



Lantmäteriet
Lantmäteriverket - National Land Survey
S - 801 12 GÄVLE · SWEDEN

Tekniska skrifter - Professional Papers

LMV-RAPPORT 1985:4

ISSN 0280-5731

Undersökning av **ELEKTRONISKA TAKYMETRAR**

av

Ingmar Peterson

Gävle 1985



Lantmäteriet

Samhällsmättnings-
funktionen vid LMV

RAPPORT

Datum

1985-03-25

Rapport nr

1985:4

Titel

UNDERSÖKNING AV ELEKTRONISKA TAKYMETRAR

Huvudinnehåll

Den geometriska noggrannheten hos några elektroniska takymetrar har undersökts. Speciell uppmärksamhet har därvid ägnats åt vinkelmätningssdelen som är det nya på denna typ av instrument. De använda metoderna och resultaten redovisas i rapporten.

Ingmar Peterson

KG - Geodetiska Ut-
vecklingsenheten

Utarbetande av tekniska rapporter ingår som ett led i den s k Samhällsmättningsfunktionens verksamhet. Tillkomsten av denna funktion är ett uttryck för en ökad satsning på utveckling rörande samhällsmätning vid LMV. Den utgörs av personal från de enheter som har sitt verksamhetsfält inom detta område, och har som sin huvudsakliga uppgift att samordna och befärma metodutveckling samt informera om metoder och instrument.

LDOK

Kg Mätningsteknik Mätutrustning

Beställs hos



Lantmäteriverket
Blankettförrådet
801 12 GÄVLE



Liber Förlag



UNDERSÖKNING AV ELEKTRONISKA TAKYMETRAR

- 1 Förord
- 2 Undersökningens mål
 - 2.1 Undersökta egenskaper
 - 2.2 Undersökta instrument
 - 2.3 Instrument och metoder för mätning med hög noggrannhet
 - 2.4 Fortsatta undersökningar
- 3 Beskrivning av metoder m m
 - 3.1 Vinkelmätning
 - 3.1.1 Fel hos kikaren
 - 3.1.1.1 Kollimationsfel
 - 3.1.1.2 Kikarens excentricitet och fokuseringsfel
 - 3.1.2 Fel hos axlar m m
 - 3.1.2.1 Horisontalaxelns lutning
 - 3.1.2.2 Skaldelningsfel
 - 3.1.2.3 Vinkelmättningsnoggrannhet
 - 3.2 Längdmätning
 - 3.2.1 Nollpunktskonstant
 - 3.2.2 Cykliska fel
 - 3.2.3 Pekfel
 - 3.2.4 Modulationsfrekvenser
 - 3.3 Beräkning
- 4 Resultat av undersökningen
 - 4.1 Vinkelmätning
 - 4.1.1 Kollimationsfel i horisontalled
 - 4.1.2 Kikarens excentricitet och fokuseringsfel
 - 4.1.3 Horisontalaxelns lutningsfel
 - 4.1.4 Horisontalcirkelns graderingsfel
 - 4.1.5 Vinkelmättningsnoggrannhet i horisontalled
 - 4.2 Längdmätning
 - 4.2.1 Cykliskt fel
 - 4.2.2 Pekfel
 - 4.2.3 Frekvensfel
- 5 Fortsatta arbeten

UNDERSÖKNING AV ELEKTRONISKA TAKYMETRAR

1 FÖRORD

Under senare tid har ett antal elektroniska takymetrar, även kallade totalstationer, kommit ut på den svenska marknaden. Längdmätningssdelen är mycket lik tidigare befintliga EDM-instrument, i vissa fall identisk med dessa. LMV har undersökt den geometriska noggrannheten hos några instrument och försökt att i möjligaste mån bestämma de olika instrumentfelen. Speciell uppmärksamhet har därvid ägnats vinkelmätningssdelen som är det nya på denna typ av instrument.

Beträffande nyheter har de firmor som marknadsför respektive fabrikat välvilligt ställt instrument till förfogande för undersökningen.

2 UNDERSÖKNINGENS MÅL

Arbetet har haft två mål, dels att finna lämpliga metoder för att få vederhäftiga resultat och dels att testa de aktuella instrumenten. Som en allmän slutsats beträffande metoder kan sägas att största omsorg måste läggas ned på testutrustningens kvalitet och på utnyttjade basers och normalers godhet. Den gällande tumregeln att normaler m m skall vara en tiopotens bättre än det som skall undersökas är i praktiken mycket svårt att uppfylla. De utförda undersökningarna täcker dock de behov som finns för kontroll och utvärdering på teoretisk grund av instrument för lantmäteriets behov. Ytterligare utveckling och utrustning krävs för att få ännu bättre förhållanden, från enkla saker som anordnande av god belysning till stora anläggningar som mätbaser på ca 1 km längd med mm-noggrannhet. En viktig om än ganska trivial sak är tillgång till instrument att testa och tid för att utföra arbetet. Helst bör också flera instrument av samma typ undersökas.

Två andra viktiga saker förtjänar att beröras i detta sammanhang. Den här redovisade undersökningen omfattar endast en noggrannhetskontroll av instrumenten under goda förhållanden. För att kunna göra en fullständig bedömning krävs också prov i fält under riktiga mätförhållanden där instrumentets praktiska handhavande kan provas. Vid utjämning av ett stort nät, mätt under normala fältförhållanden, kan större värden på medelfel i riktning och längd förväntas än i de här genomförda undersökningarna. Det är också önskvärt att kontrollera instrumenten efter några års användning för att se om noggrannheten har bibehållits eller försämrats.

En sak som inte alls har undersökts i detta sammanhang är möjligheten till automatisk registrering av data och deras vidare behandling.

Elektroniska takymetrar, även kallade totalstationer, kan finnas i olika utföranden. Vissa fabriker har både vinkel- och längdmätningarna sammanbyggda i ett instrument där längdmätningen sker genom teodolitkikarens objektiv. I andra fall förekommer en elektronisk teodolit på vilken kan monteras ett EDM-instrument. Båda varianterna har här benämnts elektroniska takymetrar.

