



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

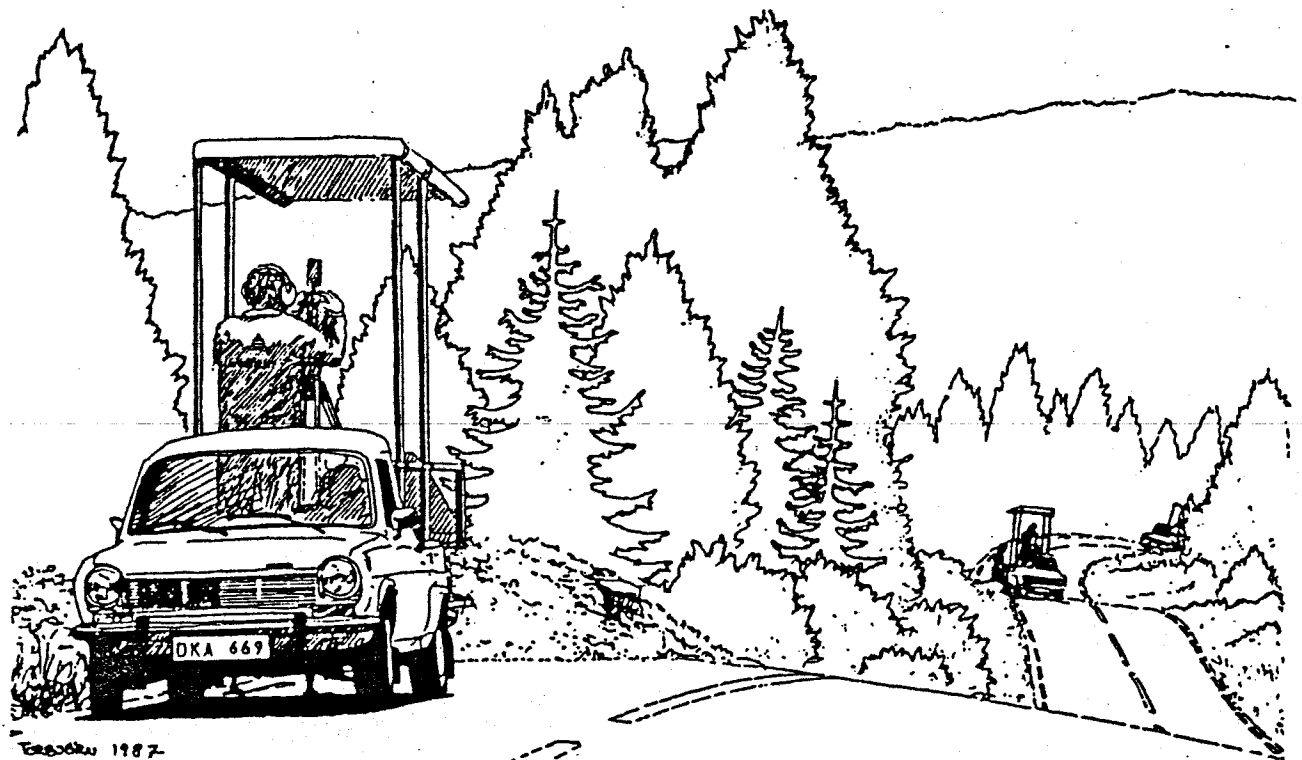
Tekniska skrifter - Professional Papers

LMV-RAPPORT 1988:12

ISSN 0280-5731

Erfarenheter med motoriserad trigonometrisk höjdbestämningssteknik (MTL) - jämförelser med övriga tekniker

av Jean-Marie Becker
Thomas Lithén
Anders Nordqvist



Gävle 1988

Förteckning över senast utgivna LMV-rapporter

Rapport	Titel	Upphovsman e dyl
1987		
1987:12	Koordinatsystemsbyte i kommunala nät	Bengt Karlsson Rolf Löfqvist
1987:13	Värdering av ädellövskog	Göran Bergqvist
1987:14	Compact Discs for Distribution of Maps and Other Geographic Information	Bengt Rystedt
1987:15	Skogsinventering vid likvidvärdering. LMV-metoden i tillämpning	Leif Norell m fl
1987:16	Fastighetsmarknaden idag. Pristrender och orsakssamband på marknaden för småhus och lantbruk under hösten 1987	Thomas Lindeborg Knut Mattson Per-Johan Åge
1987:17	The new National Atlas of Sweden	Bengt Rystedt
1987:18	Mäta med GPS. Beräkningsprogram samt detaljstudie och beräkningsexempel med POPS	A-C Jivall Lars Jakobsson
1988		
1988:1	Beståndsmetoden för skogsvärdering. - Tillväxt och avverkning	Börje Andersson
1988:2	Beståndsmetoden för skogsvärdering. - Sortimentutbyte och kvalitet	
1988:3-5	Beståndsmetoden för skogsvärdering. - Ytterligare rapporter inom fastighets- ekonomi. Planerad utgivning våren 1988.	
1988:6	Tioårigt ortofotoomdrev	Lars Lindgren
1988:7	Ett landskapsmuseum i Gävle	H-F Wennström
1988:8	Baskartor för översiktlig kommunal planering 1988	Gunnar Ericsson
1988:9	Fastighetsbildning för landsbygdens behov - översyn av reglerna om fastighetsbildning för mindre jordbruk	Lennart Pettersson
1988:10	Tröghetspositionerings tekniken	Jean-Marie Becker
1988:11	Baslinjemätning med satellitsystemet TRANSIT. Examensarbete, LTH	Carolin Ljungkrantz Pia Rystam



Titel

**Erfarenheter med motoriserad trigonometrisk höjd-
bestämningsteknik (MTL) - jämförelser med övriga
tekniker**

av Jean-Marie Becker, Thomas Lithén &
Anders Nordquist; LMV

Huvudinnehåll

Rapporten redovisar resultaten av försök med
motoriserad trigonometrisk höjdbestämning (MTL)
under åren 1985-1987.

Thomas Lithén
Kartavdelningen
Geodetiska utvecklingsenheten (KG)

LDOK

Kg Mätningsteknik

Stomnät

Beställs hos

Lantmateriverket
Blankettförrådet
301 12 GAVLE

Liber Förlag



INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	Sida
1 INLEDNING	2
2 UTRUSTNING	3
3 MÄTFÖRFARANDE	6
4 BESKRIVNING AV TESTOMRÅDEN	8
5 PRODUKTIONSRESULTAT	10
6 UTVÄRDERING AV NOGGRANNHETEN	12
6.1 Den interna noggrannheten i MTL och ML	12
6.2 Utvärdering av MTL kontra ML	15
6.3 Utvärdering av MTL och ML kontra andra mätningar	18
7 SLUTSATSER	21
8 REFERENSER	23

1. INLEDNING

Sedan 1979 pågår projektet Riksavvägning (RA) i syfte att bestämma ett nytt riksomfattande precisionshöjdnät av ca 50 000 km:s omfång. Arbetet pågår för fullt och beräknas avslutas kring år 1997. Lantmäteriverket, som ansvarar för detta projekt, har för ändamålet utvecklat en speciellt anpassad teknik - den s k motoriserade avvägningstekniken (ML) <6>.

I samband med genomförandet har vissa problem uppstått vilka behöver förklaras och lösas (exempelvis; systematiska effekter av jordmagnetism, onormala skillnader mellan 2:a och 3:e precisionsavvägningen (RA)). Samtidigt och parallellt pågår fortlöpande försök och tester för att förbättra, rationalisera samt effektivisera höjdbestämningsmekniken, exempelvis genom vidare automatisering av mätprocessen.

