



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

Tekniska skrifter - Professional Papers

LMV-RAPPORT 1986:18

ISSN 0280-5731

MODERN STOMMÄTNING

Del 1: Principer för nätutformning

Del 2: Pågående utvecklingsarbete

av Clas-Göran Persson



Gävle 1986

Förteckning över utgivna LMV-rapporter 1986

Rapport	Titel	Upphovsman
1986:1	SUKK - A Computer Program for Graphic Presentation of Precision and Reliability of Horizontal Geodetic Networks	Clas-Göran Persson
1986:2	Swedish Experience of Wall-Mounted Targets	Clas-Göran Persson
1986:3	Datorstöd vid terrängåtergivning	Christian Elvhage
1986:4	A Reinvestigation of the World's Second Longest Series of Sea Level Observations: Stockholm 1774 - 1984	Martin Ekman
1986:5	Kartsymboler för turism, sport, friluftsliv	M-L Lundgren
1986:6	Apparent Land Uplift at 20 Sea Level Stations in Sweden 1895-1984	Martin Ekman
1986:7	Nivellement Indirect Motorise (MTL) & Technique Motorisée XYZ (MXYZ) en Suède	Jean-Marie Becker Thomas Lithén
1986:8	Motorized Trigonometric Levelling (MTL) & Motorized YXZ Technique (MXYZ) in Sweden	Jean-Marie Becker Thomas Lithén
1986:9	Plana stomnät - checklista för planering och genomförande av stommättningsprojekt	Bengt Andersson m fl
1986:10	Ersättning för trafikimmissioner. En redovisning av rättstillämpningen	Erik Åsbrink
1986:11	Icke-monetära nyttors betydelse för innehav av skog och skogsmark	Thomas Lindeborg
1986:12	Förslag till ny svensk nationalatlas	LMV, SSAG och SEB
1986:13	Program för forskning och utveckling inom området Landskapsinformation	Arb.grp för landskapsinformation
1986:14	Kartplan 1986	M-L Lundgren
1986:15	En ny metod för beräkning och kontroll av fri instrumentuppställning	Thomas Lithén
1986:16	Småhustomters marginalvärde	Jan Gustafsson
1986:17	The Use of Elevation Data Bases in Computer Assisted Cartography	Christian Elvhage Peter Andersson



Lantmäteriet
Lantmäteriverket
Samhällsmättnings-
funktionen vid LMV

RAPPORT

Datum

1986-10-01.....

LMV-Rapport nr

1986:18

Kg Mätningsteknik

Titel

MODERN STOMMÄTNING

Del 1: Principer för nätutformning

Del 2: Pågående utvecklingsarbete

av Clas-Göran Persson

Huvudinnehåll

Rapporten består av två delar. I del 1 beskrivs den moderna metodiken vid utformning och förtätning av, främst plana, geodetiska nät. I den andra delen sammanfattas den pågående FoU-verksamheten inom samhällsmättningssektorn - en verksamhet i vilken lantmäteriverket samarbetar med geodetiska institutionen vid Tekniska högskolan i Stockholm (KTH).

Clas-Göran Persson
KG - Geodetiska ut-
vecklingsenheten

LDOK

Kg Mätningsteknik

Stommätning

Beställs hos

Lantmäteriverket
Blankettförrådet
801 12 GÄVLE

Liber Förlag



FÖRORD

Syftet med denna rapport är att ge råd och tips om hur stornät av idag bör utformas och mätas, samt hur utnyttjandet av näten - den vidare för-tätningen och användningen - bör ske.

Huvuddelen av innehållet rör plana stornät mätta på traditionellt sätt (triangulering, polygonisering och mellanformer). Höjdmätning berörs endast delvis, då främst i rapportens senare del. Där behandlas även några nya metoder och förfaranden som kan kombineras med, och i vissa fall ersätta, traditionell teknik.

Alla dessa metoder kan kanske inte betraktas som helt produktionsfärdiga ännu, men information om aktuell forskning och resultat från pågående utvecklingsprojekt fyller en viktig funktion då det gäller att skapa beredskap för förändringar. Ett stort antal referenser och en omfattande litteraturlista borgar för att den som vill veta mer blir anvisad lämpliga rapporter att läsa.

