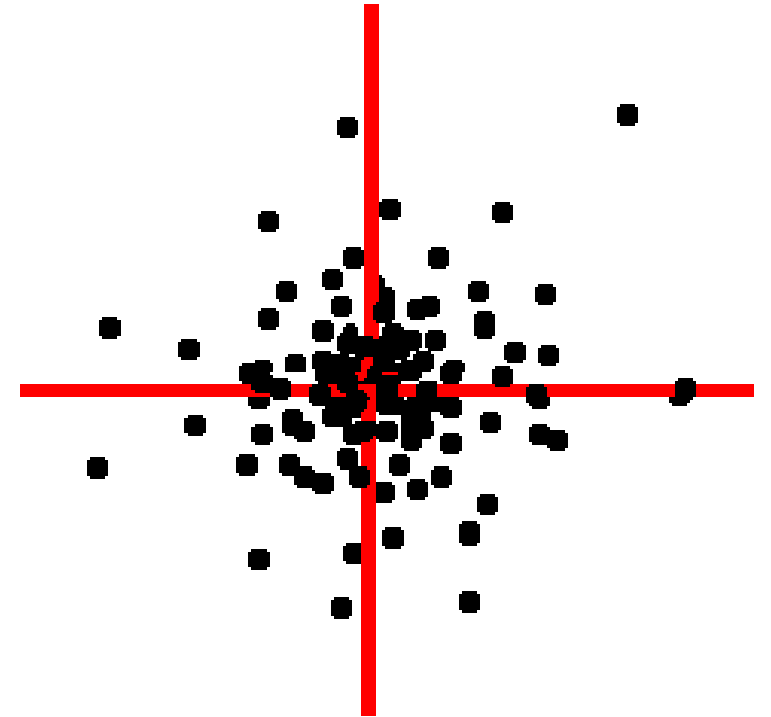
- Behov av att mäta noggrant
- Behov av att veta hur noggrant man mäter

osäkerhet i mätningar

(Stokastiska variabler, slumpfel, brus, variation, spridning)

oundvikligt, men minskas med

bra instrument – bra mätmetoder– statistisk förståelse

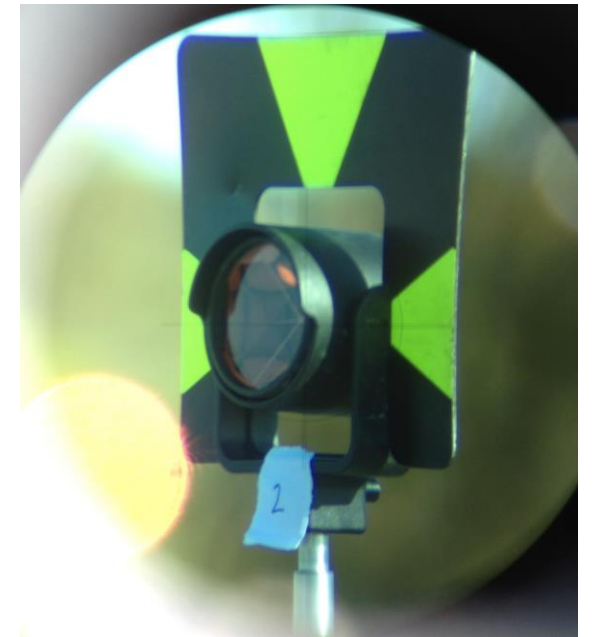


Bakgrund

- Behov av att mäta noggrant
- Behov av att veta hur noggrant man mäter
- Behov av att veta hur man ska mäta för att det ska bli noggrant

Bakgrund

- Behov av att mäta noggrant
- Behov av att veta hur noggrant man mäter
- Behov av att veta hur man ska mäta för att det ska bli noggrant







Totalstation och prismor

Trimble S8



GPR1 Leica (WILD) Trimble 360



Leica 360

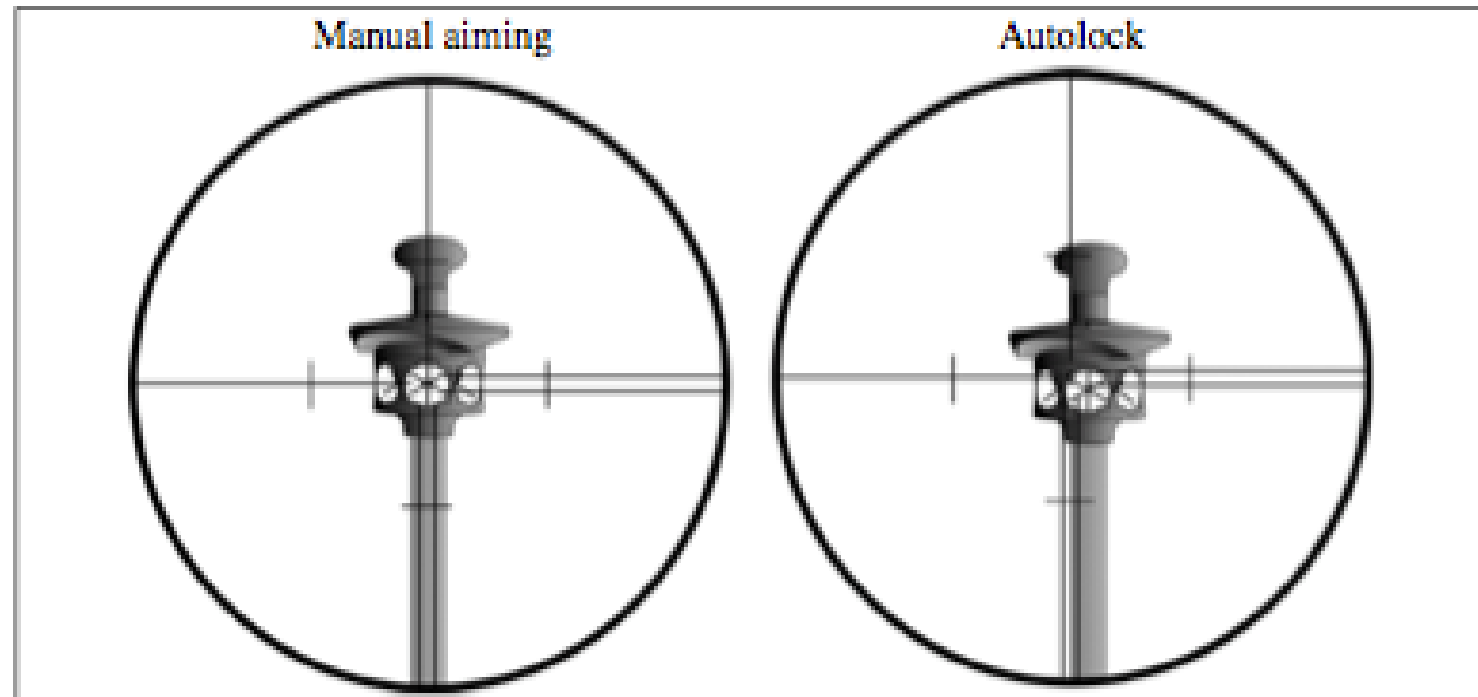


Automatisk låsning på prisma, Autolock

- Autolock kontrollerar servo så att TS är riktad korrekt mot prisma.
- TS kan följa rörligt mål med Autolock.
- Två separata axlar, en för teleskopet och en för trackern.

De kalibreras separat
för sina egna
kollimationsfel.

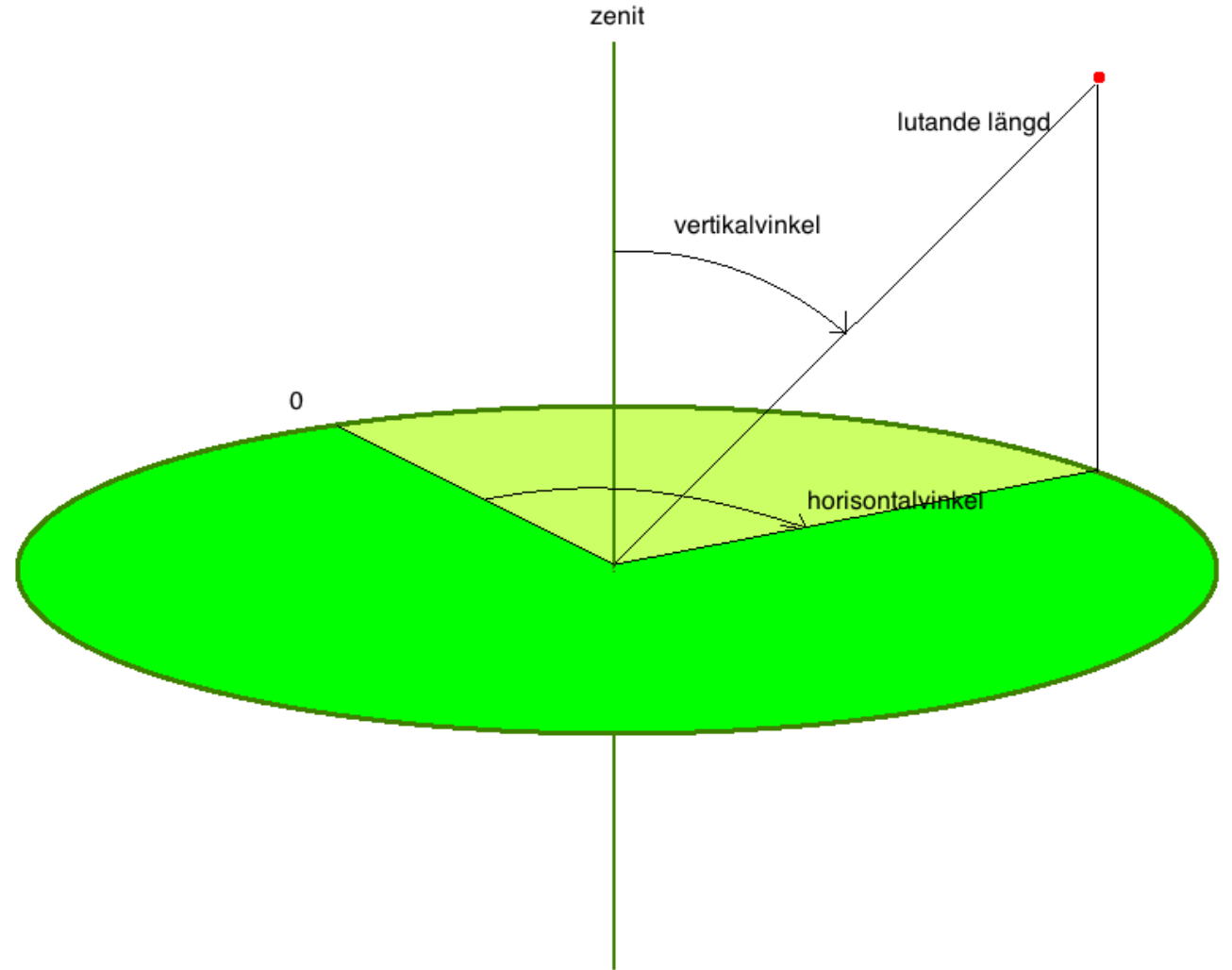
Ser fel ut, men normalt.