2.1 Följande egenskaper har undersökts:

Vinkelmätning

Fel hos kikaren
 Kollimationsfel
 Kikarens (kollimations)-axelns excentricitet
 och fokuseringsfelet

Fel hos axlar m m
 Horisontalaxelns lutning
 Skaldelningsfel
 Vinkelmättningsnoggrannhet

Längdmätning

Nollpunktsfel
 Cykliskt fel
 Pekfel
 Frekvensfel

2.2 Undersökta instrument

Tillverkare	Typ	Nummer
Geotronics (AGA)	Geodimeter 136	34003
"	Geodimeter 140	32428
Wild	Theomat T 2000	293559 (293675)
"	Tachymat TC 1	1401
"	T 2	128666
Kern	E 1	307939
"	DM 502	283642
Alpha Electronics	OMNI 1	7226
Topcon	ET-1	F 30230

2.3 Instrument och metoder för mätning med hög noggrannhet

De i denna rapport redovisade undersökningarna gäller normala lantmäteriinstrument avsedda för vanliga mätningar. I vissa fall krävs större noggrannhet. Man kan då genom att anordna mätning-

arna på vissa sätt öka noggrannheten hos de vanliga instrumenten eller använda specialutrustning.

Bland de möjligheter som finns att öka noggrannheten är att göra alla justeringar av instrumentet extra noggrant och i direkt anslutning till den aktuella mätningen. Man skall även mäta vinklar i båda cirkellägena och i fler satser än normalt. Om konstanter av den typ som bestäms i denna undersökning skall användas för att korrigera precisionsmätningar måste bättre bestämningar göras, framför allt genom att öka antalet observationer i konstantbestämningen.

2.4 Fortsatta undersökningar

LMV kommer att fortsätta att testa nya instrument ungefär på samma sätt som i denna rapport efter hand som instrument kan ställas till förfogande. Det är även önskvärt att få tillgång till instrument som varit använda under lång tid för att kunna upptäcka eventuella förslitningsskador.

Dessutom kommer det att fr o m hösten 1985 erbjudas möjligheter till en ännu bättre kontroll av både längd- och vinkelmätningfunktionerna. Då har nämligen ett provfält färdigställts vid Gävle-Sandvikens flygfält i Rörberg. Fem betongpelare har gjutits där och ett antal rör kommer att slås ned och mätas in med extremt hög noggrannhet. Där skall man alltså kunna mäta väl kända avstånd på upp till 2 km och likaså väl kända vinklar mot objekt på 600 - 1300 m avstånd. Genom mätpelarnas konstruktion skall alla centre-rings- och lodningsfel vara eliminerade.

3 BESKRIVNING AV METODER M M VID TESTERNA

3.1 Vinkelmätning

I en teodolit finns ett antal axlar, optiska och mekaniska. Vissa av dessa axlar skall vara vinkelräta mot varandra, andra parallella. Vissa skall också skära varandra i en punkt. I praktiken äger detta aldrig rum helt exakt utan ett antal sk instrumentfel uppstår. För en närmare redogörelse för dessa hänvisas till en lämplig lärobok i instrumentkunskap. Vid undersökningarna som redovisas i denna rapport har huvudsakligen Fritz Deumlich's bok "Instrumentenkunde" legat till grund, men även Arne Bjerhammars bok "Geodesi" har använts.

Även de elektroniska teodoliterna är behäftade med de klassiska instrumentfelen som beror på

att de olika axlarna i instrumentet inte har perfekta lägen. I en del fall kan dock vissa fel uppmätas och sedan automatiskt elimineras, detta gäller framför allt kollimationsfelet. I andra fall kan teodoliten genom inbyggda sensorer känna av vissa övriga fels storlek och korrigera mätningarna. Den avläsning som man då får är inte ett "rent" värde utan mer eller mindre korrigerat. Detta kan medföra vissa svårigheter vid testmätningar.

En fullständig och noggrann undersökning av ett instrument tar mycket lång tid i anspråk. I de följande undersökningarna har därför förenklade metoder använts med avsikt att få en hygglig uppskattning av den geometriska kvaliteten hos instrumentet. Testen har huvudsakligen företagits i laboratoriemiljö eller på provfält varför det praktiska handhavandet i fält inte kan bedömas.

3.1.1 Fel hos kikaren

När man med en teodolit siktar mot ett objekt i horisontalplanet är avläsningen behäftad med följande fel som beror på kikaren:

- kollimationsfelet c som orsakas av att kikarens optiska axel inte är vinkelrät mot horisontalaxeln
- kikarens optiska axel ligger på avståndet e från vertikalaxeln
- kikarens optiska axel ändras när kikarens fokusering ändras

3.1.1.1 Kollimationsfel

På många elektroniska teodoliter kan kollimationsfelet bestämmas genom ett speciellt förfarande varefter följande avläsningar automatiskt korrigeras för detta fel. Det fel som bestäms i undersökningen är alltså ett restfel. Dess storlek beror på hur den ursprungliga bestämningen är gjord.

Kollimationsfelen bestäms samtidigt som kikarens excentricitet, se nästa stycke.

3.1.1.2 Kikarens excentricitet och fokuseringsfel

Bestämningen av dessa storheter och kollimationsfelen tillgår så att ett objekt på det kortaste avståndet där kikaren kan fokuseras inmäts i CV och CH. Därefter flyttas objektet stegvis bortåt och mätningen upprepas tills 50 m avstånd nåtts.

Skillnaden $\frac{CV - CH}{2} = v$ erhålles ur följande samband:

$$v = \frac{e}{S}\rho + c$$

e = kikarens excentricitet

c = kollimationsfelet

S = avståndet

$$\rho = 636620$$

Sätt $g = e\rho$

$$g + cS = vS$$

Mätningarna vid olika avstånd S ger ett antal ekvationer ur vilka de sökta storheterna kan beräknas medelst utjämning enligt minsta kvadratmetoden. Även om medelfelen blir av samma storleksordning som resultaten själva får man en uppfattning om eventuella felaktigheter hos instrumentet.