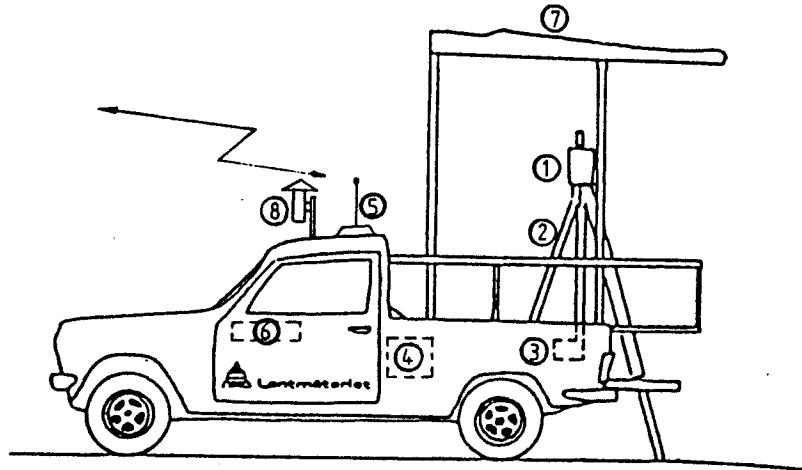
I följande rapport redovisas de försök och resultat som har utförts och uppnåtts i samband med olika undersökningar under de tre senaste åren 1985-1987 med MTL (motoriserad trigonometrisk höjdbestämningsmeknik).

Försöken med MTL har utförts på olika platser i Sverige och med olika huvudändamål enligt följande:

- Undersökning av MTL (teknik och utrustning) ur noggrannhetssynpunkt i Gävle (Sättra) 1985 (vår och höst) med 3 olika instrumentfabrikat (Geotronics, Wild, Kern). Resultaten från testerna finns publicerade i <1>.
- Produktionstest i Falun 1985.
- Samtidiga mätningar för jämförelsestudier med MTL och ML i ett storskaligt projekt i Sälen 1986.
- MTL-mätningar längs en äldre PL-linje i Jönköpingsområdet 1987, för att dels utröna varför ML's resultat från 1981 skilde sig så markant från FL's resultat från 1958 (precisionsmätning till fots med Wild N3) och dels få bekräftelse på 1981 års resultat.
- Tester för att samtidigt bestämma plankoordinater x, y utfördes också 1985 (Gävle, Sättra) samt 1987 (Älvkarleby). Dessa tester redovisas ej i denna rapport.

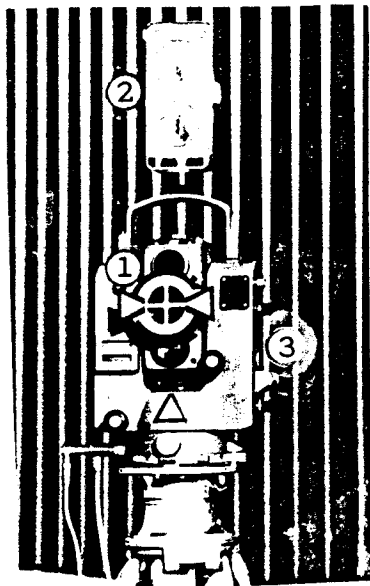
2. UTRUSTNING

Översiktligt består utrustningen av 3 likadana bilar av pickup-typ. Bilarna är försedda med var sin elektronisk totalstation, stativ och utrustning för trådlös överföring av mätdata (sk telemetri). Samtliga mätdata samlas i en fältdator som finns i en av bilarna, huvudbilen (figur 2:1-3).

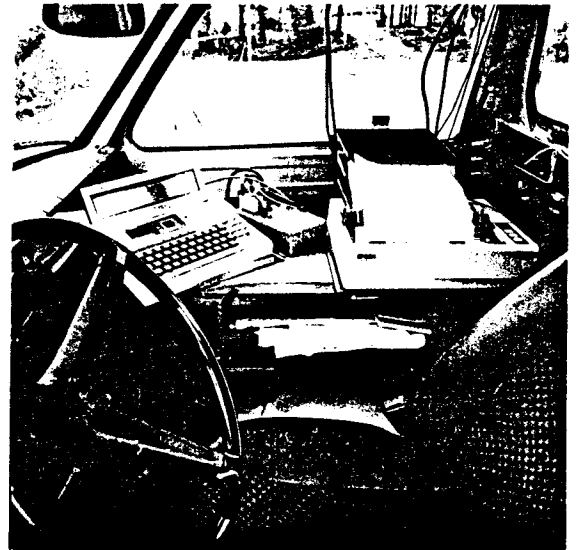


- 1 = Totalstation med signaltavla och reflektor
- 2 = Specialstativ med justerbara ben
- 3 = Elektrisk domkraft
- 4 = Telemetri-utrustning
- 5 = Antenn för mottagning/sändning
- 6 = Fältdator och skrivare
- 7 = Ihopfällbart sol/regn-skydd
- 8 = Termometer med inbyggd fläkt

FIGUR 2:1. Pickup-bil med utrustning.



FIGUR 2:2. Totalstation med sikttavla (1), reflektor (2) och ett extra horisonteringsvattenpass (3).



FIGUR 2:3. Huvudbil med fältdator och skrivare.

Instrument

Varje bil är utrustad med en elektronisk totalstation. Vid mätningarna i Falun användes Wild T2000 + DI5. I Sälen och Jönköping användes Kern E2 + DM503. Kernutrustningen är kompletterad med en sikttavla för vinkel-mätning och en reflektor för avståndsmätning. För att förenkla horisonteringen är ytterligare ett horisonteringsvattenpass monterat (figur 2:2). Vinkelnoggrannheten för båda instrumenten är 0.15 mgon och medelfelet hos de två längdmätarna är 3 mm + 2 ppm.

Stativ

Stativen är specialkonstruerade av LMV för att passa till bilarna. Varje stativ är försett med en snabbhorisonteringsanordning. För att underlätta höjning och sänkning vid transport, är varje bil utrustad med en elektrisk domkraft. Stativfötterna består av en rund järnplatta som är försedd med tre stift (figur 2:4). Plattan är fäst vid stativbenet via en kulle. Kulle gör att stativfoten orienterar sig efter underlaget vid uppställning. Denna konstruktion har visat sig ge stabila uppställningar. Stativen är avsevärt högre än konventionella stativ. Den genomsnittliga uppställningshöjden är ca 2.20 m och denna höga uppställning reducerar kraftigt refraktionens inverkan på mätresultatet. Stativen är placerade centralt på respektive bilflak. Vid uppställning sänks stativbenen ned genom tre hål i bilens golv. Vid mättillfället har stativet ingen kontakt med bilen.

Avvägningsstång

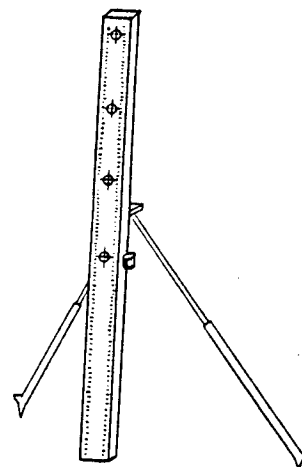
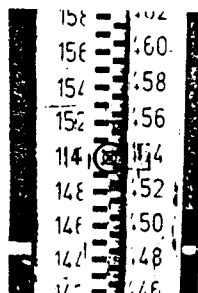
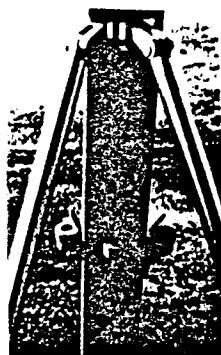
Vid anslutningar till markerade fixpunkter används en invar-avvägningsstång (Zeiss Jena 3 m). Stången är försedd med 4 distinkta mätmärken. Avstånden mellan respektive mätmärke och fotplattan, är uppmätta med laserinterferometer. Standardavvikelsen i avståndsbestämningen < 0.06 mm. De 4 märkena är placerade på höjderna 1.5, 2.0, 2.5 och 3.0 m. Till hjälp vid horisonteringen har man 3 av varandra oberoende vattenpass. Vidare är stången försedd med två justerbara stativben (figur 2:5).