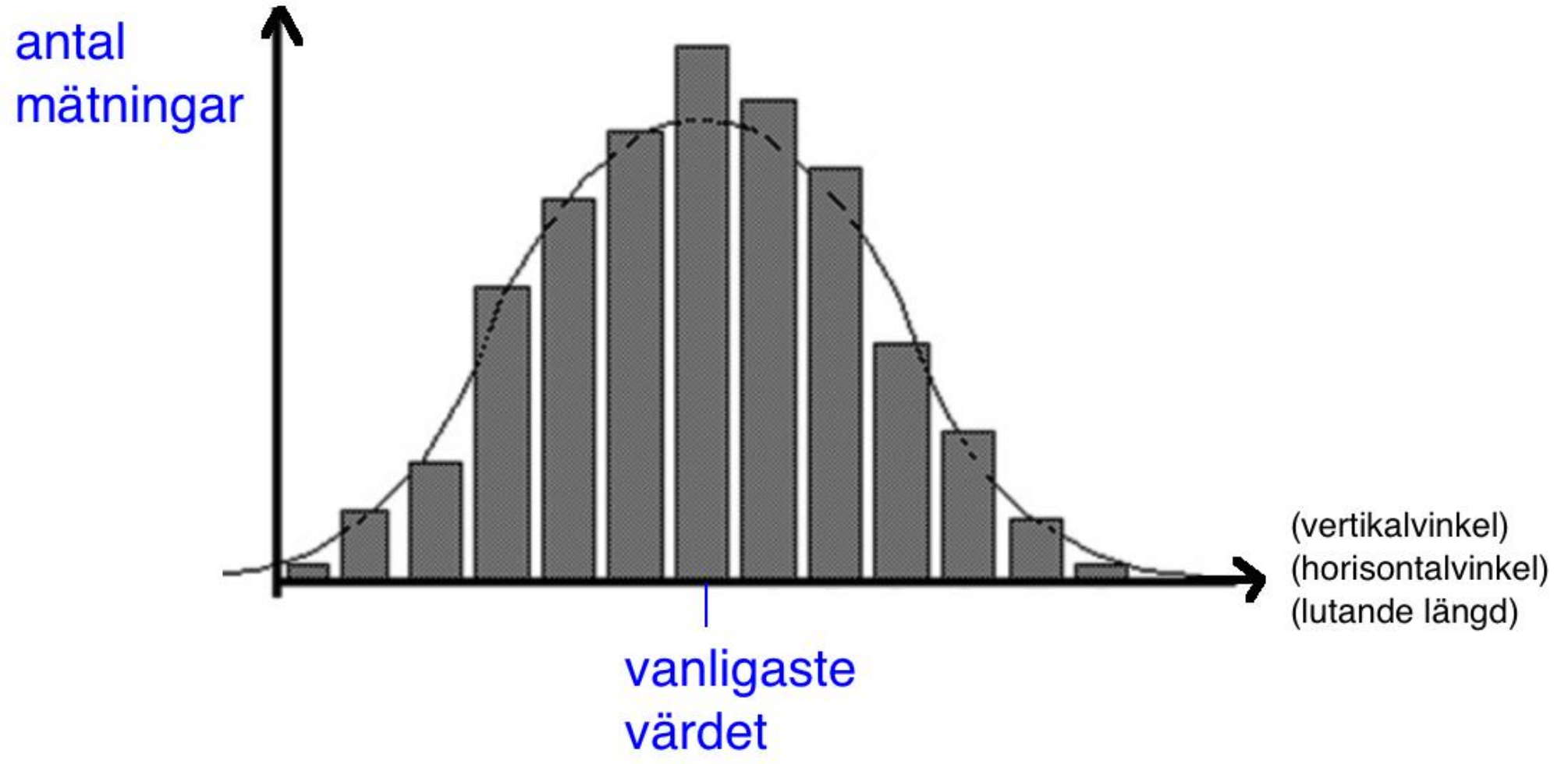


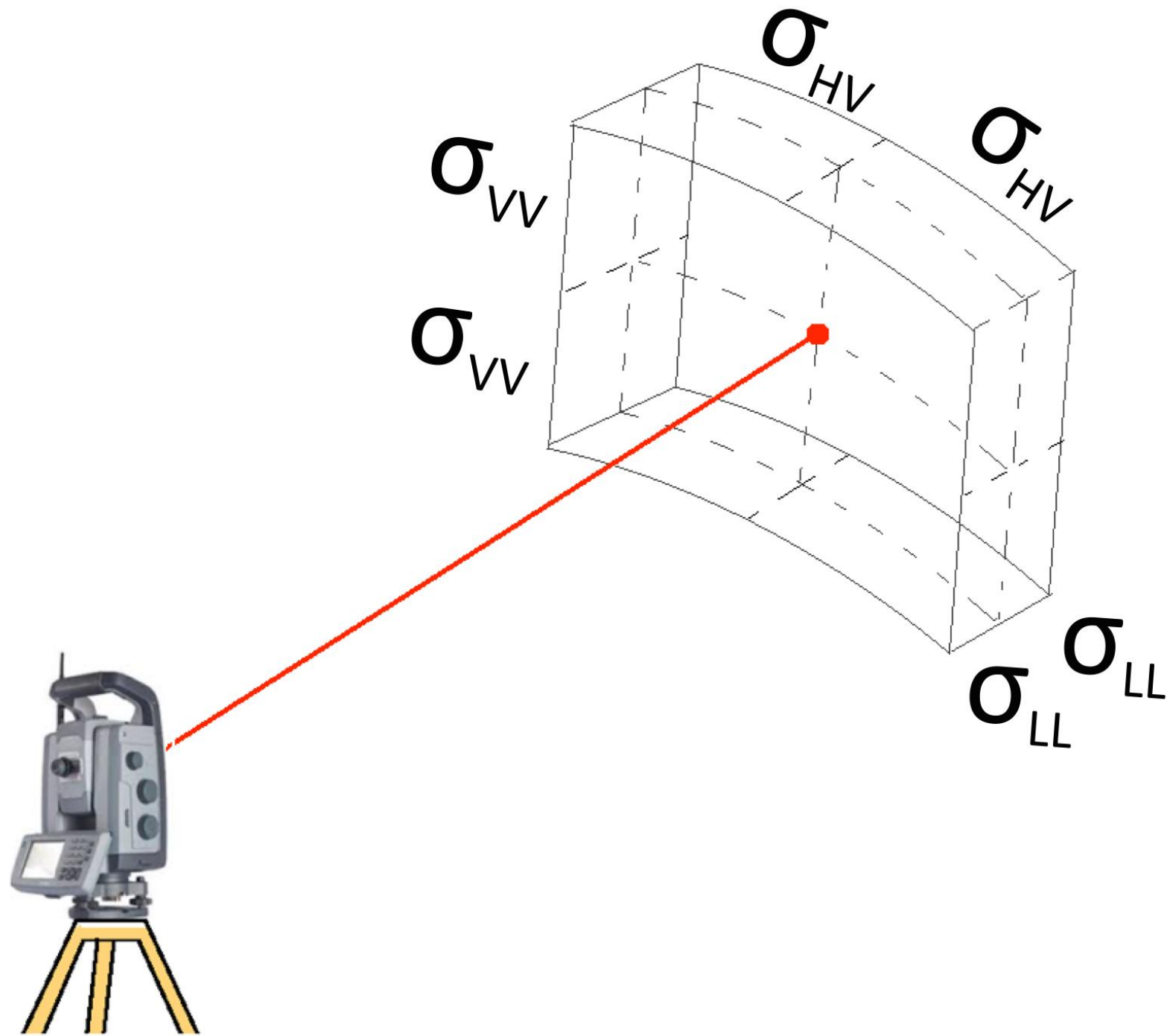
Observerbara data med totalstation

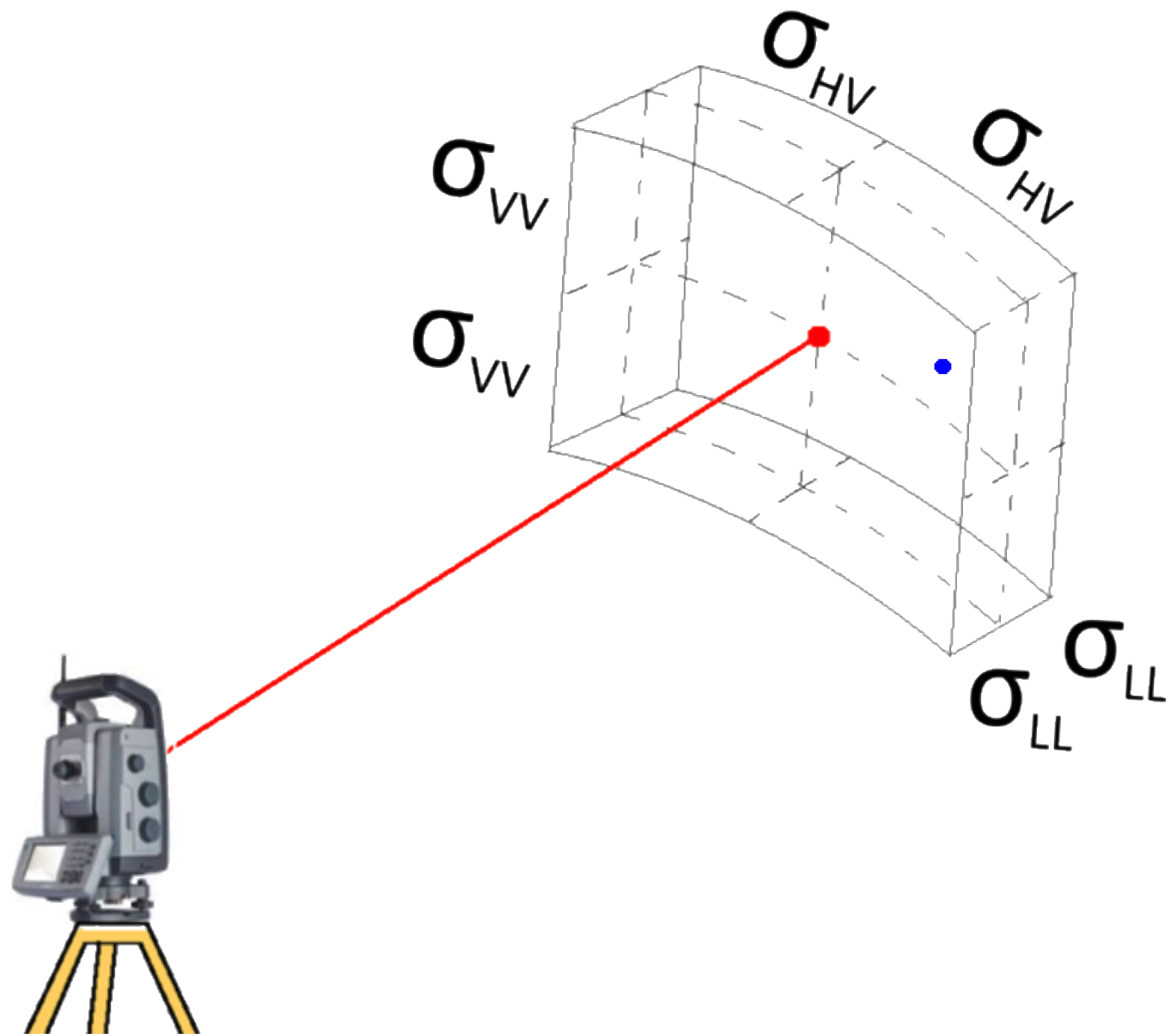
- Vertikalvinkel (VV)
- Horisontalvinkel (HV)
- Lutande längd (LL)