Det är svårt att separera kikarens excentricitetsfel från fokuseringsfelet. Det tal e som redovisas innehåller också fokuseringsfelet. Eftersom meningen med undersökningen inte är att noga bestämma de olika felkomponenterna kan den grova lösningen som erhålles ändå ge en god indikation om ett instruments kvalitet.

Metoden gör att kollimationsfelet c blir bättre bestämt med ett mycket mindre medelfel ur utjämningen än excentriciteten e .

3.1.2 Fel hos axlar m m

3.1.2.1 Horisontalaxelns lutning

Om horisontalaxeln lutar, dvs e_j är vinkelrät mot vertikalaxeln, kommer varje riktning som e_j ligger i horisontalplanet att vara behäftad med

ett fel som växer med höjden över (eller under) horisonten. Felet elimineras dock genom mätning i två cirkellägen.

Storleken av lutningsfelet bestäms hos LMV genom mätning på följande sätt. Två mm-skalar har fästs på en vägg på ett visst avstånd från en teodolits uppställningsplats. Sikterna mot de två tavlorna går ca 32 gon uppåt och lika mycket nedåt. Kikaren riktas först mot ett streck på den övre skalan och sedan mot den nedre där avläsning sker genom skattning av tiondels mm. Efter genomslag av teodoliten riktas ånyo mot samma streck på övre skalan och en ny avläsning görs på den undre. Den skillnad i avläsning som eventuellt erhålls utgör ett mått på horisontalaxelns lutning. Den uttrycks i mm och gäller enbart för en uppställning med samma avstånd och höjdvinklar. Felet har inte omräknats till vinkelmått.

Metoden är i första hand avsedd för justering av lutningsfelet, inte för att bestämma dess storlek. Om felet vid kontrollmätning understiger ett visst värde i mm anses instrumentet vara godkänt. Som exempel kan nämnas att Wild för en T 2:a med en liknande anordning har en gräns för felets storlek på 0,25 mm satts.

3.1.2.2 Skaldelningsfel

Skaldelningsfelen har bestämts enligt en av Wild angiven metod som finns beskriven i Deumlich: "Instrumentenkunde". Metoden ger med en liten arbetsinsats en god bild av cirkelns kvalitet. En noggrannare undersökning enligt t ex Heuvelinks metod är betydligt mer tidskrävande.

En vinkel om ca 40 gon mättes i laboratoriet mellan två kollimatorer. Efter det att vinkeln mätts vrids horisontalskalan eller om så erfordras hela teodoliten inklusive trefoten så att nästa vinkelmätning börjar på det skalstreck där den föregående slutar. Så fortsätts varvet runt. Efterson vinkeln har valts så att man efter ett visst antal satser ganska nära kommer tillbaka till utgångspunkten på cirkeln utgör medeltalet av satserna ett "sant" värde på vinkeln där skaldelningsfelen eliminerats. Felen vid de olika punkterna på skalan kan därefter bestämmas.

Metoden bygger på att alla andra fel är eliminerade så att enbart skaldelningsfelet återstår. Detta uppnår man genom att mäta mot kollimatorer (oändligt avlägsna objekt, ingen omfokusering) och i horisontalplanet.

Då skalorna på elektroniska teodoliter inte har någon nollpunkt i egentlig mening (man börjar att mäta från en godtycklig punkt på skalan) är faskonstanten i nedanstående ekvation utan intresse. En eventuell korrektion kan ej heller beräknas och läggas till i efterhand då man aldrig vet vid vilken punkt på cirkeln som mätningen har börjat. Amplituden är dock av intresse då den visar hur stort ett eventuellt fel kan vara.

Vid beräkningen antages skaldelningsfelet följa en sinusfunktion:

$$t = a + b \cdot \sin(\alpha + \beta)$$

$$t = \text{skaldelningsfel}$$

$$a = \text{konstant}$$

$$b = \text{amplitud}$$

$$\alpha = \text{avläsning på skalan}$$

$$\beta = \text{fasförskjutning}$$

$$k = \text{konstant som beror på avläsningsmetoden}$$

Även om felet inte helt följer en sinusfunktion ger det värde som man får på amplituden a ett mått på storleken av det fel som kan förväntas i en riktning.

3.1.2.3 Vinkelmättningsnoggrannhet

Vinkelmättningsnoggrannheten prövades enligt svensk standard SS 64 12 22 för provning av denna storhet. Standarden avser teodoliter av vanlig typ med glasskalor där skalan kan förställas och med avläsning genom mikroskop. Moderna elektroniska teodoliter, takymetrar eller "total-stationer" har ofta en skala utan förställningsmöjlighet beroende på att avläsningen är så anordnad att behovet av förställning bortfaller.

Försök gjordes dock att i möjligaste mån tillämpa standarden även på instrument av den nya typen. I stället för att förställa skalan på instrumentet där detta inte är möjligt vreds hela trefoten. För att bibehålla centreringen byggdes ett stativ om så att den skruv som håller instrumentet alltid befann sig i samma läge. Det var dock ett glapp på någon eller några tiondels mm. Dessutom utnyttjades ett gammalt stativ vilket, som det senare visade

sig, inverkade menligt på mätningarna.

Vissa instrument har senare mätts om under bättre förhållanden. För AGAs Geodimeter 140 gjordes en nedlodning med hjälp av två teodoliter vid varje vridning av trefoten och en centreringskorrektion beräknades och anbringades på mätningarna.

Metoden skall ge en sammanfattning av alla inverkanse fel vid vinkelmätning och standarden är bl a avsedd att användas för typprovning av teodoliter och tillhörande mätthjälpdon. De tidigare undersökta felen och alla övriga fel finns alltså inbakade i detta mått på (med standardens ord) onoggrannheten i vinkelmätning. Provet gjordes med såväl horisontal- som vertikalkvinklar.