Framställningens karaktär är så olika i början och i slutet att det har känts naturligt att göra en uppdelning i två delar. I del 1 ges en utförlig behandling av metodiken vid utformning av moderna stornät, medan del 2 snarast är en kommenterad sammanfattning av tidigare publicerat material rörande stornätning och stornätsanvändning. Även här finns dock en del nytt. Det har kommit fram ytterligare resultat sedan litteraturlistans rapporter skrevs.

Till grund för innehållet ligger de senaste två årens satsning på samhällsmätning, som lantmäteriverket gjort i mycket nära och gott samarbete med geodetiska institutionen vid KTH - en verksamhet som fortsätter oförminskad och med i stort sett samma inriktning som hittills.

All utveckling måste som sagt föras ut till användarna. Det bästa sättet att göra detta är kanske genom regelrätta kurser. Det är i alla fall något som vi tror på, och därför har vi haft en strävan att snabbt föra ut nya rön via Lantmäteriets kursverksamhet. Hittills gjorda FoU-insatser har på detta sätt redan gett upphov till en rad nya kurser - en sammanställning av utbudet inom det här aktuella området finns som bilaga till rapporten.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

D E L 1: PRINCIPER FÖR NÄTUTFORMNING

TFA:S STOMNÄTSINDELNING	1
STORPOLYGONNÄT	2
TRIANGELNÄTUTFORMNING	4
POLYGONNÄTSHIERARKIER	6
Uppdelning i ordningar	
Geografisk uppdelning	

D E L 2: PÅGÅENDE UTVECKLINGSARBETE

HÖGPUNKTER	11
VÄGGMARKERADE STOMNÄT	11
TRIGONOMETRISK HÖJDMÄTNING	14
FRI UPPSTÄLLNING	16
DATORSTÖD I FÄLT	17
GENOMFÖRANDE AV STOMNÄTSPROJEKT	18
GPS	19
FRAMTIDSPLANER	22

L I T T E R A T U R L I S T A 23

B I L A G A: RÅDGIVNING OCH UTBILDNING INOM MBK-OMRÅDET 26

DEL 1

TFA:S STOMNÄTSINDELNING

De plana stomnäten delas enligt TFA in i följande typer (ordningar):

	Benämning och ordning	Ungefärligt punktavstånd
<u>Triangelnät</u>	1:a ordningens triangelnät (rikets triangelnät)	10-35 km
	2:a ordningens triangelnät (regionala förtättningsnät)	4-10 km
	3:e ordningens triangelnät (lokala förtättningsnät)	0.7-4 km
<u>Polygonnät</u>	1:a ordningens polygonnät	0.1-0.5 km
	2:a ordningens polygonnät	0.1-0.3 km
	3:e ordningens polygonnät	0.05-0.2 km
<u>Linjenät</u>	Stomlinjenät och mätningslinjenät	0.05-0.5 km

Denna indelning ger med dagens synsätt alltför många ordningar. Anledningen till det stora antalet är historisk. Man mätte triangel- och polygonnät på helt olika sätt och med olika utrustning. Även beräkningstekniskt var det stora skillnader, och datorkapaciteten räckte inte till för att utföra alltför omfattande utjämningsberäkningar.

Idag är olikheterna mindre och beräkningskapaciteten större, varför det är dags att ompröva principen för uppdelning i ordningar.

Nu bör målsättningen vara att nät som mätts med

- samma typ av instrument
- liknande mätmetod
- och ungefär samtidigt

slås ihop till en ordning. Dessutom strävar man efter att "sudda ut" gränsen mellan triangulering och polygonisering. Det kan t ex ske genom att introducera s k storpolygonnät (se nedan) eller genom att vid polygonmätning utföra extra mätningar från punkter inuti tågen mot de högreordningspunkter man där kan se - om nu programvaran kan hantera sådana avvikelser från den renodlade polygontågstanken.

Observera att man kan slå ihop nät och nätdelar vid beräkningen även om de har mätts vid olika tidpunkter. Tidigt utförda mätningar bör då kontrolleras direkt genom provutjämning, men den slutgiltiga beräkningen bör avse hela materialet.