- Koordinater XYZ beräknas





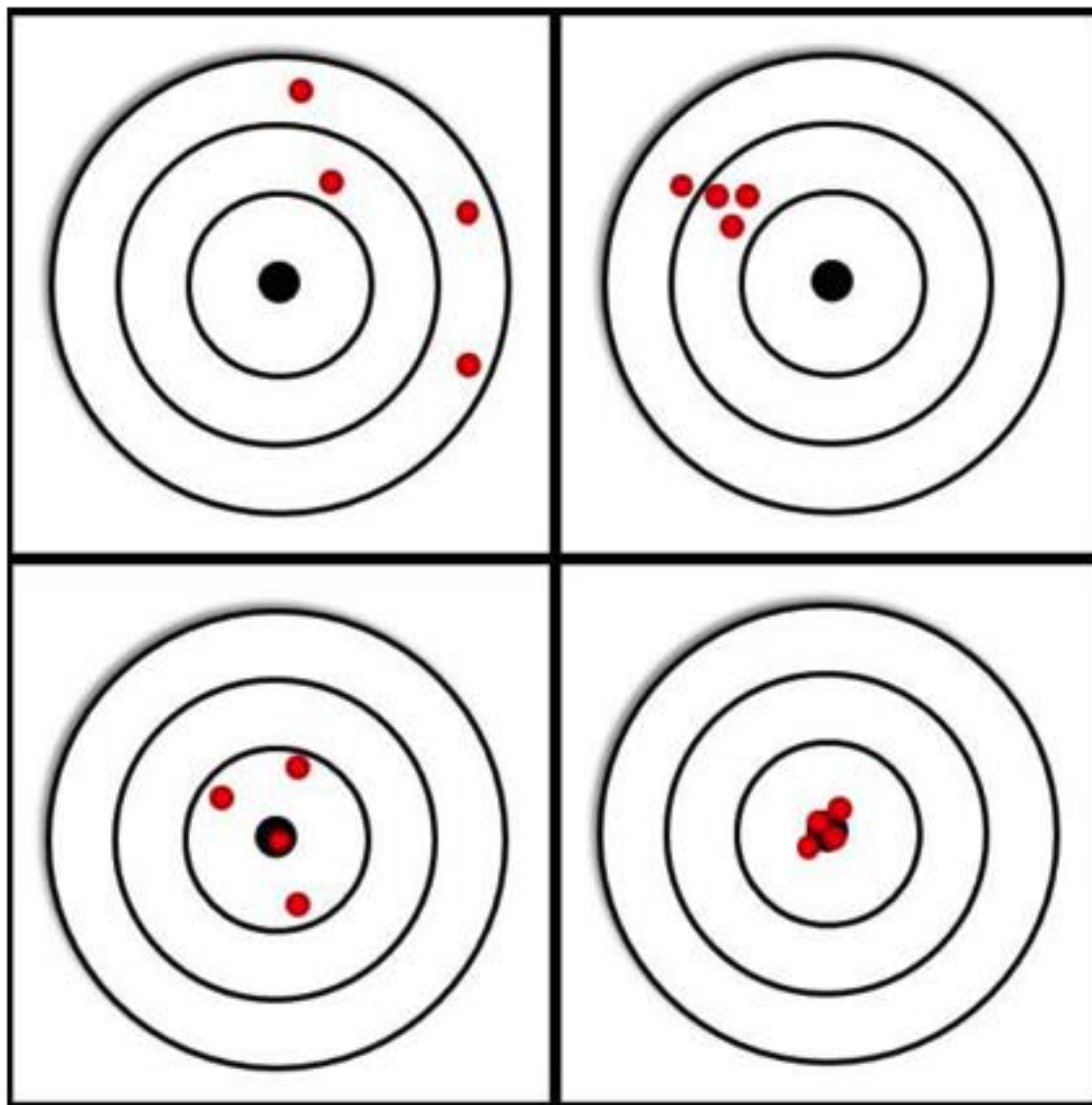




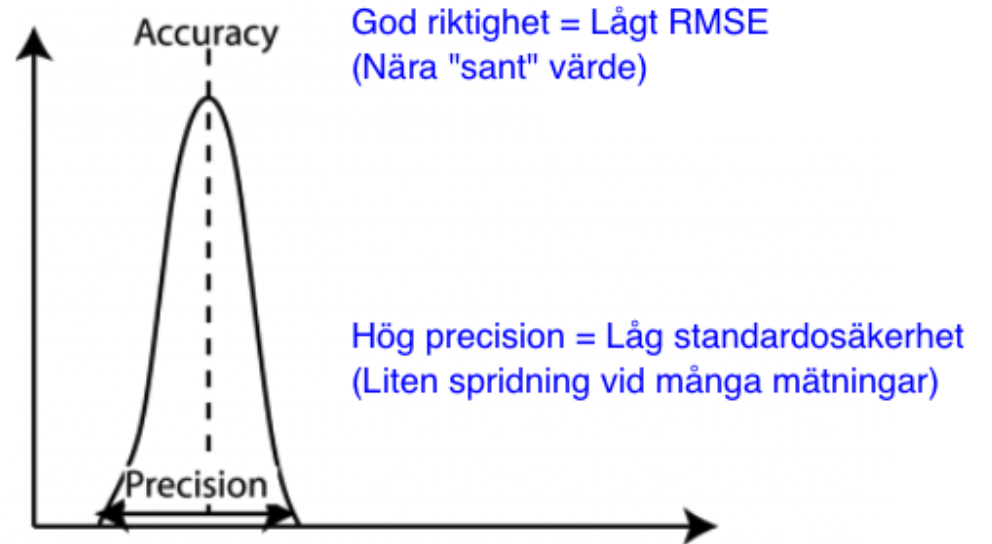
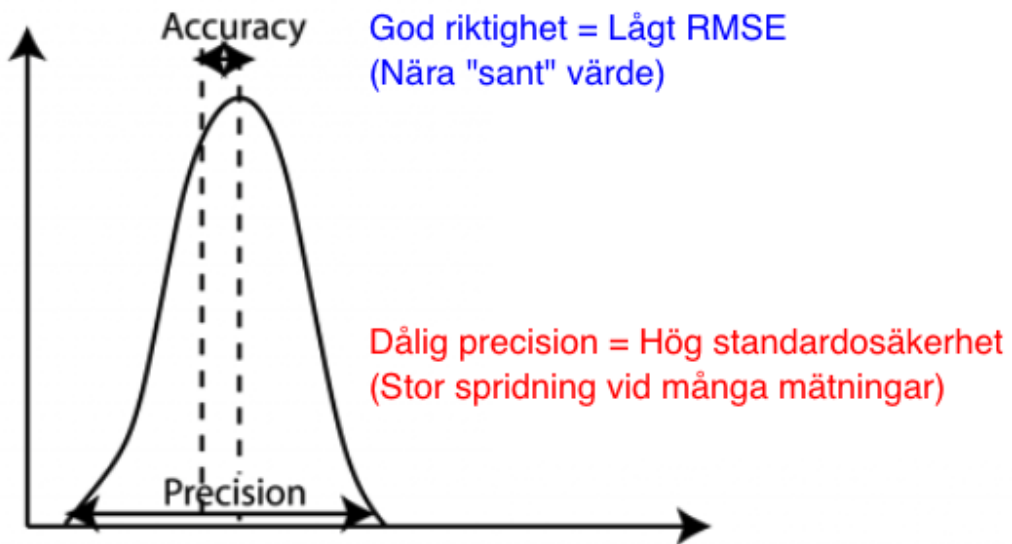
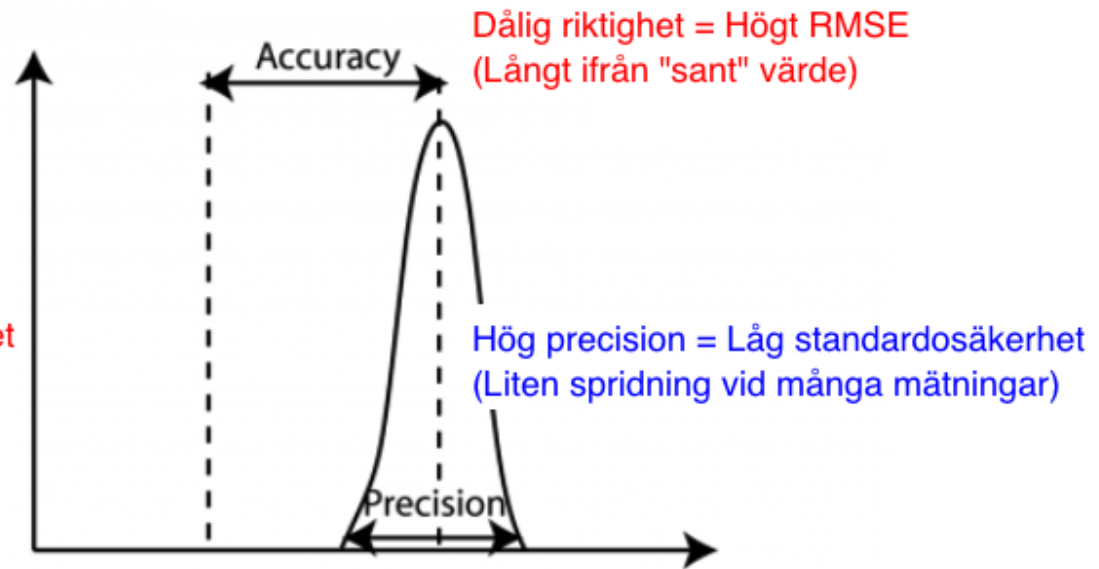
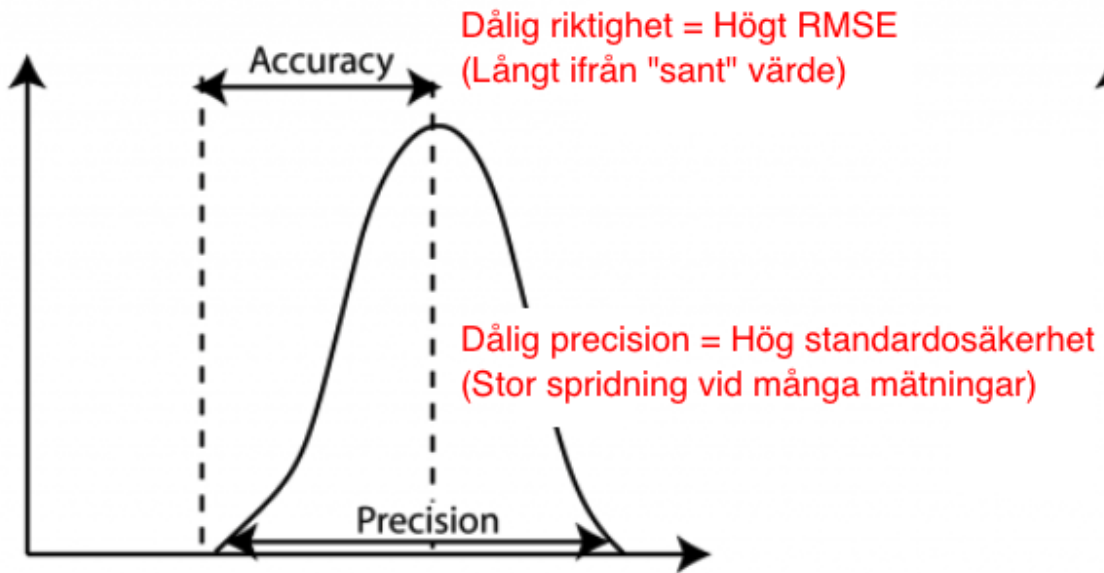
Dålig precision
Hög osäkerhet

Bra precision
Låg osäkerhet

Dålig riktighet
Högt RMSE



God riktighet
Lågt RMSE



Standardosäkerhet (bästa approximationen av standardavvikelsen, σ)

$$u(x) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left((\bar{x} - x_1)^2 + \dots + (\bar{x} - x_n)^2 \right)}$$

Root Mean Square Error - RMSE

$$x_{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \left((x_{true} - x_1)^2 + \dots + (x_{true} - x_n)^2 \right)}$$

A Priori
Förväntad
mätosäkerhet
hos
totalstationen

ANGLE MEASUREMENT

Accuracy (Standard deviation based on DIN 18723)	.....2" (0.6 mgon)
Automatic level compensator	
Type	.....Centered dual-axis
Setting accuracy	.....0.5" (0.15 mgon)
Range	.....± 5.4' (±100 mgon)

DISTANCE MEASUREMENT


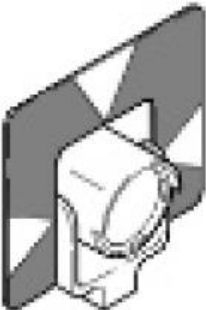
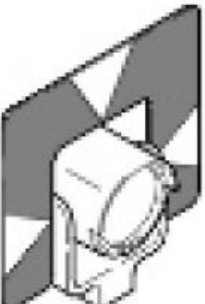



Accuracy (RMSE)	
Prism mode	
Standard	.....2 mm + 2 ppm ± (0.0065 ft + 2 ppm)