3.2 Längdmätning

Alla EDM-instrument som har undersökts är av korthållstyp med infraröd strålning som bärvåg. Bara laboratoriemässiga tester har utförts varför ingenting kan sägas om instrumentens egenskaper utomhus under skiftande väderleksförhållanden. De är dock mycket lika de på marknaden vanligen förekommande instrumenten och i vissa fall identiska med dessa. Tidigare vunna erfarenheter beträffande längdmätare kan alltså i hög grad utnyttjas.

Följande egenskaper har undersökts:

- nollpunktskonstanten
- cykliska fel
- pekfel
- modulationsfrekvensen

3.2.1 Nollpunktskonstanten

Varje kombination av EDM-instrument och reflektor har sin egen nollpunktskonstant. Reflektorn utgöres i regel av ett prisma, och vid normal mätning kan alla prismor av samma fabrikat och typ anses ha samma konstant. "Konstanten" är dock inte helt konstant utan kan variera något med tiden. I regel finns det möjlighet att på instrumentet ställa in den nollpunktskonstant som gäller för ifrågavarande kombination vilket innebär att i praktiken man normalt arbetar med en konstant som är noll.

Det är därför ointressant att i en undersökning som denna fästa något avseende vid värdet på nollpunktskonstanten. Det framkommer visserligen vid beräkningen av det cykliska felet men redovisas inte bland resultaten.

3.2.2 Cykliskt fel

Den elektromagnetiska strålning som utgår från ett EDM-instrument fortplantar sig med ljusets hastighet. Strålningen moduleras med en viss frekvens och det är denna modulationsfrekvens som används vid beräkning av avståndet, i regel genom att mäta skillnaden i fas mellan den utgående och den reflekterade strålen. Beroende på bl a elektrisk koppling mellan en referenssignal och mätsignalen uppstår en okontrollerbar variation av nollpunktskonstanten som har ett periodiskt förlopp. I vissa fall har flera olika perioder konstaterats.

Nollpunktsfelen och det cykliska felet bestäms i undersökningen tillsammans genom mätning på LMVs mätsträcka. Ett antal kända avstånd mellan 22,5 och 50 m mättes och konstanterna bestämdes genom utjämnning enligt minsta kvadrat-metoden. Felet i mätningen antages ha formeln

$$v = b + A \cdot \sin \frac{2\pi}{\lambda} (s_m + B)$$

där b = nollpunktskonstanten

λ = modulationsvåglängden

A = amplituden hos det cykliska felet

B = faskonstant

s_m = mätt avstånd (i meter)

Rätt avstånd är då

$$S = s_m - v$$

3.2.3 Pekfel

Hos EDM-instrument uppträder ett fel som kallas pekfel. Det beror på att den reflekterade strålen tas emot på olika ställen av mottagardioden vilket kan ge olika resultat. Därför är det viktigt att alltid rikta instrumentet så att maximal signalstyrka erhålles varvid man alltid är på samma ställe på dioden.

Pekfelets storlek bestäms på ett avstånd av 50 m. Vid undersökningen riktas först instrumentet mot reflektorns centrum och sedan gör man ett antal mätningar med alltmer förställd inriktning så länge mätbar signal erhålles. Då pekar kikaren helt utanför reflektorn.

Pekfelet brukar redovisas på ett rutat papper där centrumrutan motsvarar centrum på mottagardiolen. I denna undersökning redovisas felet på ett annat sätt. Utgående från centrum bildas medeltalet av felets absoluta värde på punkter med lika vinkelavstånd från centrum ungefärligen i koncentrisk ringar, som visas på sida 11. De så erhållna värdena för olika avstånd redovisas i en tabell och dessutom grafiskt.

Vid denna typ av redovisning missar man eventuella oregelbundenheter i felet, likaså olika tecken. Det är dock en snabb och enkel metod att jämföra olika instrument. Det kan även vara av intresse att känna det största värde som pekfelet kan uppnå inom ett visst område. På mycket stora avstånd från prismats mitt är felet stort. Det fält inom vilket felet skall bedömas bör ha en realistisk storlek och omfatta den del av synfältet som kommer till användning i praktiken. Kommer man alltför långt ut från prismats mitt sjunker signalstyrkan så att man tvingas korrigera inriktningen. Man mäter alltså i regel inom prismat även om parallellställningen mellan längdmätare och teodolit är dålig. Det avsnitt inom vilket högsta värdet för pekfelet redovisas har valts till rymdvinkeln 1.24×10^{-6} steradianer (ett område inom 0,04 gons avstånd från centrum).

Det bör påpekas att pekfelet är individuellt för varje instrument varför inte några allvarligare slutsatser kan dras om ett speciellt fabrikat efter test av bara ett exemplar. Det är även önskvärt att kunna göra undersökningar av pekfelens variation med tiden.

3.2.4 Modulationsfrekvensen

Modulationsfrekvensen på ett EDM-instrument skall kontrolleras och vid behov justeras minst en gång per år eller oftare om så erfordras. Frekvensens aktuella värde för de testade instrumenten är därför inte särskilt intressant, men desto viktigare är det att veta hur ett instrument förändras med yttertemperaturen och om det erfordras någon uppvärmningsperiod för att få korrekta mätresultat. Sammanställningen visar vad detta medför för fel i avstånd.

Mätningen tillgick så att instrumenten knäpptes på och frekvensen mättes under en viss tidsperiod. Sedan det återtagit rumstemperatur placerades det i kylkammaren och startades och frekvensen mättes under ännu en period varefter det stängdes av. Efter en natt i kylkammaren startades instrumentet ånyo och mätning skedde under en tredje period. I vissa fall mättes även vid andra temperaturer.

3.3 Beräkning

Beräkning av de utförda mätningarna har gjorts på sedvanligt sätt. De storheter som bestäms är i regel små och precis på gränsen till instrumentets upplösningsförmåga. För att få bra värden, om de t ex skall användas för att beräkna korrektioner till verkliga mätningar, krävs betydligt fler observationer än vad som nu har gjorts.