I den definitiva utjämnin

g kan också äldre mätningar ingå. Sådana stärker ofta nätet även om punkterna som sådana inte finns kvar. Om markeringarna fortfarande existerar måste man försäkra sig om att de är stabila och inte har rört sig sedan mätningarna utfördes. Bergpunkter är naturligtvis i detta avseende bäst, men även andra markeringar kan ofta användas.

STORPOLYGONNÄT

Storpolygonnät utformas som polygonnät, men med längre siktlängder, och mäts som triangelnät. De blir därför någonting mitt emellan dessa två traditionella nättyper.

Design av storpolygonnät har analyserats i Persson (1984). Vid mätningarnas genomförande bör gälla att

- vinklar mäts i 4 helsatser med sekundteodolit (tvångscentrering), och att
- längder dubbelmäts med EDM-instrument (uppställning i båda ändpunkterna).

Beträffande nätutformningen visas vidare:

Ett storpolygonnät där

- längderna är längre än 1000 m, och
- antalet punkter/tåg ej överskrider 4 st

har en noggrannhet som uppfyller TFA:s krav för 2:a ordningens triangelnät. Punktmedelfelen blir ungefär dubbelt så stora som om punktbestämningen i stället hade skett med triangulering, men TFA-kraven uppfylls likaväl.

Storpolygonnät där

- längderna är 400-1000 m, eller
- maximala antalet punkter/tåg 5-8 st

är på motsvarande sätt noggrannhetsmässigt att betrakta som ett 3:e ordningens triangelnät. Punktmedelfelen blir då ytterligare något större - upp till tre gånger de för triangelmätning - men ligger fortfarande inom TFA:s felgränser.

Om man vill att ett storpolygonnät ska ha någon som helst högre status bör alltså

- längderna inte vara kortare än 400 m, och
- antalet punkter/tåg ej överskrida 8 st

annars är det fråga om vanlig polygonmätning. Dessa riktlinjer baseras dock på en teoretisk studie. Ibland är det svårt att i praktiken uppfylla kravet på 400-meters längder. Detta kan emellertid i viss mån kompenseras genom att antalet mellanpunkter reduceras i motsvarande grad. En minsta sidlängd på 200-300 m och max 4-5 punkter/tåg får därför anses vara ett lämpligt riktmärke i tätortsmiljö, om detta balanseras med längre polygonsidor i området utanför. Den genomsnittliga noggrannheten bör då bli acceptabel, men man måste vara på det klara med att det är svårare att hitta grova fel i polygonnät än i triangelnät.

Med denna definition av storpolygonnät - kombinerad med ovannämnda "moderna" princip för uppdelning av stomnät i ordningar - kan en modifierad schablon för de plana stomnätens hierarki ställas upp. Man får då något i stil med nedanstående tabell:

Benämning och ordning	Ungefärligt punktavstånd
1:a ordningens triangelnät (rikets triangelnät)	10-35 km
2:a ordningens triangelnät (regionala förtättningsnät)	4-10 km
Storpolygonnät	0.2-1.5 km
Traditionella polygonnät (bruksnät)	0.1-0.2 km

Den sista förtätningen kan alternativt utformas som ett väggpunktsnät - särskilt inne i en stadskärna (se nedan). "Linjenät" känns otidsenliga.

Redan i TFA antyds att ett överordnat nät ibland kan utformas som ett polygonnät (med vissa krav på antalet punkter/tåg). Vidare kan man där läsa: "Ofta kan det, ur ekonomisk och teknisk synpunkt, vara till fördel om mätning och även beräkning genomförs i ett sammanhang för nät med olika specifikationer (t ex triangelnät av 2:a och 3:e ordningen)".

TFA indikerar alltså en förändring åt det håll som här har föreslagits, men vår uppställning ger uttryck för en ännu mera långtgående reducering av antalet ordningar.