Telemetri

Varje bil har en egen telemetriutrustning för sändning av mätdata. På en av bilarna, huvudbilen, finns även en mottagande radioutrustning som vidarebefordrar samtliga mätvärden till fältdatorn. Utrustningen består av ett telekommunikationsmodem som via en "vanlig" kommunikationsradio sänder/mottar mätdata.



FIGUR 2:4. Stativfot.



FIGUR 2:5. Avvägningsstång.

Behandling av mätdata

All registrering sker automatiskt genom en knapptryckning. Vid varje mätning överförs samtliga mätvärden via telemetri till en mottagarenhet i huvudbilen. Till denna enhet är en fältdator ansluten (Epson PX8). Datorn gör ett antal beräkningar och ger bl a besked om mätningarnas kvalitet. Resultatet skrivs ut på papper av en skrivare (Epson RX80). Det finns även möjlighet att lagra rådata internt i datorns minne. Beräkningsprogrammet är skrivet i BASIC och är utvecklat av LMV.

Övrig utrustning

- Barometer (Baromec)
- Termometer med inbyggd fläkt
- Kommunikationsradio
- Extra batterier
- Batteriladdare
- Reservben till stativ

3. MÄTFÖRFARANDE

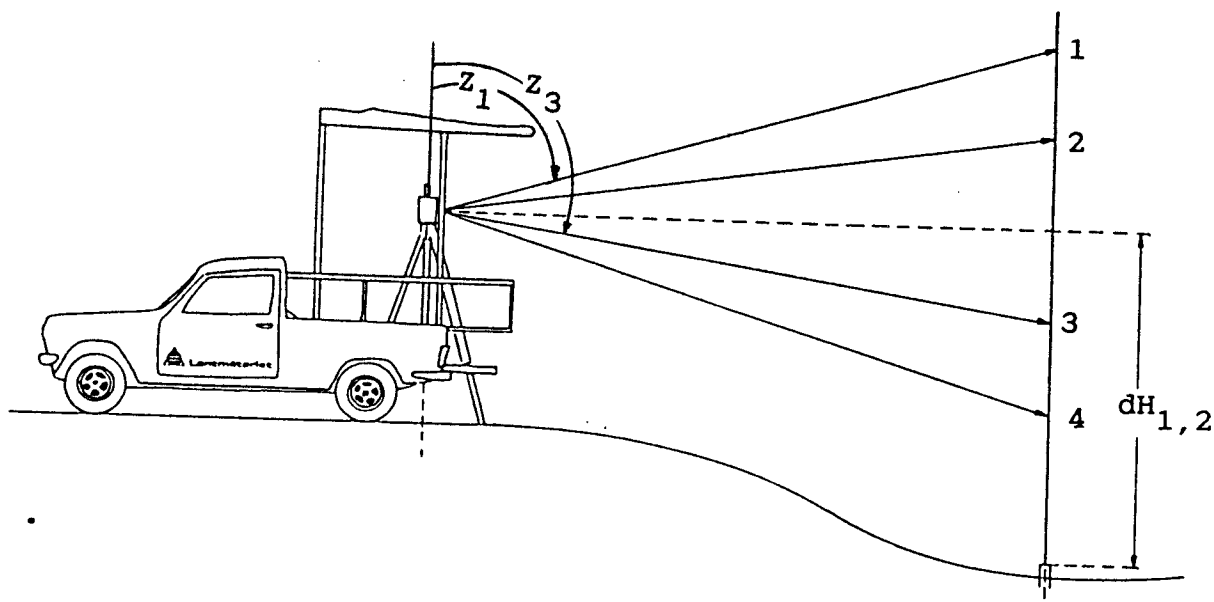
Höjdbestämningen kan delas in i två typfall. Det ena är vid anslutningar till fixpunkter och det andra vid mätningar mellan bilar.

Fixpunktsanslutning

Vid anslutning till fixpunkter mäter man mot en avvägningsstång med 4 speciella mätmärken (figur 3:1). Höjdskillnaden mellan instrumentet och fixpunkten beräknas med formeln <4>.

$$dH_1 = \frac{h_3 \cdot \cot Z_1 - h_1 \cdot \cot Z_3}{\cot Z_1 - \cot Z_3}$$

De fyra mätmärkena medger att två separata höjdskillnader kan bestämmas, varur medelvärdet bildas. Märke 1 och märke 3 ger höjdskillnaden dH_1 och märke 2 och märke 4 ger dH_2 . Alla beräkningar sker i fältdatorn och denna redovisar mätningarnas spridning och medelfel. Operatören bedömer om mätresultatet skall accepteras eller ej.



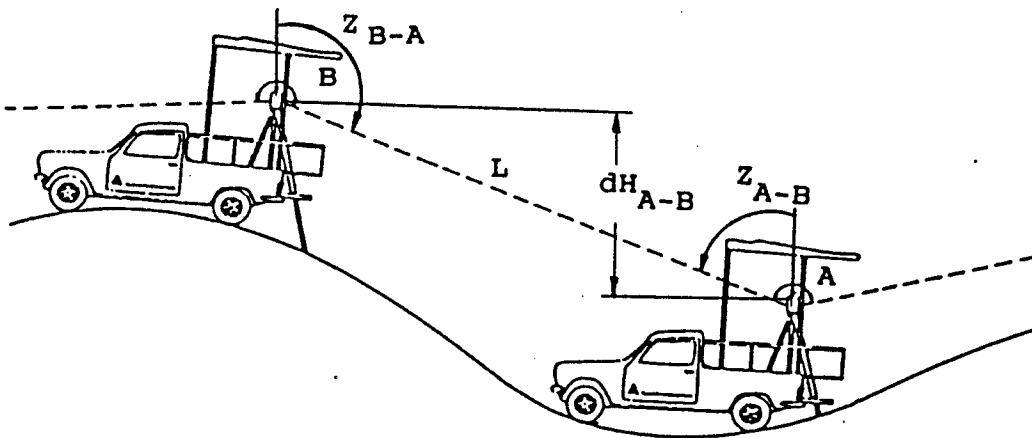
FIGUR 3:1. Mätningar vid fixpunktsanslutning.

Mätning mellan bilar

Mellan fixpunktsanslutningar bestäms höjdskillnaderna genom mätningar mellan bilarna (instrumenten). Detta sker genom att lutande avstånd mäts från båda håll. Överskrider differensen mellan de båda avstånden 5 mm, görs mätningen om. Vertikalvinklar mäts samtidigt och korresponderande (figur 3:2). Höjdskillnaden mellan bil A och bil B beräknas med formeln

$$dH_{A-B} = \frac{L \cdot (\cos Z_{A-B} - \cos Z_{B-A})}{2}$$

Vertikalvinkelmätningarna görs i 3 helsatser varefter fältdatorn beräknar medelvärde och standardavvikelse. Operatören meddelar om mätningarna skall göras om eller accepteras. I samband med längdmätningarna registrerar operatören temperatur och lufttryck för atmosfärskorrekktioner.



FIGUR 3:2. Mätning mellan bilar.