Ett visst antal överbestämningar finns och en utjämning enligt minsta kvadrat-metoden har då företagits. Det visar sig att medelfelet ofta är av samma storleksordning som storheten själv. Undersökningen är dock, som ovan sagts, inte avsedd att noggrant bestämma alla värden utan att få en grov uppskattning av storheten för att kunna avgöra om ett instrument är i enlighet med tillverkarens specifikationer och är lämpligt för det ändamål de har anskaffats för.

4 RESULTAT AV UNDERSÖKNINGEN

Resultaten presenteras med vissa upplysningar och kommentarer. Varje delundersökning redovisas för sig. Där så är möjligt har även medelfel i bestämningarna medtagits. Som tidigare påpekats är dessa ofta förhållandevis stora.

4.1 Vinkelmätning

4.1.1 Kollimationsfel i horisontalled

Instrument	Kollimationsfel	Medelfel
Geodimeter 136	1,3 mgon	± 0,40
Geodimeter 140	1,0	0,07
Theomat T 2000	0,3	0,03
Kern E 1	1,1	0,18
OMNI 1	0,14	0,18
Topcon ET-1	0,17	0,17

Hos de flesta av ovanstående instrument gör man en kalibreringsmätning av det verkliga kollimationsfelet varefter en automatisk korrektion sker för detta fel. De här uppmätta resultaten är alltså det kvarvarande restfelet. Dess storlek beror bl a på den omsorg som nedlagts vid kalibreringsmätningen. Felet elimineras vid mätning i två cirkellägen.

Vid noggrann bestämning av kollimationsfelet bör upprepade mätningar göras och kontrolleras att det värde som finns sparad i instrumentet inte avviker nämnvärt från medelvärdet av de olika bestämningarna.

4.1.2 Kikarens excentricitet och fokuseringsfel

Felens gemensamma inverkan redovisas som ett excentricitetsfel hos kikaren.

Instrument	Exc.fel e	Medelfel
Geodimeter 136	0,19 mm	±0,13
Geodimeter 140	0,09	0,03
Theomat T 2000	0,07	0,01
Kern E 1	0,01	0,06
OMNI 1	0,28	0,06
Topcon ET-1	0,00	0,04

Alla ovanstående värden på excentricitetsfelet e är fullt normala. Om $e = 0,16$ mm uppgår felet i en riktning till 1 mgon på 10 m avstånd vilket saknar betydelse i alla vanliga sammanhang. Vid noggranna mätningar skall man mäta i båda cirkellägena varvid felet elimineras.

Som framgår av medelfelen är bestämningen inte särskilt noggrann men fullt tillräcklig för att konstatera att samtliga instrument på denna punkt är godkända för vanliga lantmåteritekniska ändamål.

4.1.3 Horisontalaxelns lutningsfel

Felet bestäms genom mätning mot två mm-skalor placerade på ett speciellt sätt. Felet uttrycks i mm.

Instrument	Lutningsfel
Geodimeter 136	0,1 mm
Geodimeter 140	0,0
Theomat T 2000	0,0
Wild T 2	
Kern E 1	0,0
OMNI 1	< 0,2 ^x)
Topcon ET-1	0,1

x) Riktig mätning med denna metod kunde inte göras på detta instrument på grund av dess konstruktion.

Mätningen sker genom avläsning på två mm-skalor på olika höjd. Det minsta belopp som kan skattas är 0,1 mm.

För en teodolit av klass 1 enligt svensk standard SS 64 12 22 (motsvarar ungefär det tidigare begreppet sekundteodolit) är kravet att lutningsfelet mätt med denna metod skall understiga 0,25 mm. Samtliga instrument uppfyller detta krav.

4.1.4 Horisontalcirkelns graderingsfel

Graderingsfelen har undersökts med en enkel metod enligt Wild. Vid beräkningen har antagits att felen följer en sinuskurva.

Instrument	Graderingsfel	Medelfel
Geodimeter 136	0,61 mgon	±0,94
Geodimeter 140	0,34	0,48
Theomat T 2000	0,62	0,09
Tachymat TC 1	0,14	0,32
Kern E 1	0,59	0,43
OMNI 1	2,12	0,11
Topcon ET-1	0,40	0,25

Det är fråga om ett enkelt förfarande med förhållandevis få mätningar. Det visar sig att medelfelen blir så stora att man kan dra den slutsatsen att graderingsfelen inte helt följer en sinuskurva. Storleksordningen på amplituden i den erhållna funktionen ger dock ett någorlunda gott mått på skaldelningsfelens storlek.

4.1.5 Vinkelmättningsnoggrannhet, horisontalvinklar

Standardavvikelse för en i en helsats mätt horisontalvinkel enligt svensk standard SS 64 12 22.

Instrument	Standardavvikelse	Fabrikantens specifikation
Geodimeter 136	(1,15) mgon	0,6 mgon
Geodimeter 140	0,38	1,0
Theomat T 2000	0,19	0,15
Wild T 2	(0,63)	
Kern E 1	(0,74)	0,85
OMNI 1	2,69	3,0
Topcon ET-1	0,62	

Värdena inom parentes betyder att mätningarna skett med ett dåligt stativ. Rätt resultat torde vara 50-75 % av de erhållna värdena.

Det bör observeras att för vissa elektroniska teodoliter går det inte att genomföra mätningarna helt enligt standarden som är avsedd för optiska teodoliter.

Genom att tillverkarna inte alltid anger vilket noggrannhetsmått som används är det osäkert om det värde som här uppges är direkt jämförbart med testresultatet. Det har beräknats ur fabrikanternas angivelser som torde avse en riktning till att gälla standardavvikelse för en vinkel enligt den svenska standarden. Även om det är något osäkert hur fabrikanter anger sitt noggrannhetsmått framgår av undersökningen att samtliga testade instrument väl uppfyller specifikationerna.

4.2 Längdmätning

4.2.1 Cykliskt fel

Nollpunktskonstant samt amplitud och faskonstant för det cykliska felet bestäms genom mätning av ett antal kända avstånd. Här redovisas endast amplituden hos det cykliska felet som antages utgöra en sinusfunktion.