TRIANGELNÄTSUTFORMNING

Vid planmässig uppbyggnad av triangelnät finns det sällan någon anledning till uppdelning utöver vad som skisserats ovan. (Annat är det vid restaureringar av äldre stamnät då man ibland tvingas att "lappa och laga" så gott det går.) Man försöker alltid bestämma hela behovet av triangelpunkter i ett sammanhang, och utformar därur en lämplig nätkonfiguration - så att punkterna hänger samman till ett homogent nät och så att anslutningen, lämpligen till rikets nät, blir bra.

Det man då som "nybörjare" har litet svårt att bestämma är vilken mätningsinsats som krävs för att kvaliteten ska bli tillräckligt hög. Där kan följande storhet vara till hjälp, som ett grovt rättesnöre för hur många mätningar man behöver utföra:

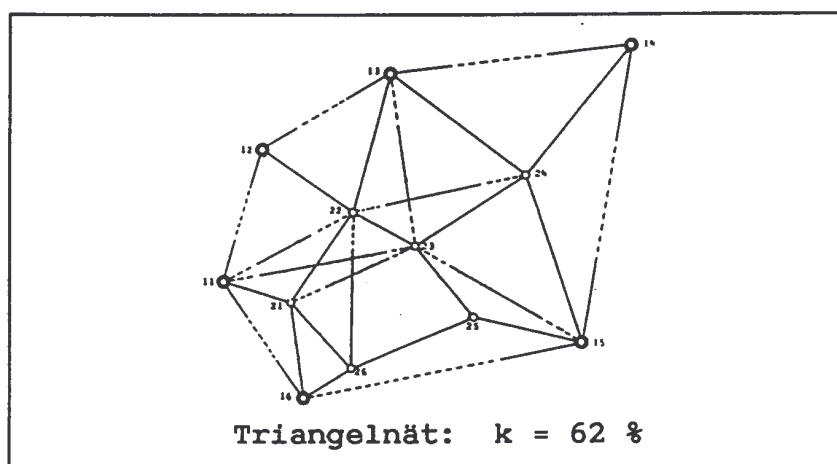
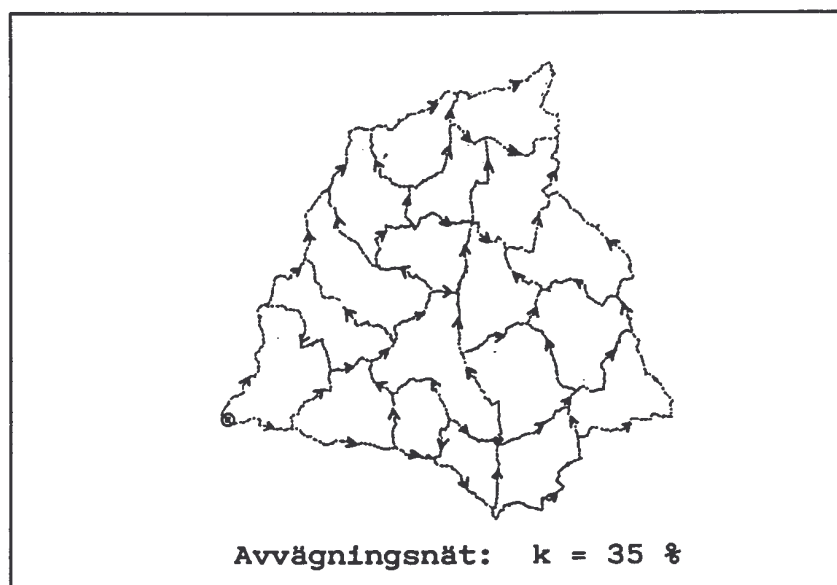
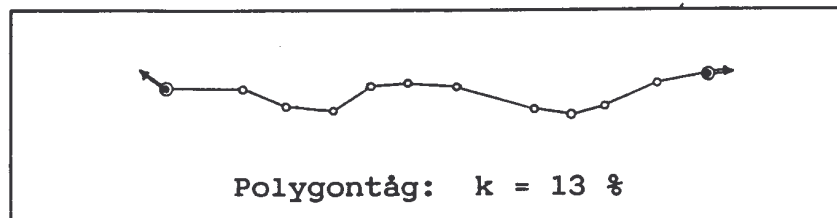
$$k = \frac{\text{antalet överbestämningar}}{\text{antalet mätningar}}$$

Det ger för ett triangelnät

$$k = \frac{l + r - 2p - s}{l + r}$$

där l = antalet mätta längder, r = antalet mätta riktningar, p = antalet nypunkter och s = antalet mätta riktningsserier.