Standard deviation according to ISO17123-4	.....1 mm + 2 ppm ± (0.003 ft + 2 ppm)
Tracking	.....4 mm + 2 ppm ± (0.013 ft + 2 ppm)
DR mode	
Standard measurement	.....2 mm + 2 ppm ± (0.0065 ft + 2 ppm)
Tracking	.....4 mm + 2 ppm ± (0.013 ft + 2 ppm)
Range (under standard clear conditions)	
Prism mode	
1 prism	.....2500 m (8,202 ft)
1 prism Long Range mode	.....5500 m (18,044 ft)
Shortest range	.....0.2 m (0.65 ft)
DR mode (typically)	
Kodak Gray Card (18% reflective)	.....600 m (1,969 ft)
Kodak Gray Card (90% reflective)	.....1300 m (4,265 ft)
Shortest range	.....1 m (3.28 ft)

Full specifications of this instrument are available in the Datasheet, it could be downloaded from www.trimble.com

Figure 1: Trimble S8 TS Certificate.

A Priori

Förväntad centrerings-osäkerhet hos prismor

Model:	GPH1P	GPR121	GPR1+GPH1	Mini GMP101	GRZ122	GMP111
Image:						
Material:	Metal	Metal	Plastic	Metal	Metal	Metal
Centring Accuracy:	0,3 mm	1,0 mm	2,0 mm	1,0 mm	2,0 mm	2,0 mm
Reflector Constant	0	0	0	+17,5mm	+23,1 mm	+30 mm

Testmätningar

- Med totalstationens autolock-funktion
- Mot fem stycken runda prismor
- Mot två stycken Trimble 360-prismor
- Mot två stycken Leica 360-prismor