Instrument	Cykliska felets amplitud	Medelfel
Geodimeter 136	0,34 mm	±0,34 mm
Geodimeter 140	0,43	0,46
Distomat DI 4	0,69	0,60
Kern DM 502	2,11	0,80
OMNI 1	2,67	0,43
Topcon ET-1	0,92	0,34

Medelfelen i en amplitudbestämning ligger under 1 mm. Storleken på amplituden är några få mm. För samtliga testade instrument anges av fabrikanter den ej längdberoende delen av standardavvikelsen för en mätt längd till 5 mm. Det cykliska felet ingår i detta värde. Samtliga instrument uppfyller därvidlag tillverkarens specifikationer.

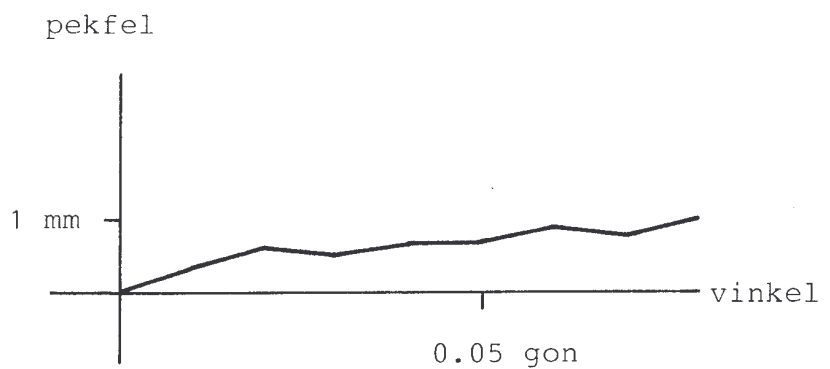
4.2.2 Pekfel

Pekfelens medelstorlek på vissa vinkelavstånd från reflektorns centrum redovisas grafiskt. Det maximala värdet inom en rymdvinkel av 1.24×10^{-6} steradianer visas också.

Geodimeter 136

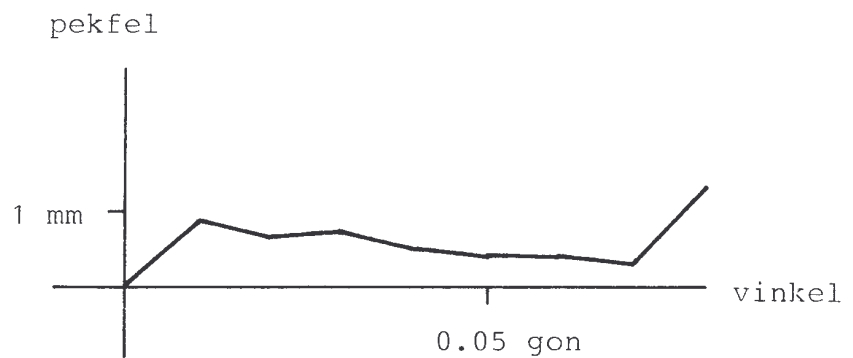
Maxvärde 2 mm

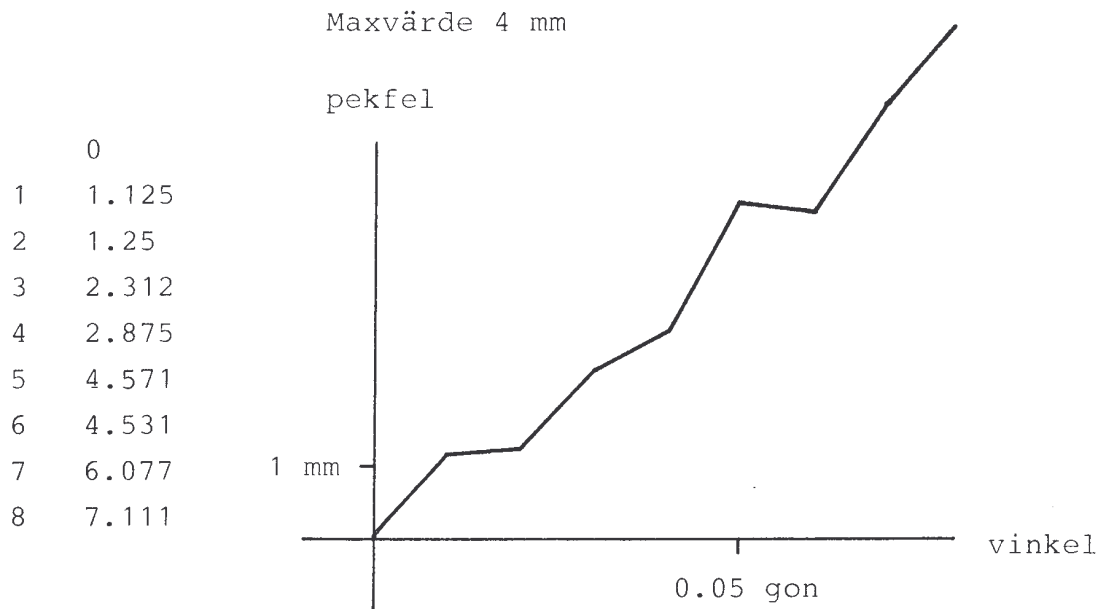
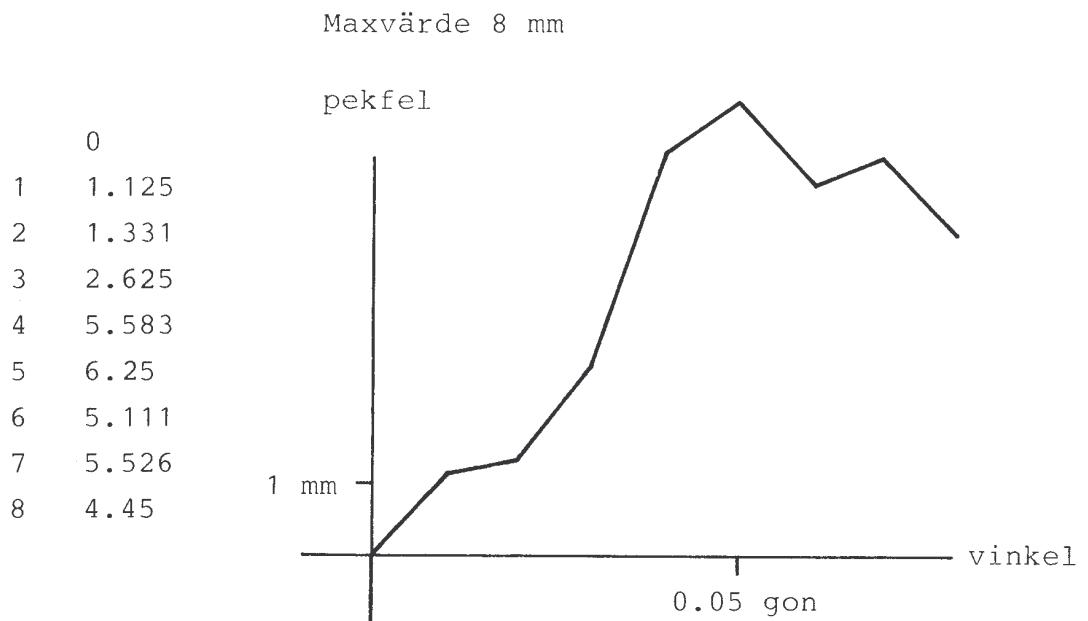
0
1 0.375
2 0.583
3 0.500
4 0.625
5 0.607
6 0.812
7 0.75
8 1.0