Grovt kan man säga att k är större än 0.5 i ett bra triangelnät. k , beräknat med den första (allmänna) formeln, kan också tas fram för andra typer av nät. Genomsnittsvärden: 0.3 i ett normalt avvägningssät och ned emot 0.1 och därunder i ett polygonnät med långa tåg. (Se exempel i figur 1:1.)



Figur 1:1 Olika nätets kontrollerbarhet

k anger ett näts genomsnittliga "kontrollerbarhet", dvs ungefär i vilken grad varje mätning kontrolleras av övriga mätningar i nätet. k uttrycks ofta i % (50%, 30% respektive 10% i fallen ovan), och ett högt k-värde innebär ett välbestämt nät.

För att kunna erhålla detaljinformation om enskilda mätningars kontrollerbarhet - eller "tillförlitlighet" - krävs ganska avancerade specialprogram. Ett sådant är programmet SUKK, som har utvecklats vid KTH och nu också finns i en utvidgad version på lantmäteriverket - se Berg (1982), Cramling & Hollander (1983), Engberg (1985a), Persson (1985c, 1986a).

På frågan om, och i så fall i vilken utsträckning, vinkelmätning bör utföras blir det kategoriska svaret att det finns alldeles för litet av den varan i dagens triangelnät. En ökning skulle ge betydligt bättre nät. Rimlig balans mellan de två typerna av mätningar får man om man först planerar nätet som ett rent trilaterationsnät (längdmätt nät) och sedan lägger in vinkelmätningstationer i detta näts svaga delar.

POLYGONNÄTSHIERARKIER

Vid planmässig uppbyggnad av polygonnät följer man lämpligen också schablonen ovan: ett storpolygonnät förtätat med ett traditionellt polygonnät, dvs en uppdelning i ordningar. Denna metod kan också användas när man fort måste få fram koordinater i ett visst område, och inte har tid, resurser eller intresse av att mäta yttäckande och fullständigt inom intilliggande områden.

Ett annat behov av uppdelning blir det om man i och för sig har mätt allting, och i ett sammanhang, men det beräkningsprogram man använder inte klarar av att hantera hela materialet. I det fallet är geografisk uppdelning i beräkningsomgångar att föredra.

Uppdelning i ordningar

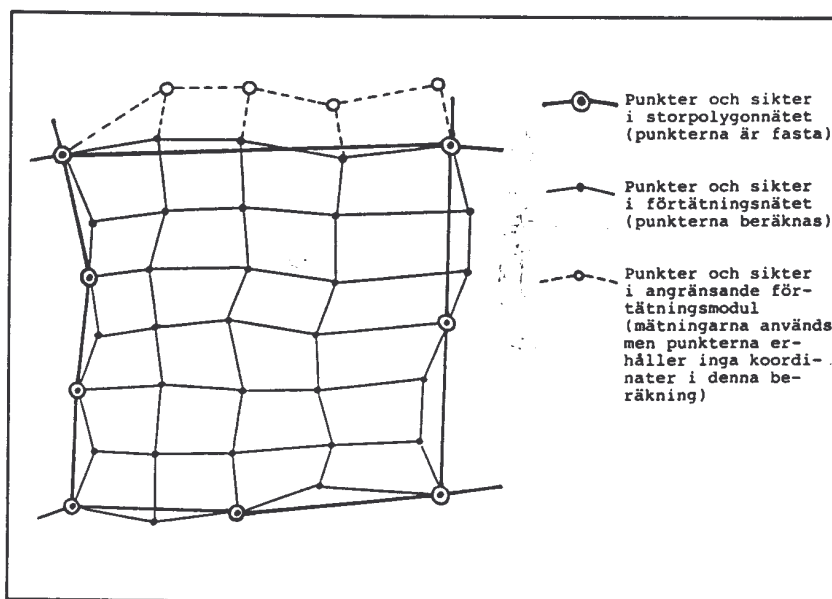
I vår tappning finns det alltså bara två ordningar av polygonnät.