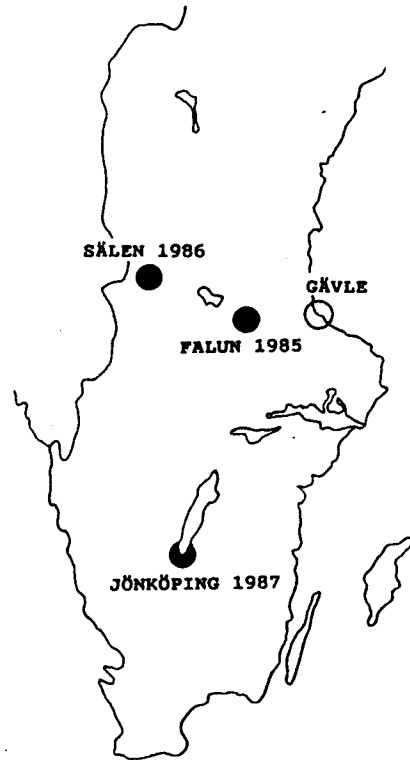
4. BESKRIVNING AV TESTOMRÅDEN

Denna rapport redovisar testmätningar från tre epoker, nämligen Falun 1985, Sälen 1986 och Jönköping 1987 (figur 4:1).

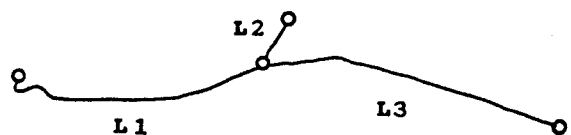
Gemensamt för alla tre testområdena är att terrängen är relativt kuperad. En annan faktor som påverkade valet av testområdena Falun och Jönköping var att man i dessa områden tidigare hade konstaterat stora motsättningar mellan den motoriserade avvägningen (ML) och 2:a precisionsavvägningen (FL).

1985, i Falun, var det huvudsakliga syftet med testmätningarna att försöka utröna varför man tidigare (1979) erhållit så stor omavvägningsprocent (61 %). Samtidigt ville man också testa MTL's produktionskapacitet. Sammanlagt mättes en relativt kort sträcka, 17 km, och den genomsnittliga höjdskillnaden mellan fixpunkterna var ca 18 m. Totalt mättes 19 fixhåll.

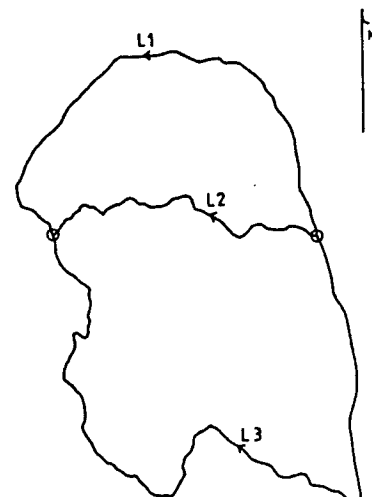
I Sälen, 1986, mättes ett betydligt större område, totalt ca 192 km. Här var också höjdskillnaderna störst, upp till 400 m. Totalt mättes 196 fixhåll. Terrängen var mestadels skogsmark med inslag av kalvfjäll. 60 % av vägarna var asfalterade och resten var grusvägar.



FIGUR 4:1. Testområden.



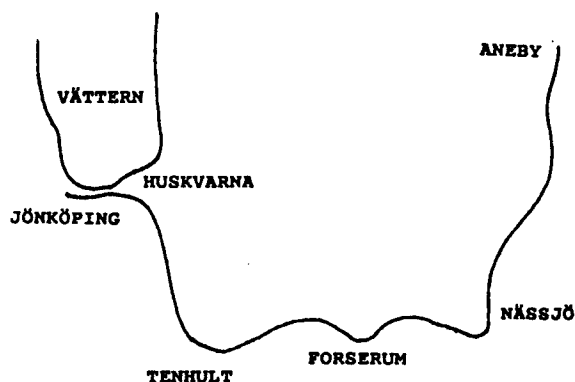
FIGUR 4:2. Falun 1985



FIGUR 4:3. Sälen 1986

1987 gjordes testmätningar i Jönköping. Även här har man kunnat konstatera stora motsättningar mellan ML (1981) och FL (1958). Ytterligare en anledningen till dessa testmätningar var att försöka få en uppfattning om jordmagnetismens inverkan på mätresultatet. Därför planerades mätningarna till två linjer, en i nord-sydlig riktning och en öst-västlig. De båda linjerna sammanfaller både med den 2:a precisionsavvägningen (1958) och den motoriserade avvägningen (1981).

Mätningarna omfattade 86 km och 83 fixhåll. Terrängen växlade mellan skogsmark och kulturmark. Ungefär 75 % av vägarna var asfalterade och resten var grusvägar.

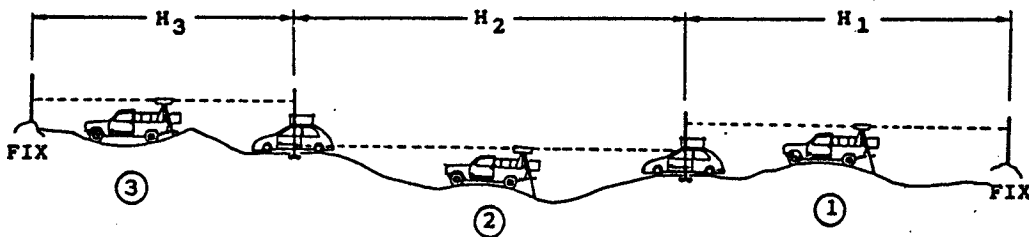


FIGUR 4:4. Jönköping 1987.

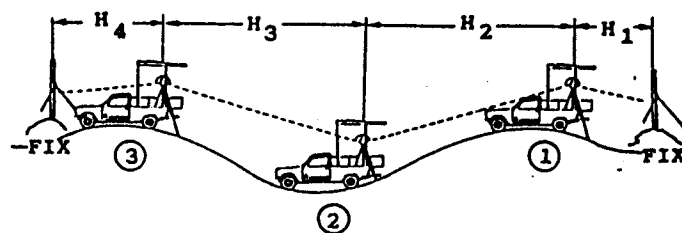
5. PRODUKTIONSRESULTAT

I tabell 5:1 redovisas produktionsresultaten från mätningarna i de tre testområdena. Mätmetodiken skiljer sig mellan ML och MTL och pga detta innebär "en uppställning" olika saker för de båda teknikerna, figur 5:1 och 5:2 illustrerar skillnaderna. Vad gäller ML överensstämmer antalet instrumentuppställningar med antalet mätta höjdskillnader. Samma sak gäller inte för MTL. Vid MTL tillkommer en extra höjdskillnad för varje fixhåll. Det är således antalet mätta höjdskillnader som är redovisat i kolumn 7, tabell 5:1.

I kolumn 8 redovisas de genomsnittliga syftlängderna för respektive teknik. Eftersom skillnaden i avstånd mellan mätning mot fixpunkt och mätning mellan bilar är så stor vid MTL, har två värden redovisats. Det första värdet (H_2 och H_3 i figur 5:2) avser avståndet vid mätning mellan bilar. Det andra (H_1 och H_4) avser avståndet vid mätning mot fixpunkter.



FIGUR 5:1. Mätning enligt ML. Antalet uppställningar = antalet uppmätta höjdskillnader.



FIGUR 5:2. Mätning enligt MTL. Antalet höjdskillnader = antalet uppställningar + 1.

Totalt (MTL+ML+FL) har en sträcka av ca 1500 km mätts. Omräknat till 8 timmars arbetsdag har det åtgått ca 150 arbetsdagar för fyra personer. Totalt har man mätt ungefär 15000 höjdskillnader.