Geodimeter 140

Maxvärde 1 mm

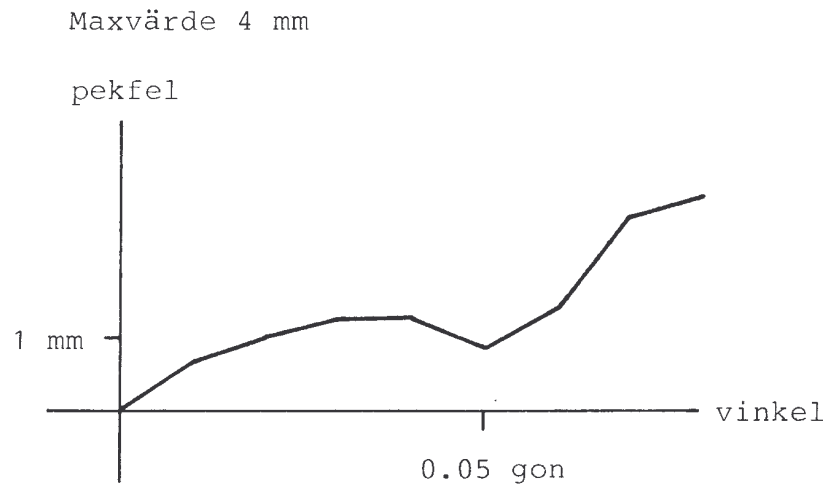
0
1 0.875
2 0.583
3 0.688
4 0.458
5 0.393
6 0.444
7 0.986
8 1.333



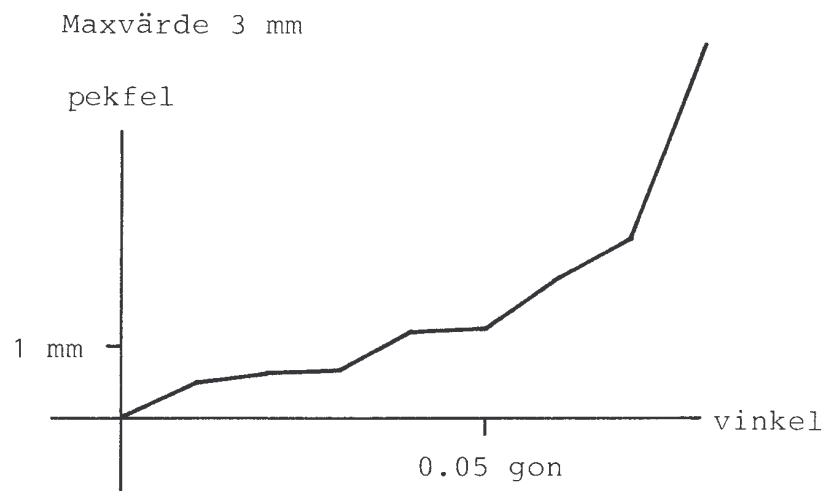
Wild Distomat DI 4Kern DM 502

Wild Tachymat TC 1

0	
1	0.688
2	1.0
3	1.25
4	1.25
5	0.857
6	1.333
7	2.722
8	2.944

Topcon ET-1

0	
1	0.5
2	0.583
3	0.625
4	1.208
5	1.25
6	1.857
7	2.4
8	5.2



4.2.3 Frekvensfel

I redovisningen av den effekt som en ändring av modulationsfrekvensen har på den mätta längden visas grafiskt hur längdfelet varierar med tiden från det att instrumentet slås på. Detta har gjorts dels vid rumstemperatur och dels vid låg temperatur i kylkammare. I vissa fall har också prov gjorts vid mellanliggande temperaturer. Längdfelen visas i milliondelar (ppm).