Vid placeringen av punkterna i ett storpolygonnät bör man tänka på att syftet med detta nät inte i första hand är att det ska vara en bas för det dagliga mätandet. Dess funktion är att utgöra en enhetlig stomme för fortsatt förtätning, och därigenom göra en långsiktig stomnätplanering praktiskt och ekonomiskt möjlig.

Punktplaceringen bestäms därför mer av principen "långa sidor och få mellanpunkter i tågen" än av användarnas behov och önskemål. Det gör alltså inte så mycket om punkterna ligger litet fel ur utnyttjandesynpunkt, vilket står helt i strid med hur man bör resonera vid utformning av bruksnät. Där ska alltid användningen vara styrande - även om det ofta slarvas en hel del med den saken!

Då man sedan förtätar vidare bör följande principer gälla (se figur 1:2):

- Förtätningen ska vid varje tillfälle avse hela "maskor" (moduler) i storpolygonnätet. Man får inte nöja sig med att mäta en del av en maska, möjligen kan man mäta flera i ett sammanhang.
- Vid förtättningsmätningen bör ingen sikt mellan storpolygonpunkter passeras utan att anslutning sker. Helst bör varje förtättningspunkt anslutas direkt till en storpolygonpunkt.
- Om sådan direktanslutning inte är möjlig kan det bli många nypunkter i rad utefter ytterkanten på förtättningsmodulen. Man bör då, för att minska nätspänningarna vid kommande förtätningar, ta med några mätningar från angränsande maska. De punkter som berörs av dessa mätningar får dock inga (definitiva) koordinater vid denna beräkning - det får de först vid förtätningen av den modul de tillhör.



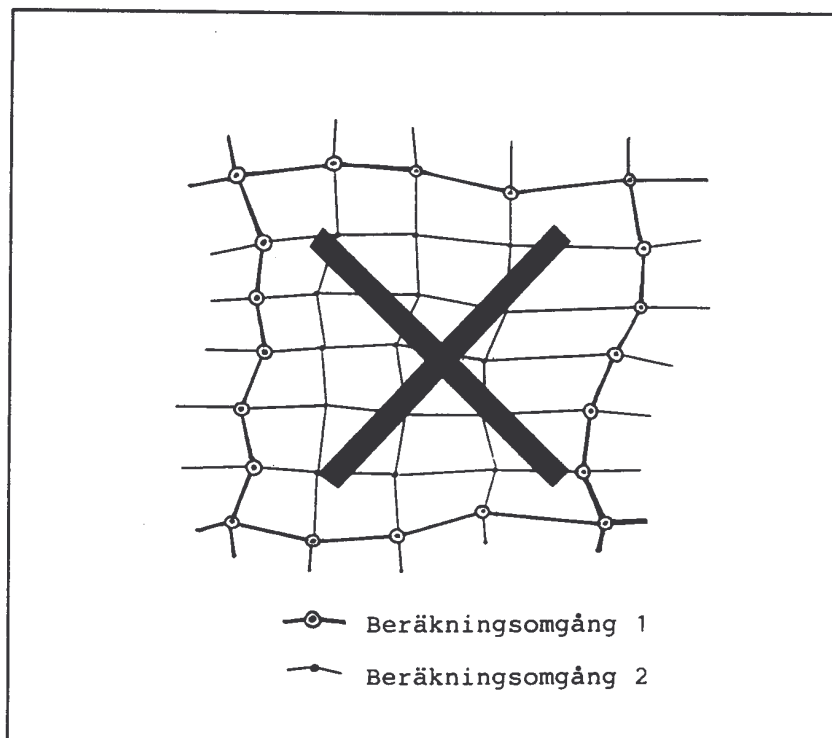
Figur 1:2 Förtätning av en maska i ett storpolygonnät

- Vid anläggning av vägnät bör man, av ovan nämnda skäl, låta detta fylla hela storpolygonnätetsmoduler - en eller flera.