Maximalt vänster

LL

Left-Left



Vänster

L



Centrerad

C



Höger

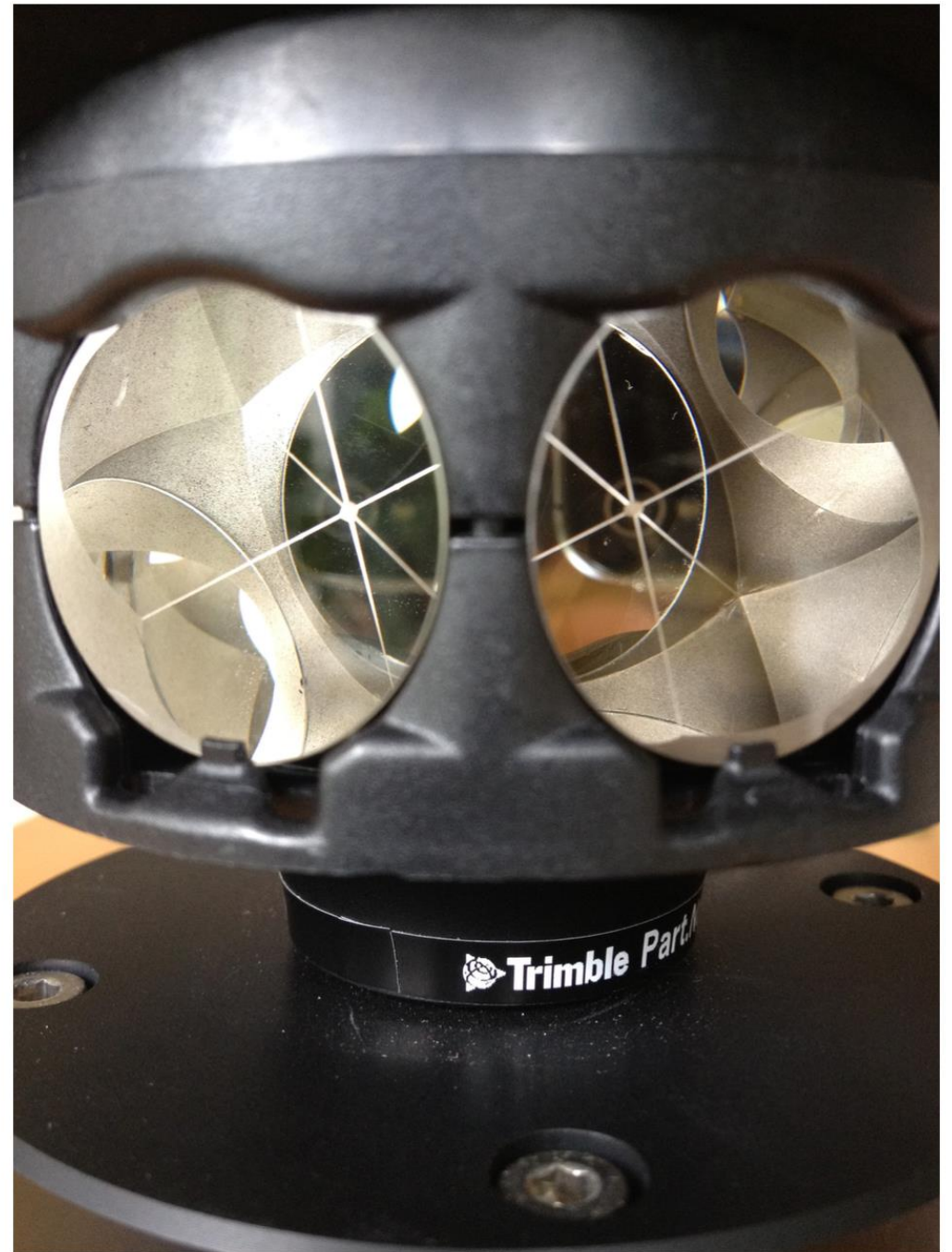
R



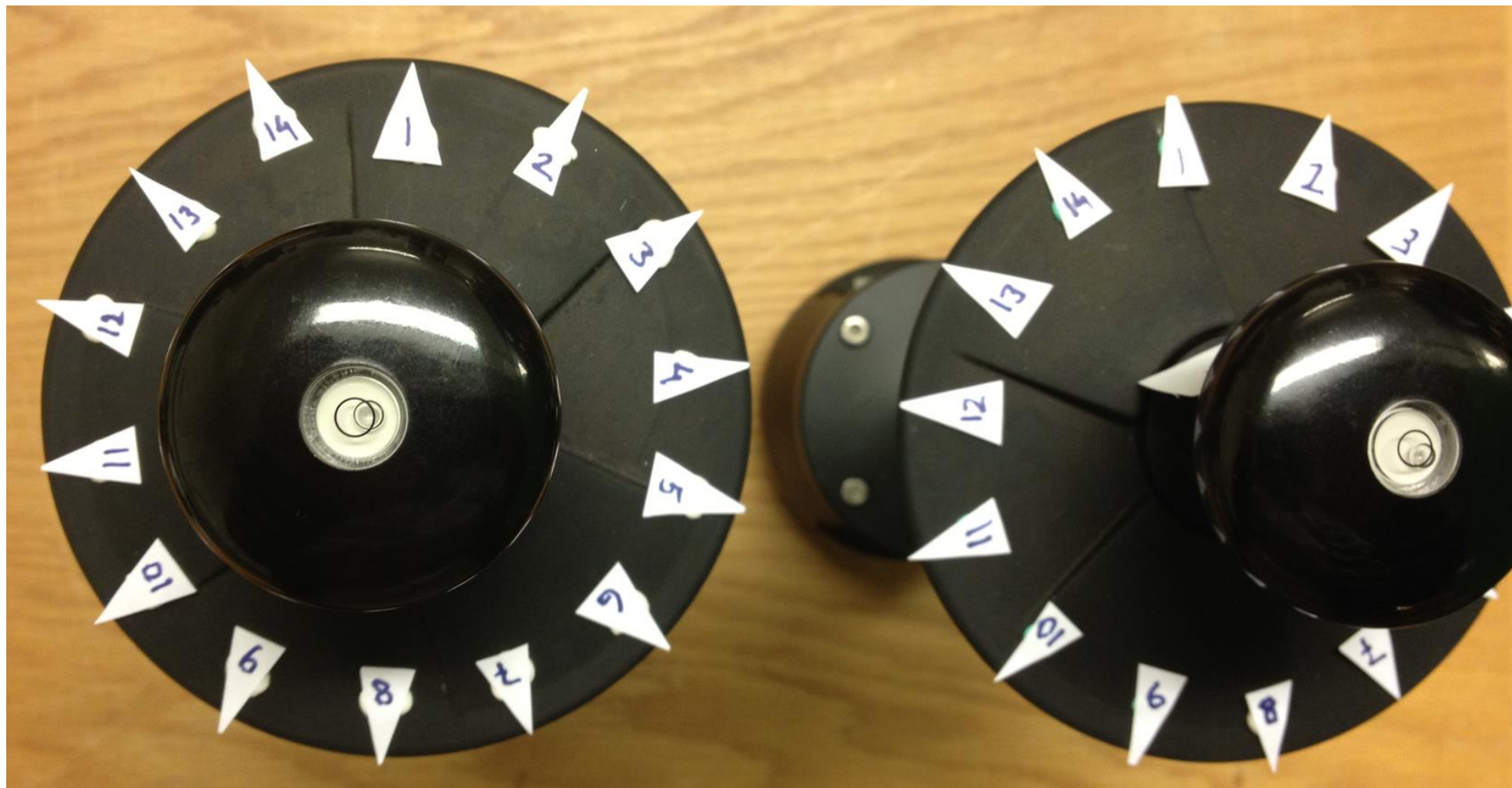
Maximalt höger

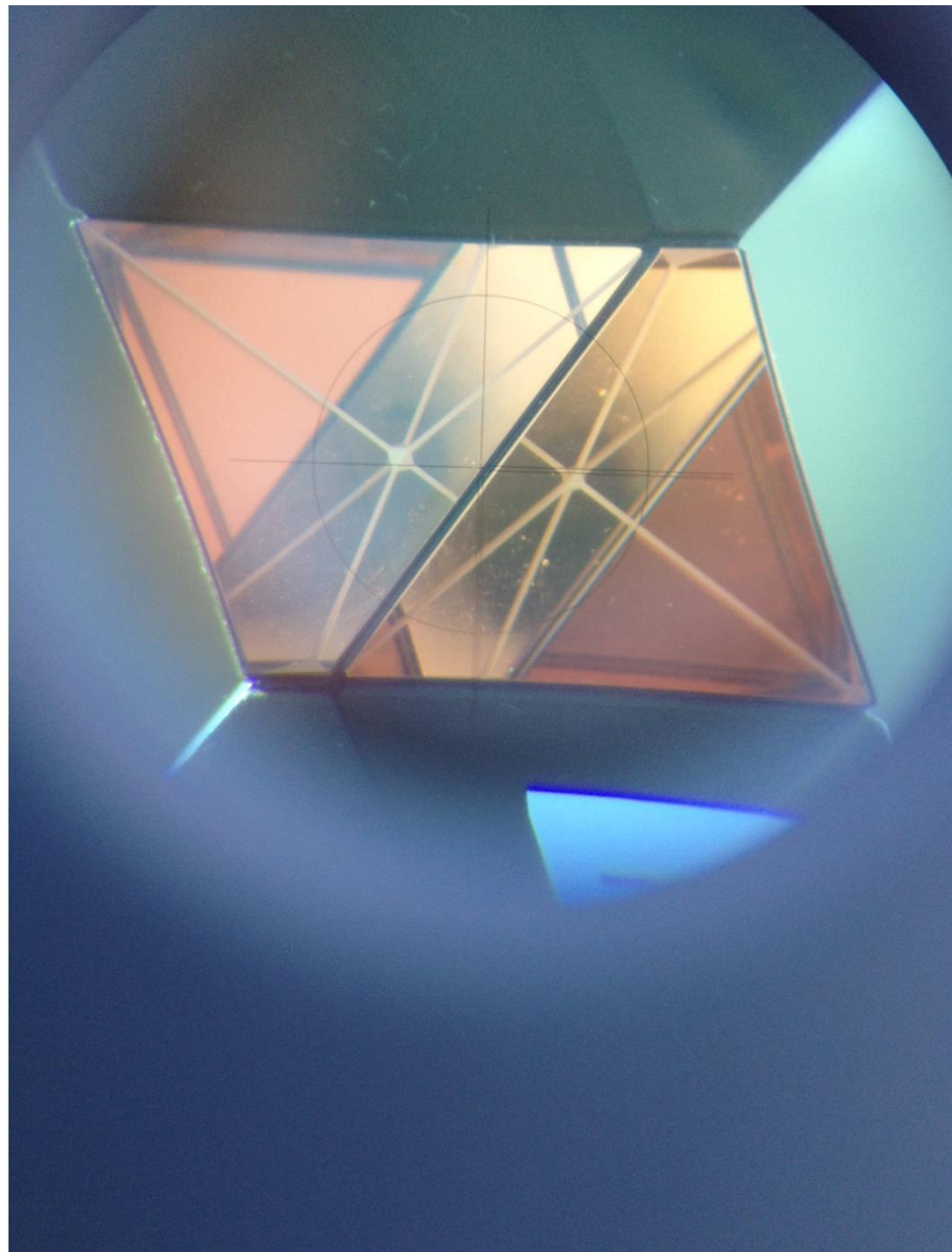
RR

Right-Right



14 positioner – 7 prismor och 7 mellanrum





12 positioner - 6 fasetter och 6 kanter



Mätexperimentet

Taket på
Lantmäteriet i
Gävle.

Pelare med kända
koordinater som
kan användas för
beräkning av
RMSE.