SAMMANSTÄLLNING AV PRODUKTIONSRESULTAT

OMRÅDE	ÅR	TEKNIK	LÄNGD (KM)	ANTAL FIX- HÅLL	TID (H)	*) ANTAL UPPST	**) MEDEL- SYFT- LÄNGD (M)	TID/ UPPST (MIN)	KM/H	UPPST/ KM
FALUN	1985	ML	42.2	48	26.0	640	33.0	2.44	1.62	15.2
	1985	MTL	36.6	40	22.9	174	284/20	7.90	1.60	4.8
SÄLEN	1986	ML	441.4	450	210.0	6004	36.8	2.10	2.10	13.6
	1986	MTL	479.8	478	252.8	2974	194/20	5.10	1.90	6.2
JÖNKÖPING	1958	FL	124.0	120	186.0	1320	47.0	8.45	0.67	10.6
	1981	ML	171.1	174	106.4	2548	33.6	2.51	1.61	14.9
	1987	MTL	190.2	190	116.4	1391	156/30	5.02	1.63	7.3
SAMMANLAGT		ML	654.7	672	342.4	9192	35.6	2.23	1.91	14.0
		MTL	706.6	708	392.1	4539	186/23	5.18	1.80	6.4

FL = 2:a precisionslinje-avvägningen
 ML = Motoriserad avvägning
 MTL = Motoriserad trigonometrisk höjdbestämnmg

*) För MTL är antalet uppställningar beräknat som antalet uppmätta höjdskillnader.
 **) För MTL redovisas 2 värden; det första avser längd vid mätning mellan bilar och det andra avser längd vid anslutning till fixpunkt (bil/fix).

TABELL 5:1. Statistik över alla mätningar.

6. UTVÄRDERING AV NOGGRANNHETEN

Utvärderingen är uppdelad i tre underkapitel:

- * Utvärdering av den interna noggrannheten i MTL och ML.
- * Utvärdering av MTL kontra ML.
- * Utvärdering av MTL och ML kontra andra mätningar, t ex fotavvägning och andra mätningar med ML.

Utvärderingen av noggrannheten görs på följande sätt;

- * Olika tester av höjddifferanser för enskilda fixhåll. Differanserna kan erhållas ur tur- och returmätningar för att utvärdera den interna noggrannheten i en teknik eller mellan medeltalen från olika tekniker för att kontrollera teknikerna mot varandra. Följande tester görs:
 - + fälttest av differanserna mot kassationsgräns.
 - + test av systematik i differanserna.
 - + linjär regression av differanserna för att se vilka parametrar som eventuell systematik är beroende utav. Parametrarna som provas är längd, roten ur längden och absolutbeloppet av höjdskillnaderna.
 - + beräkning av medeltalets medelfel för att kontrollera precisionen.
- * Test av slutningsfel i slingor.
- * Nätutjämnning enligt minsta kvadratmetoden med statistisk felsökning enligt "datasnooping" av tåg <3>.

6.1 Den interna noggrannheten i MTL och ML

MTL-mätningarna i utvärderingen är okorrigerade fältdata. ML-mätningarna är korrigerade för jordkrökning, stångtemperatur och stångkomparation.

För fälttesten av tur- och returmätning av enskilt fixhåll har kassationsgränsen $2\sqrt{L}$ använts, utom vid MTL-mätningarna i Jönköping då kassationsgränsen $2.8\sqrt{L}$ användes. Kassationsgränsen $2\sqrt{L}$ är en empiriskt framtagna tolerans som visat sig ge en omavvägningsprocent på ca 5% i den nu pågående riksavvägningen. Fälttesten i försöken har gett en hög ommättingsprocent, 8-21% med kassationsgränsen $2\sqrt{L}$, för både MTL och ML (se tabell 6:1). Den stora ommättingsprocenten för ML beror gissningsvis på de stora höjdskillnaderna mellan fixhållen som i sin tur leder till stort antal uppställningar.

Plats Teknik/år	Tol.- gräns	Ant fixhåll Ant ommätta	Tot.	Sträcka (km)	Ant. > tolerans	Medeltalets medelfel
Falun ML 85	$2\sqrt{L}$	18 3 (16.7%)	21	21.1	4 (19.0%)	$0.95 \text{ mm}/\sqrt{\text{km}}$
Falun MTL 85	$2\sqrt{L}$	18 1 (5.6%)	19	18.3	3 (15.8%)	$0.70 \text{ mm}/\sqrt{\text{km}}$
Sälen ML 86	$2\sqrt{L}$	196 29 (14.7%)	225	220.7	34 (15.1%)	$0.71 \text{ mm}/\sqrt{\text{km}}$
Sälen MTL 86	$2\sqrt{L}$	196 37 (18.9%)	233	233.9	49 (21.0%)	$0.85 \text{ mm}/\sqrt{\text{km}}$
Jönköping ML 81	$2\sqrt{L}$	83 7 (8.4%)	90	93.5	8 (8.9%)	$0.66 \text{ mm}/\sqrt{\text{km}}$
Jönköping MTL 87	$2.8\sqrt{L}$	83 5 (6.0%)	88	93.0	6 (6.8%)	$0.76 \text{ mm}/\sqrt{\text{km}}$
Totalt ML	$2\sqrt{L}$	297 39 (13.1%)	336	335.3	46 (13.7%)	$0.71 \text{ mm}/\sqrt{\text{km}}$
Totalt MTL	$2.8\sqrt{L}$ $2\sqrt{L}$	297 43 (14.5%)	340	345.2	31 (9.1%) 69 (20.1%)	$0.82 \text{ mm}/\sqrt{\text{km}}$

Tabell 6:1 Sammanställning av fälttesten och medeltalets medelfel.

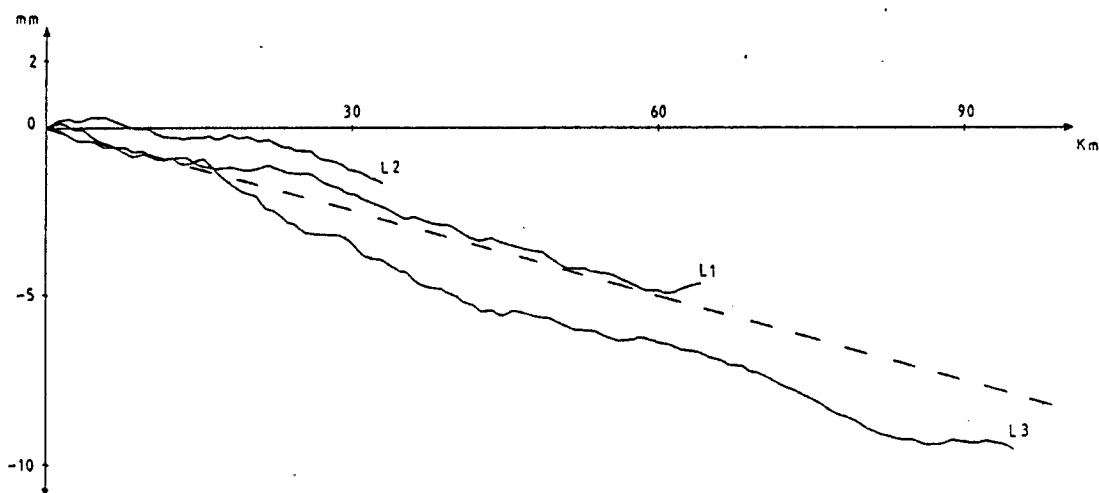
För MTL prövades några andra kassationsgränser (toleranser) med mätmaterial från Sälen. Precisionen för medeltalet i i Sälen var $0.85 \text{ mm}/\sqrt{\text{km}}$ vilket motsvarar ett medelfel i en enkel mätning på $1.20 \text{ mm}/\sqrt{\text{km}}$. Med detta medelfel räknades nya toleranser fram för risknivåerna 5%, 10% och 20%. De nya toleranserna visade sig stämma bra med kassationen av mätningarna (se tabell 6:2). Vid mätningarna med MTL i Jönköping användes kassationsgränsen $2.8\sqrt{L}$.