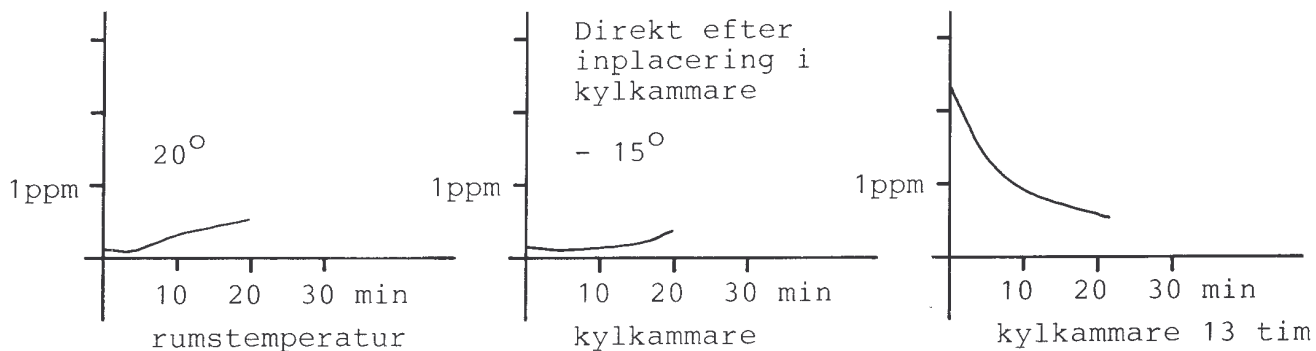
Vid bedömning av resultaten bör man tänka på att det är viktigt att kurvan så snart som möjligt efter start av instrumentet närmar sig en horisontell rät linje. Om kurvan ligger högt över tidsaxeln måste man känna storleken av frekvensfelet för att kunna beräkna en korrektion till mätningarna. En generell tendens är att på grund av förbättrad elektronik är uppvärmningstiden kortare hos nya instrumentmodeller än hos äldre. Man bör dock ge alla instrument en uppvärmningstid av minst 10 minuter även vid höga yttertemperaturer. Se diagram på sid 20-21.

5 FORTSATTA ARBETEN

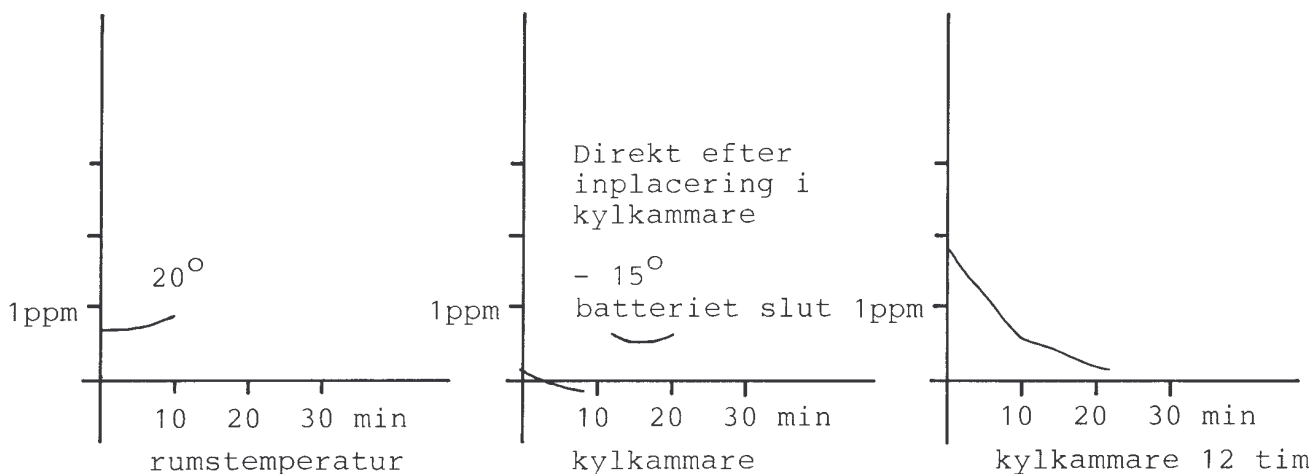
Som tidigare nämnts är ett provfält för instrumenttester under uppbyggnad vid Gävle-Sandvikens flygplats i Rörberg och beräknas bli färdigt till hösten 1985. Där kommer sikterna att bli längre än i den föreliggande undersökningen och centreringsosäkerheten elimineras vid vinkelmätning. Efterhand som instrument ställs till förfogande kommer därför tester att utföras ungefär med samma omfattning som här redovisats även i fortsättningen. Resultaten kommer att publiceras i LMV-rapporter. Innan generella slutsatser kan dras krävs fler undersökningar, helst av flera instrument av samma typ.

Längdfel i ppm beroende på ändringar av modulationsfrekvensen.

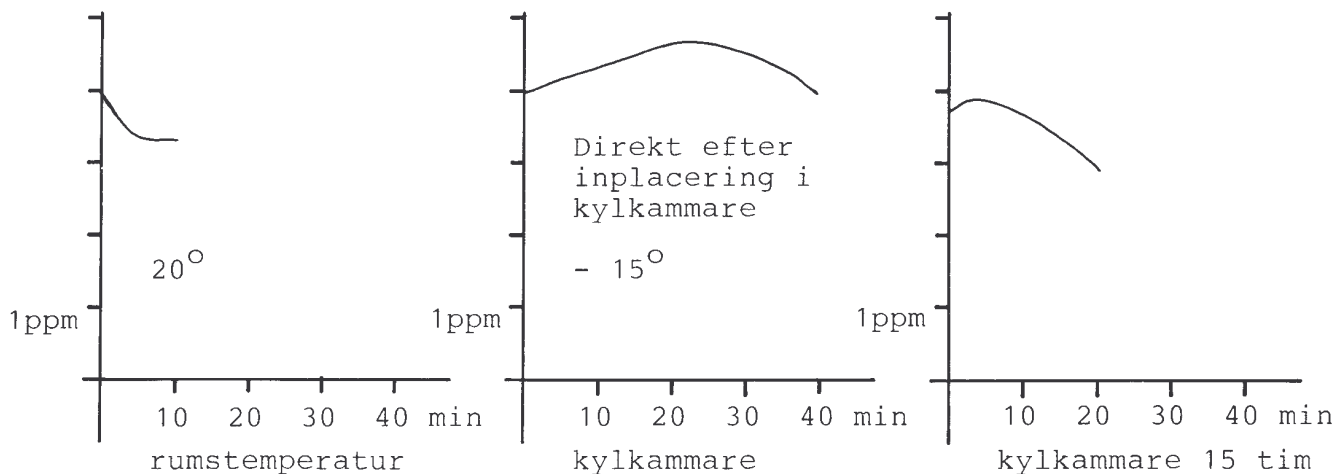
Geodimeter 136



Geodimeter 140



Wild DI 4



Kern DM 502