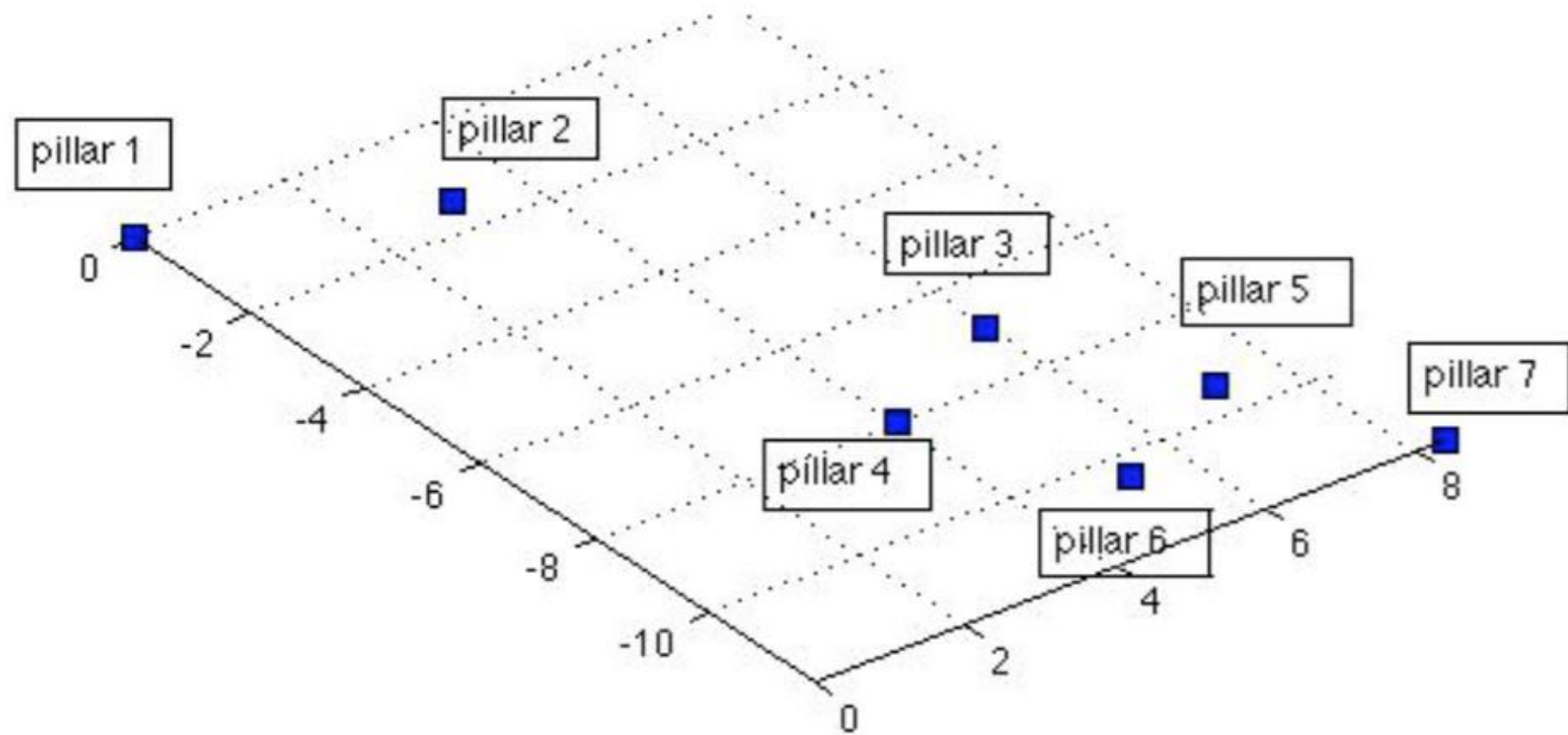


Figure 7: The distribution of pillars on the test site. The TS was set up on pillar 6 in the circular prism-test and on pillar 4 in the 360-degree prism-test.

Mot runda prismor med autolock

Mot runda prismor med autolock

- Alla prismor vinklades till en av positionerna (först C)

Mot runda prismor med autolock

- Alla prismor vinklades till en av positionerna (först C)
- 1 mätning i taget, sedan förflyttning till nästa prisma.

Mot runda prismor med autolock

- Alla prismor vinklades till en av positionerna (först C)
- 1 mätning i taget, sedan förflyttning till nästa prisma.
- Först cirkelläge 1 mot alla prismor, sedan börja om med cirkelläge 2.

Mot runda prismor med autolock

- Alla prismor vinklades till en av positionerna (först C)
- 1 mätning i taget, sedan förflyttning till nästa prisma.
- Först cirkelläge 1 mot alla prismor, sedan börja om med cirkelläge 2.
- 30 mätningar i varje cirkelläge

Mot runda prismor med autolock

- Alla prismor vinklades till en av positionerna (först C)
- 1 mätning i taget, sedan förflyttning till nästa prisma.
- Först cirkelläge 1 mot alla prismor, sedan börja om med cirkelläge 2.
- 30 mätningar i varje cirkelläge
- Totalt 60 mätningar mot varje prisma i varje position.

Mot runda prismor med autolock

- Alla prismor vinklades till en av positionerna (först C)
- 1 mätning i taget, sedan förflyttning till nästa prisma.
- Först cirkelläge 1 mot alla prismor, sedan börja om med cirkelläge 2.
- 30 mätningar i varje cirkelläge
- Totalt 60 mätningar mot varje prisma i varje position.
- Fem prismor, fem olika vinklade lägen

Mot runda prismor med autolock

- Alla prismor vinklades till en av positionerna (först C)
- 1 mätning i taget, sedan förflyttning till nästa prisma.
- Först cirkelläge 1 mot alla prismor, sedan börja om med cirkelläge 2.
- 30 mätningar i varje cirkelläge
- Totalt 60 mätningar mot varje prisma i varje position.
- Fem prismor, fem olika vinklade lägen
- 1500 mätningar

Mot 360-prismor med autolock

Mot 360-prismor med autolock

- Varje märkt position riktades mot totalstationen



Mot 360-prismor med autolock

- Varje märkt position riktades mot totalstationen
- 1 mätning i taget, sedan förflyttning till nästa prisma.

Mot 360-prismor med autolock

- Varje märkt position riktades mot totalstationen
- 1 mätning i taget, sedan förflyttning till nästa prisma.
- Först cirkelläge 1 mot alla prismor, sedan börja om med cirkelläge 2.

Mot 360-prismor med autolock

- Varje märkt position riktades mot totalstationen
- 1 mätning i taget, sedan förflyttning till nästa prisma.
- Först cirkelläge 1 mot alla prismor, sedan börja om med cirkelläge 2.
- 21 mätningar i varje cirkelläge

Mot 360-prismor med autolock

- Varje märkt position riktades mot totalstationen
- 1 mätning i taget, sedan förflyttning till nästa prisma.
- Först cirkelläge 1 mot alla prismor, sedan börja om med cirkelläge 2.
- 21 mätningar i varje cirkelläge
- 42 mätningar mot varje position

Mot 360-prismor med autolock

- Varje märkt position riktades mot totalstationen
- 1 mätning i taget, sedan förflyttning till nästa prisma.
- Först cirkelläge 1 mot alla prismor, sedan börja om med cirkelläge 2.
- 21 mätningar i varje cirkelläge
- 42 mätningar mot varje position
- 14 positioner på två Trimbleprismor

Mot 360-prismor med autolock

- Varje märkt position riktades mot totalstationen
- 1 mätning i taget, sedan förflyttning till nästa prisma.
- Först cirkelläge 1 mot alla prismor, sedan börja om med cirkelläge 2.
- 21 mätningar i varje cirkelläge
- 42 mätningar mot varje position
- 14 positioner på två Trimbleprismor
- 12 positioner på två Leicaprismer

Mot 360-prismor med autolock

- Varje märkt position riktades mot totalstationen
- 1 mätning i taget, sedan förflyttning till nästa prisma.
- Först cirkelläge 1 mot alla prismor, sedan börja om med cirkelläge 2.
- 21 mätningar i varje cirkelläge
- 42 mätningar mot varje position
- 14 positioner på två Trimbleprismor
- 12 positioner på två Leicaprismer
- 1092 mätningar (varav 42 felaktiga)

Längre avstånd

- Ca 25 meter
- Ca 50 meter
- Ca 75 meter
- Ca 100 meter

LL L C R RR



Resultat – ett urval

- Runda prismor

- Lutande längd
 - Precision
 - Riktighet
- Horisontalvinkel
 - Precision
 - **Riktighet**
- Vertikalvinkel
 - **Precision**
 - Riktighet

- 360 prismor

- Lutande längd
 - Precision
 - **Riktighet**
- Horisontalvinkel
 - Precision
 - Riktighet
- Vertikalvinkel
 - Precision
 - Riktighet