Mätningens medelfel	Riskenivå	Tolerans	antal mät	ant. mät > tolerans
$1.2 \text{ mm}/\sqrt{\text{km}}$	5%	$3.33\sqrt{L}$	233	14 (6.0%)
$1.2 \text{ mm}/\sqrt{\text{km}}$	10%	$2.80\sqrt{L}$	233	25 (10.7%)
$1.2 \text{ mm}/\sqrt{\text{km}}$	20%	$2.17\sqrt{L}$	233	46 (19.7%)

Tabell 6:2 Test av kassationsgränser på MTL-mätningarna i Sälen

Undersökningen med avseende på systematik visade att systematiska tendenser endast förekommer i differanserna hos MTL-mätningarna i Falun och ML-mätningarna i Sälen. En vidare undersökning med regressionsanalys visar följande:

- * en något signifikant systematik i differansen med avseende på absolutbeloppet av höjdskillnaden för MTL i Falun. Mätmaterialet är dock litet, 19 fixhåll, och resten av mätningarna, 321 fixhåll, visar ej på några systematiska tendenser.
- * en kraftig signifikant systematik i differanserna med avseende på längden för ML i Sälen (se figur 6:1). Systematiken har ej kunnat förklarats på ett tillfredsställande sätt.



Figur 6:1 Grafisk presentation av de systematiska felen för ML i Sälen. De heldragna kurvorna visar de ackumulerade differanserna linjevis. Den streckade linjen visar den linjära regressionen $y=cx$; där y är differansen i mm, x är avståndet i km och $c=-0.83$ mm/km.

Beräkningen av medeltalets medelfel visar att båda teknikerna ger bättre precision än $1 \text{ mm}/\sqrt{\text{km}}$ (se tabell 6:1).

Slutligen genomfördes en test av slutningsfelen i slingor och nätutjämnning med Sälenmätningarna, båda dessa tester visar fortfarande på att precisionen är bättre än $1 \text{ mm}/\sqrt{\text{km}}$ (se tabell 6:3).



	L	ML 87	MTL 87
Slutningsfel=L2-L1	97.1 km	-3.40 mm	+7.20 mm
Slutningsfel=L3-L2	127.7 km	+5.05 mm	+5.86 mm
Slutningsfel=L3-L1	158.6 km	+1.65 mm	+13.06 mm
Medelfel ur nätutjämnig		0.35 mm/ $\sqrt{\text{km}}$	0.75 mm/ $\sqrt{\text{km}}$

Tabell 6:3 Tabellen visar slutningsfelen i slingor, samt resultatet av nätutjämnigen av Sälenmätningarna.

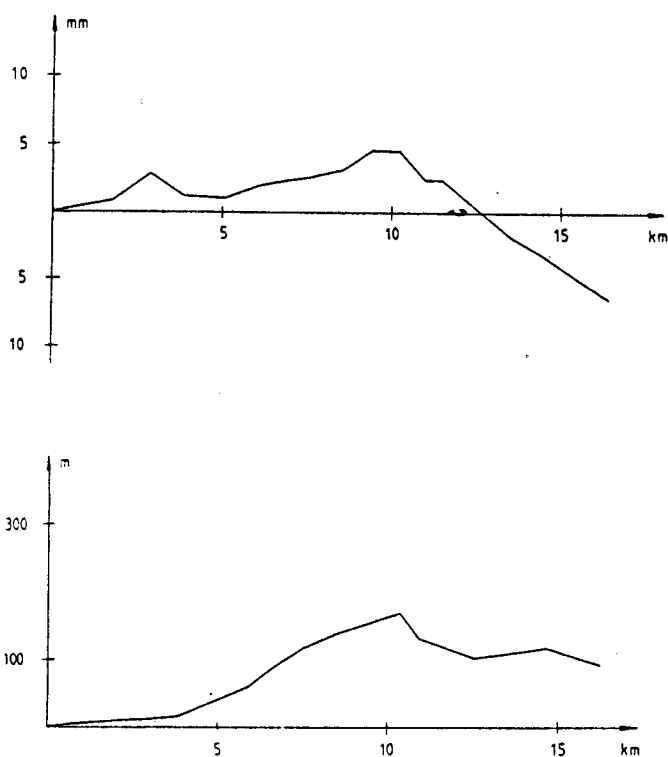
6.2 Utvärdering av MTL kontra ML

För fälttesten mellan tekniker används kassationsgränsen $2.8\sqrt{L}$. Denna kassationsgräns är beräknad med medelfelet $1.0 \text{ mm}/\sqrt{\text{km}}$ för båda teknikerna och med risknivån 5%. För resultat av fälttesten se tabell 6:4.

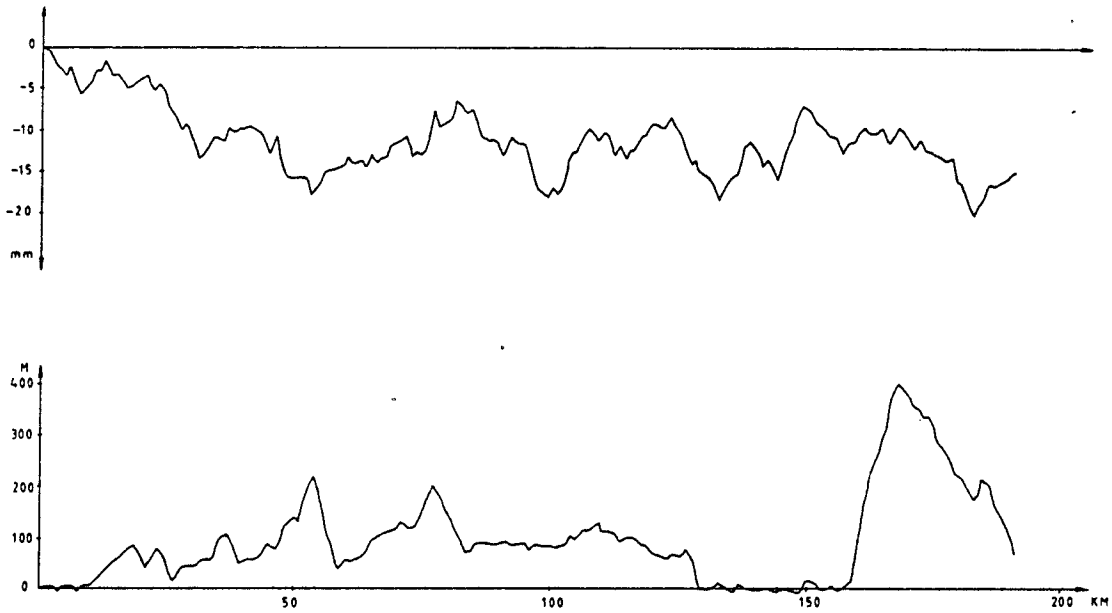
Undersökningen av systematik i differanserna gav ej några signifikanta resultat. Medeltalets medelfel underskred dessutom $0.71 \text{ mm}/\sqrt{\text{km}}$, vilket är det medelfel som erhålls om båda teknikernas medeltal har medelfelet $1.0 \text{ mm}/\sqrt{\text{km}}$. Slutligen beräknades och ritades de ackumulerade differanserna, resultatet redovisas i figurerna 6:2-4.