Resultat: Horisontalvinkel

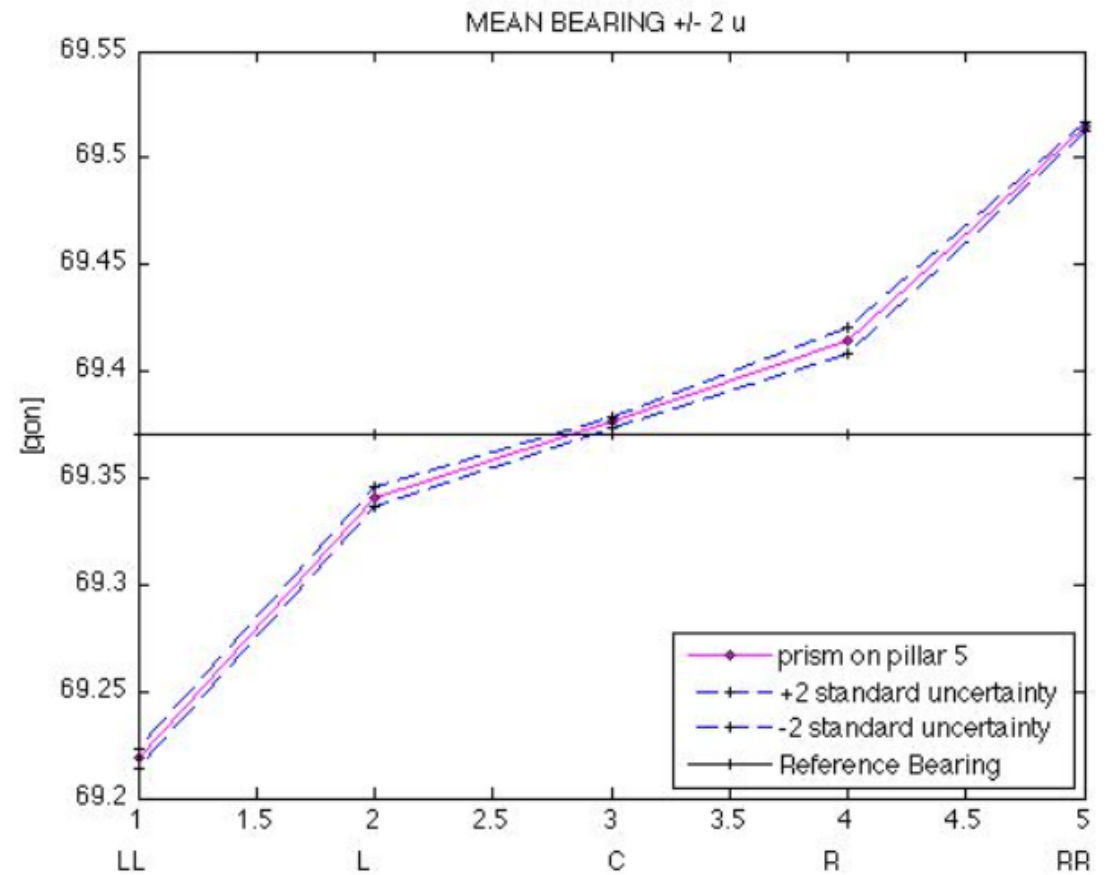
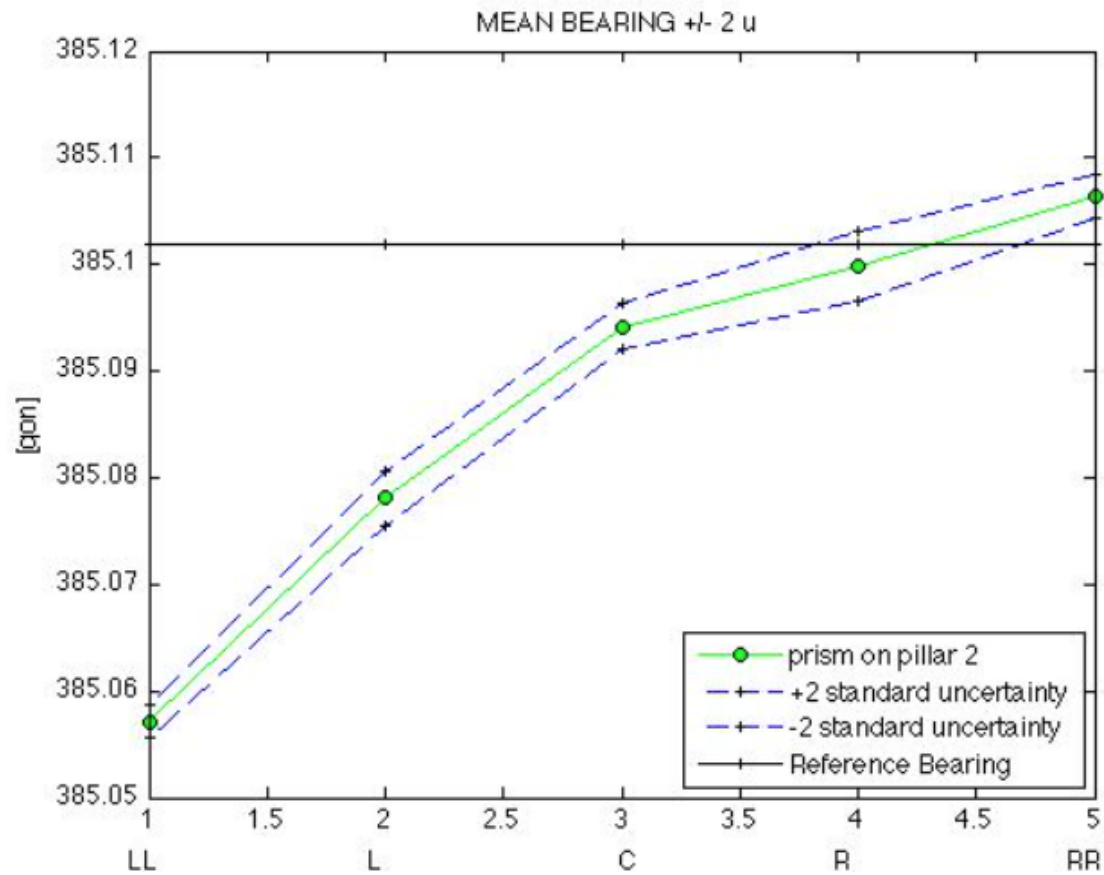


Figure 10: The drift of the bearing from LL position to RR position.

Resultat:

Horisontalvinkel

footprint av
0.049 gon
på
9.194 m
är ca 7 mm

footprint av
0.296 gon
på
2.147 m
är ca 10 mm

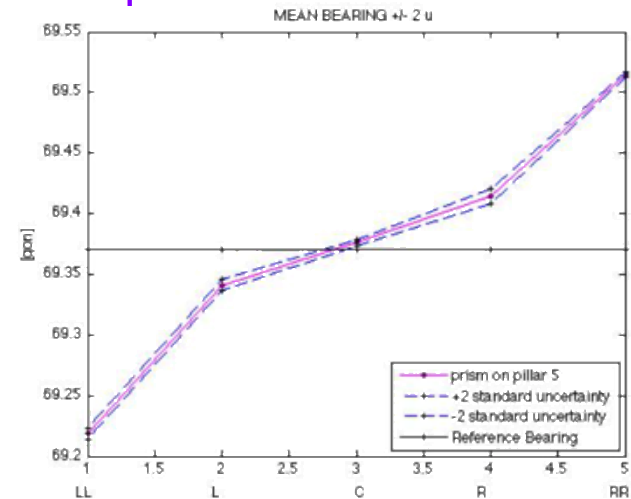
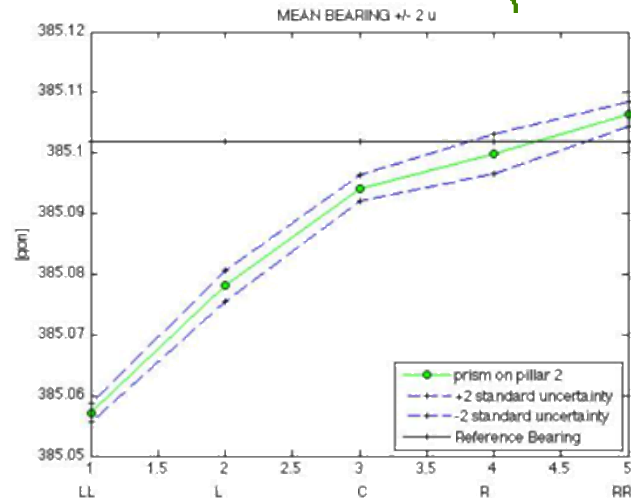


Figure 10: The drift of the bearing from LL position to RR position.

Resultat: Horisontalvinkel



Table 3: The sideways footprint of the HA drift from LL to RR positions.

Distance [m]	Drift in HA from LL to RR [mgon]	Sideway footprint [mm]
26.51	27.5	11.4
53.53	13.9	11.7
77.04	9.4	11.3
102.53	6.1	9.8

Resultat – ett urval

- Runda prismor

- Lutande längd
 - Precision
 - Riktighet
- Horisontalvinkel
 - Precision
 - **Riktighet**
- Vertikalvinkel
 - **Precision**
 - Riktighet

- 360 prismor

- Lutande längd
 - Precision
 - **Riktighet**
- Horisontalvinkel
 - Precision
 - Riktighet
- Vertikalvinkel
 - Precision
 - Riktighet

Resultat:

Vertikalvinkel

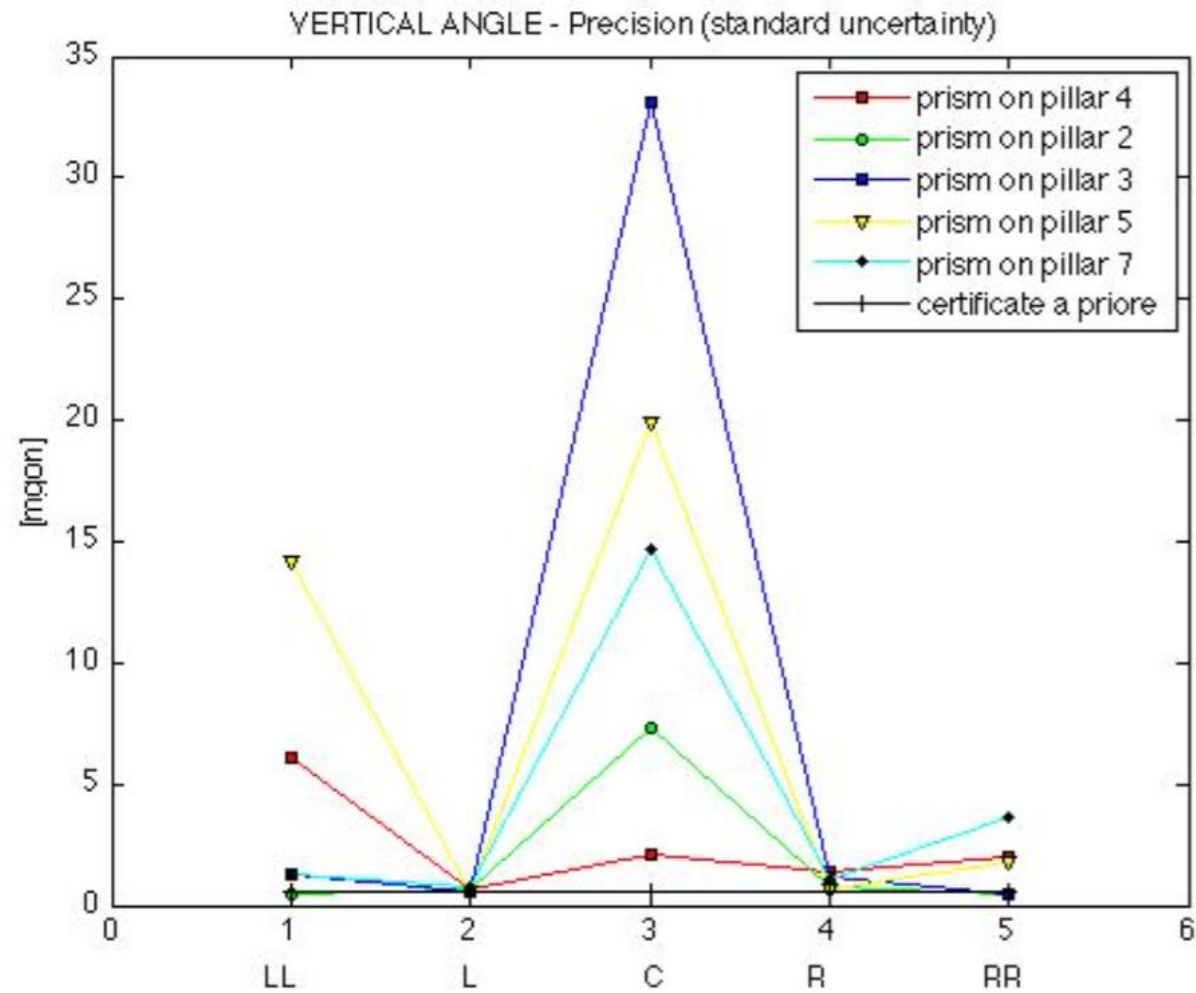
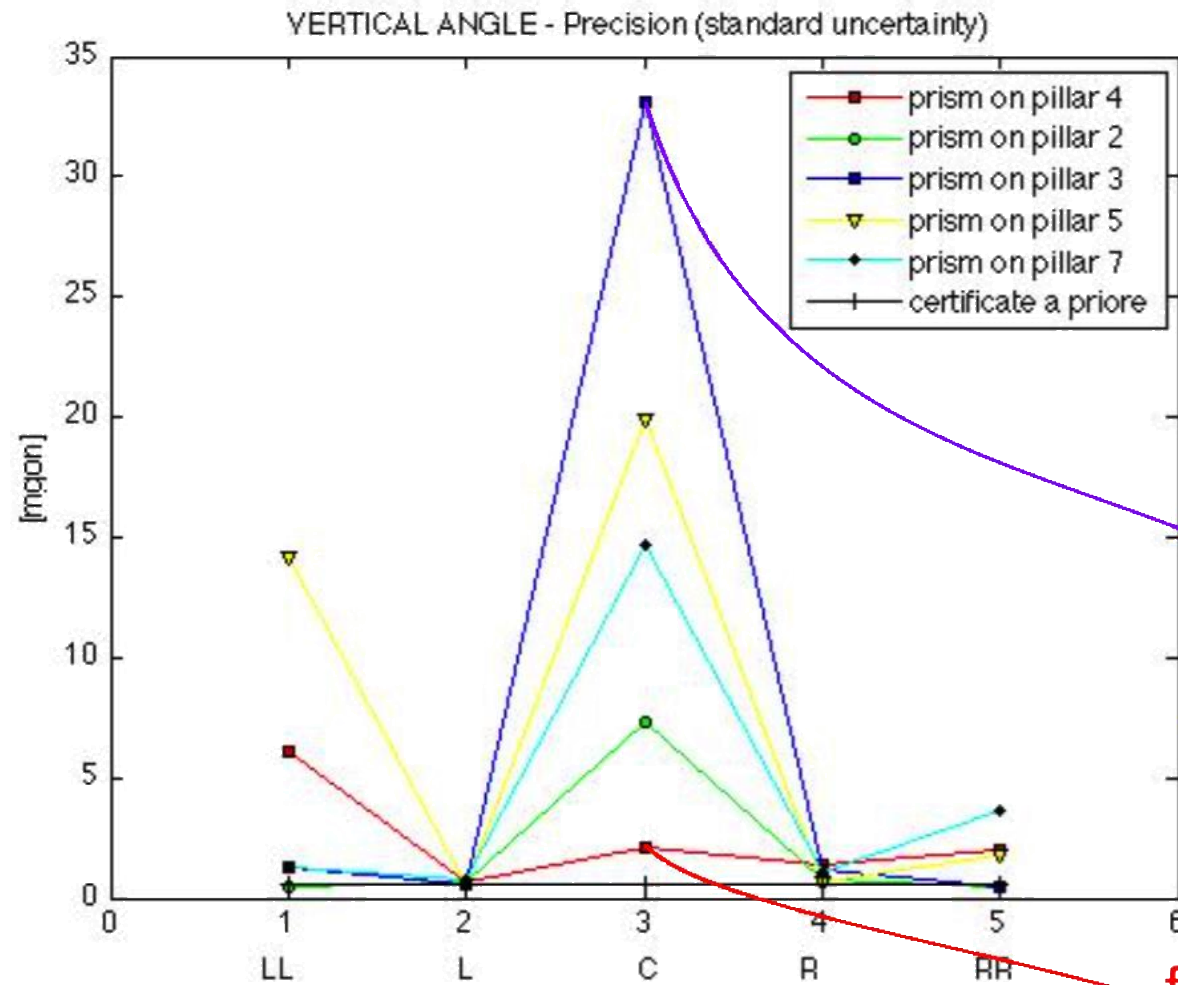


Figure 35: VA - Precision (standard uncertainty for each measurement).

Resultat:

Vertikalvinkel



footprint 1.8 mm

footprint 0.09 mm

Figure 35: VA - Precision (standard uncertainty for each measurement).

Resultat – ett urval

- Runda prismor

- Lutande längd
 - Precision
 - Riktighet
- Horisontalvinkel
 - Precision
 - **Riktighet**
- Vertikalvinkel
 - **Precision**
 - Riktighet

- 360 prismor

- Lutande längd
 - Precision
 - **Riktighet**
- Horisontalvinkel
 - Precision
 - Riktighet
- Vertikalvinkel
 - Precision
 - Riktighet

Resultat: 360-prismorna – lutande längd

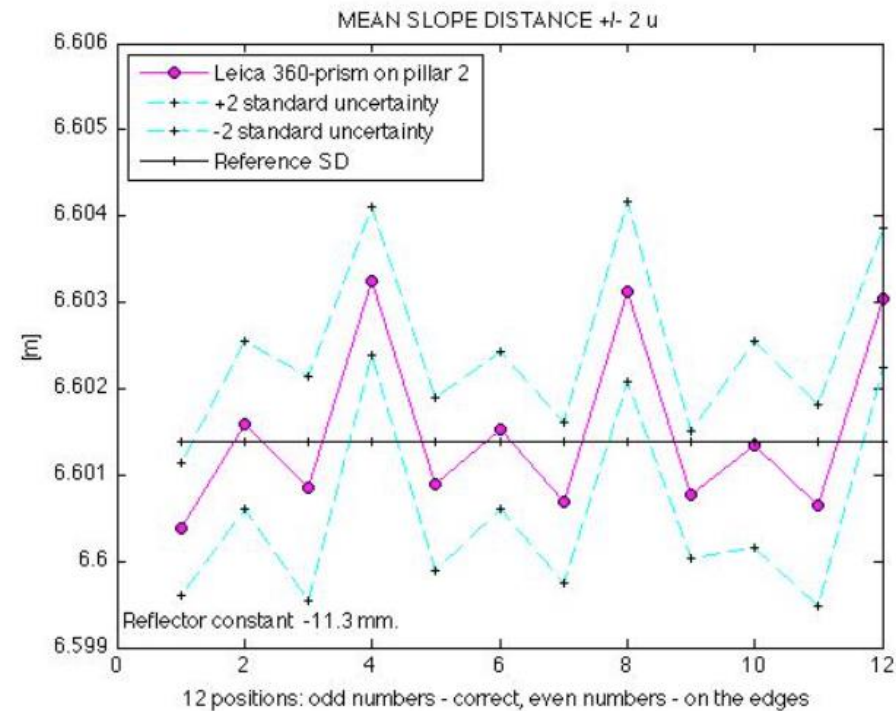
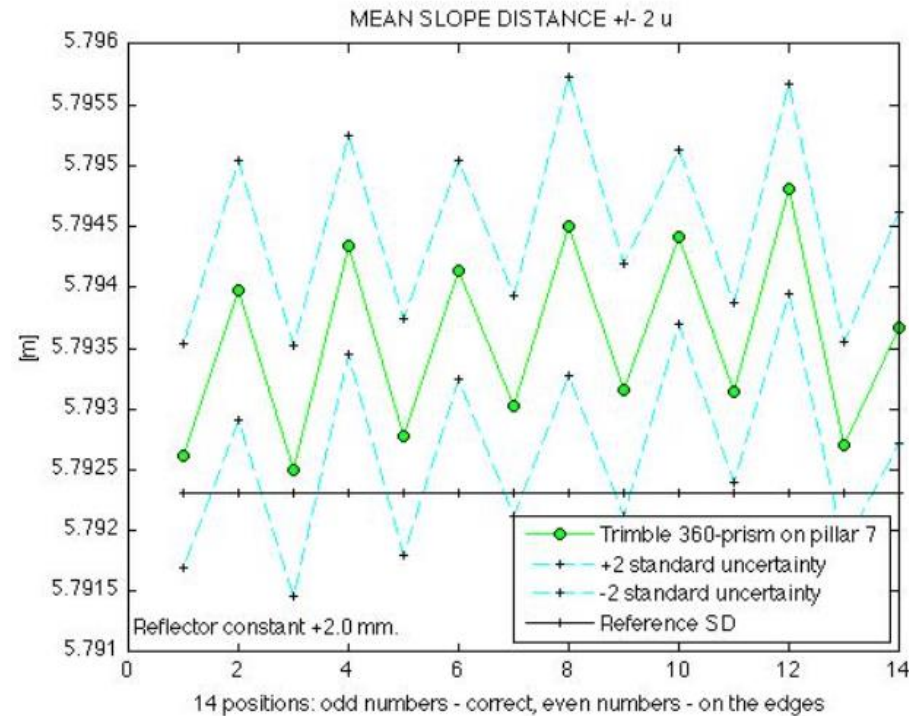


Figure 13: SD measurements towards 360-degree prisms, left: Trimble; right: Leica.

Resultat – ett urval

Fler resultat finns här:

<http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A727374&dswid=2436>

Diskussion

- Medvetenhet om att totalstationen och prisma är ett system, tillsammans med
 - Stativ och trefötter och dess kvalitet
 - Markens svikt
 - Luftens temperatur och tryck
 - Direkt solsken
 - Mätoperatörens tålamod
- Totalstationens förmåga att repetera mätningar med hög precision förtas om prisma inte har förmågan att leverera tillbaka laserpulsen med samma repeterbarhet.