Plats	antal fixhåll	längd (km)	ant. > $2.8\sqrt{L}$	medeltalets medelfel
Falun MTL 85 - ML 85	18	17.6	0 (0.0%)	0.69 mm/ $\sqrt{\text{km}}$
Sälen MTL 86 - ML 86	196	191.7	6 (3.1%)	0.59 mm/ $\sqrt{\text{km}}$
Jönköping MTL 87 - ML 81	83	85.6	5 (6.0%)	0.69 mm/ $\sqrt{\text{km}}$
Totalt MTL - ML	297	294.9	11 (3.7%)	0.63 mm/ $\sqrt{\text{km}}$

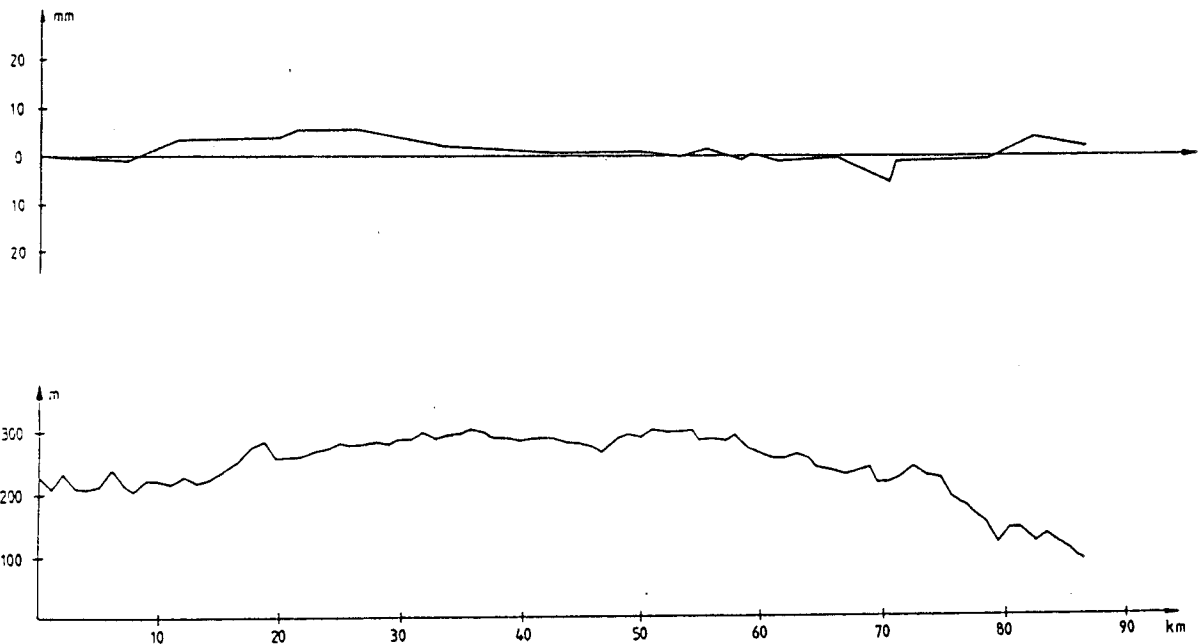
Tabell 6:4 Resultaten av fälttesten av differanserna mellan medeltalen av MTL och ML, samt medeltalets medelfel.



Figur 6:2 Ackumulerade höjddifferanser, MTL-ML, för Falunmätningarna, samt höjdprofil.



Figur 6:3 Ackumulerade höjddifferanser, MTL-ML, för Sälensmätningarna, samt höjdprofil.



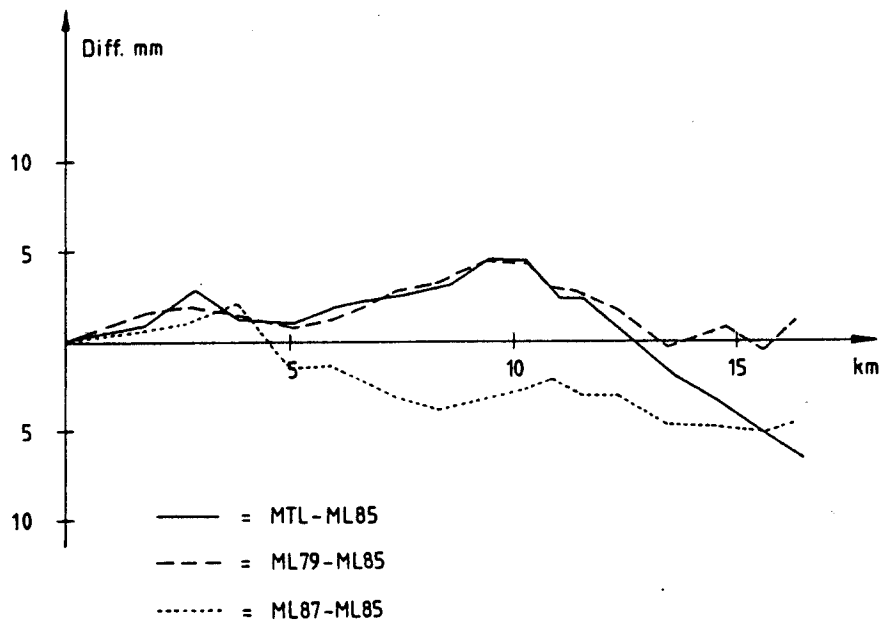
Figur 6:4 Ackumulerade höjddifferanser, MTL-ML, för Jönköpingsmätningarna, samt höjdprofil.

6.3 Utvärdering av MTL och ML kontra andra mätningar

Falunlinjen är mätt ytterligare 2 gånger till med ML, 1979 och 1987 (se tabell 6:5 och figur 6:5).

Plats Teknik/år	Tol.- gräns	Ant fixhåll Ant ommätta	Tot.	Ant. > tolerans	Medeltalets medelfel
Falun ML 79	$2\sqrt{L}$	18 11 (61.1%)	29	17 (58.6%)	1.25 mm/ $\sqrt{\text{km}}$
Falun ML 87	$2\sqrt{L}$	18 0 (0%)	18	0 (0%)	0.49 mm/ $\sqrt{\text{km}}$
ML79-ML85	$2.8\sqrt{L}$	18 -	-	0 (0%)	0.50 mm/ $\sqrt{\text{km}}$
ML87-ML85	$2.8\sqrt{L}$	18 -	-	1 (5.6%)	0.56 mm/ $\sqrt{\text{km}}$
MTL85-ML85	$2.8\sqrt{L}$	18 -	-	0 (0%)	0.69 mm/ $\sqrt{\text{km}}$

Tabell 6:5 Sammanställning av fälttesten för ML79 och ML87 och mellan epoker, samt medeltalets medelfel.



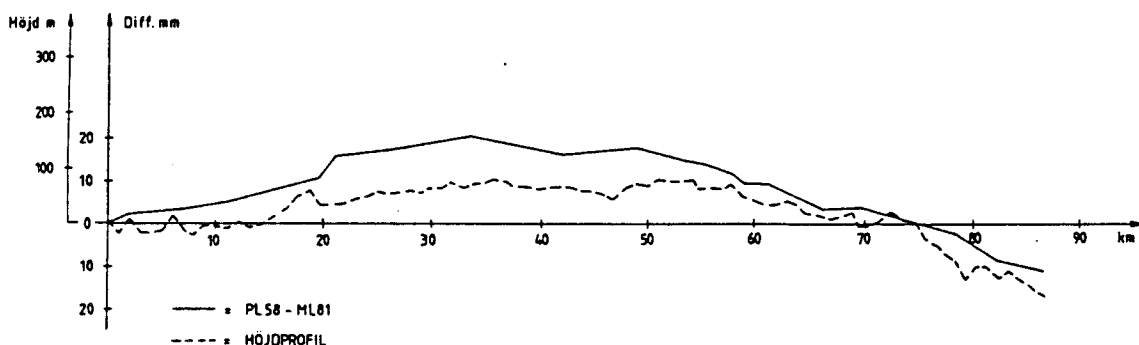
Figur 6:5 Ackumulerade höjdskillnader mellan MTL85-ML85, ML79-ML85 och ML87-ML85.

Jönköpingslinjen är en precisionlinje i den andra precisionsavvägningen och är mätt med fotavvägning 1958, FL58 . Dessa mätningar är korrigerade för jordrundning, stångkomparation och refraktion. Kukkamäkis refraktionsmodell har använts för refraktionskorrektionen <2>.

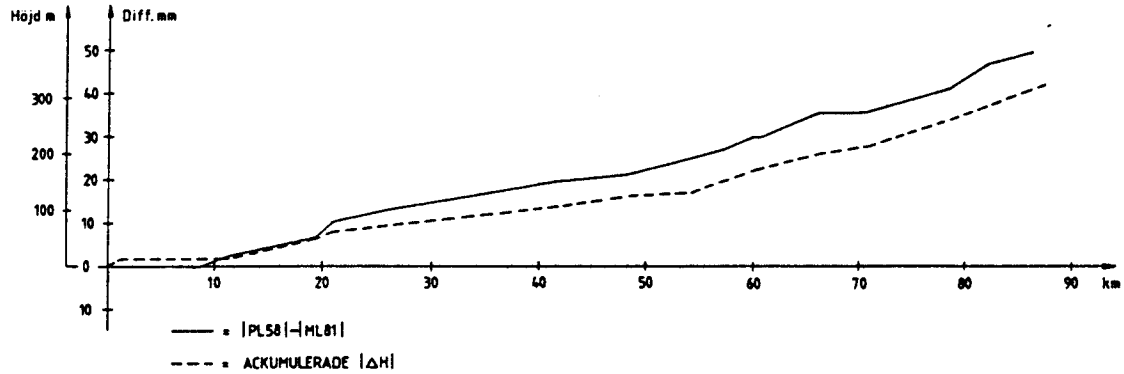
Utväderingen av den inre noggrannheten av FL58 visar på en god precision. Någon systematik kan ej hittas i differansen mellan tur och returmätningarna. Vid en jämförelse med FL58 mot ML85 och MTL85 erhålls en kraftig systematik med avseende på absolutbeloppet av höjdskillnaden. En sådan systematik kan förklaras med endera en dålig refraktionsmodell eller dålig stångkomparation. Refraktionskorrektionen togs då bort och ett något bättre resultat erhöles men systematiken är fortfarande signifikant (se tabellen 6:6 och figurerna 6:6-7).

Plats Teknik/år	Tol.- gräns	Ant fixhåll	Sträcka (km)	Ant. > tolerans	Medeltalets medelfel
Jönköping ML 81	$2\sqrt{L}$	21	85.8	3 (14.3%)	0.68 mm/ $\sqrt{\text{km}}$
Jönköping FL58	$2\sqrt{L}$	21	62.0	0 (0%)	0.29 mm/ $\sqrt{\text{km}}$

Tabell 6:6 Resultat från fälttest och beräkning av medeltalets medelfel.



Figur 6:6 Grafisk presentation av de ackumulerade differanserna mellan FL58-ML81 och höjdprofilen.



Figur 6:7 Grafisk presentation av de ackumulerade differanserna mellan absolutvärdena av FL58 och ML81, samt de ackumulerade absolutvärdena av höjdskillnaderna. Linjär regression med $y=cx$ ger $c= 0.14$ mm/m ; där y är differansen av absolutbeloppet för ML och absolutbeloppet för FL i mm , x är absolutbeloppet av höjdskillnaden.

7. SLUTSATSER

Erfarenheterna som vi har vunnit ur över 700 km höjdbestämningsmätningar med MTL vid olika tidsperioder och områden kan sammanfattas enligt följande:

1. Med MTL-tekniken och dubbelmätta fixhåll uppfyller man kraven för precisionshöjdbestämnin \bar{g} (medeltalets medelfel är bättre än $1.0 \text{ mm}/\sqrt{\text{km}}$).
2. Resultaten från enkelmätningar med MTL visar inga systematiska tendenser i motsats till ML-teknikens resultat, där enskilda mätningar är klart systematiskt belastade (se även tidigare undersökning <5>).
3. Toleransgränsen mellan två enskilda mätningar i motsatta riktningar med MTL kan tillåtas uppgå till $2.8 - 3.0 \sqrt{L}$ vid högsta precisionsmätning.
4. MTL- (Kern E2 och DM 503) och ML- (Ni002) teknikerna ger samma höjddresultat även när dessa skiljer sig väsentligt från tidigare resultat från mätningar utförda exempelvis med klassisk FL-teknik (Wild N3). Skillnaderna mellan MTL och ML kontra FL resultaten visar en systematisk tendens som är proportionell till mätta höjdskillnader.
5. Några effekter av jordmagnetism vid användning av instrumentet Ni002 i samband med ML går ej att påvisa oberoende av mätriktning.
6. Produktionskapaciteten för MTL (med 3 mätbilar) dvs km/tim är i stort densamma som för ML-tekniken - runt 2 km/tim.
7. Produktionskostnaden (kr/km) är dock högre för MTL-tekniken. Detta beror dels på att investeringskostnaderna är höga, dels på att det svenska landskapets topografi och vegetation ej tillåter långa syftlängder vid MTL (mindre än 200 meter) samt att tidsåtgången per uppställning är för stor.
8. MTL-tekniken är mycket mera högteknologisk och automatiserad än ML, vilket gör den känsligare i samband med fältproduktion (svårt att upptäcka och laga fel, särskilt elektriska fel).
9. MTL kräver dessutom erfaren och välutbildad personal då alla i laget skall utföra kvalificerade mätningar (vid ML är kraven lägre) samt följa väl definierade mätrutiner för att uppnå den höga noggrannheten.

10. MTL-tekniken kan med fördel användas som en 3D-mätteknik s k "MXYZ". Resultaten visar mycket hög kvalitet samt tyder på att tekniken med fördel kan användas inom tätorter m m.
11. ML-tekniken, som fortfarande är den mest konkurrenskraftiga (sammanlagt) höjdbestämnings-tekniken, skulle vinna i att bli mera "automatiserad" t ex genom automatisk avläsning i instrumentet eller vid stängerna.

Sammanfattningsvis kan vi säga att ML och MTL är 2 mycket effektiva precisionshöjdbestämnings-tekniker som konkurrerar ut den klassiska fotavvägningstekniken och som dessutom har potentiella möjligheter att förbättras.

Vi tror att MTL-tekniken i fjällvärlden och i mycket kuperad terräng med öppet landskap också ekonomiskt kan komma att konkurrera med ML-tekniken. Denna möjlighet är dock begränsad i Sverige.

8. REFERENSER

1. BECKER, J-M & LITHÉN, T: Nya metoder för precisionshöjdbestämmning - Framtidsutsikter. Svensk lantmäteri-tidskrift 1985:6.
2. KUKKAMÄKI, T J: Über die Nivellitische Refraktion. Veröffentlichungen des Finnischen Geodätischen Institutes, No 25, Helsinki, 1938.
3. PERSSON, C-G: Några enkla metoder för noggrannhetsanalys av avvägningsnät. LMV-rapport 1985:2.
4. RUEGER, J-M & BRUNNER, F K: EDM-height traversing versus Geodetic Leveling. The Canadian Surveyor. Vol 36. No 1, s 69-88. 1982.
5. SJÖBERG, L: An analysis of systematic errors in the Swedish motorized precise levelling technique. LMV-rapport 1981:2.
6. WIDMARK, J & BECKER, J-M: The Motorized Levelling Technique - The Swedish Experience. LMV-rapport 1984:15, ISSN 0280-5731.