Eftersom total överensstämmelse endast kan garanteras inom en maska bör inte bara punkterna utan även sikterna i storpolygonnätet redovisas på stornätsskarta. Maskorna får på så sätt karaktären av arbetsområden inom vilka man vid varje enskild åtgärd bör försöka hålla sig.

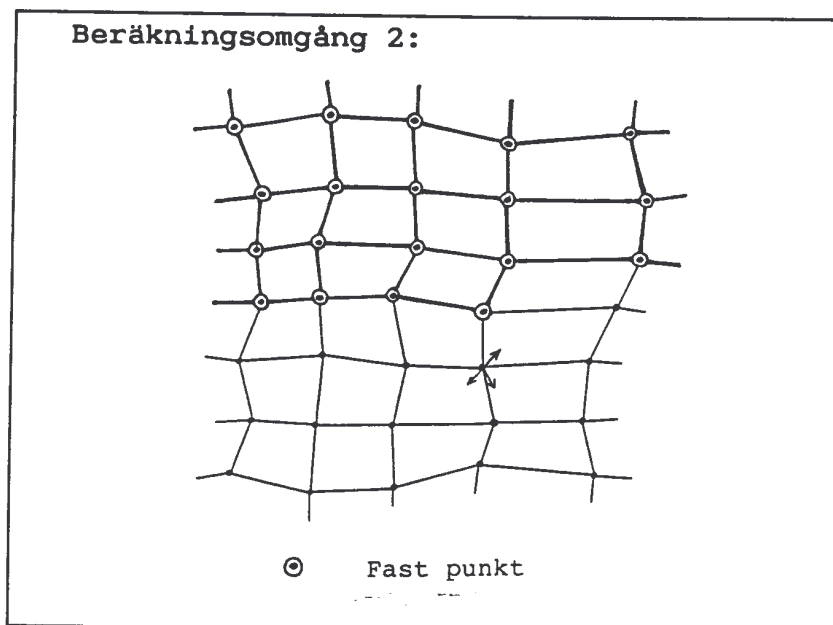
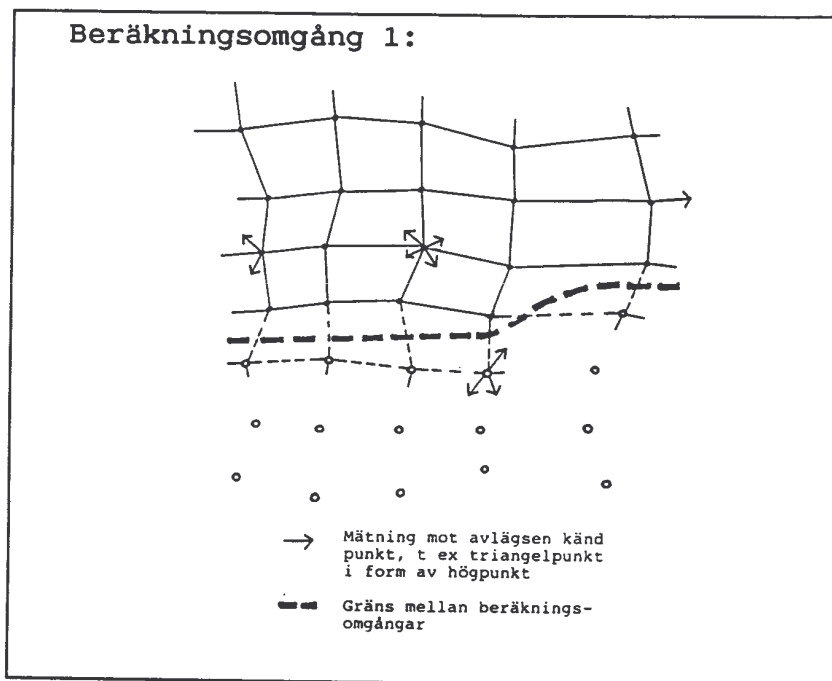
Geografisk uppdelning

Då man har mätt yttäckande, och måste dela upp materialet av beräkningstekniska skäl, får man inte falla in i ett invariant ordningstänkande. I så fall kommer man i den första beräkningsomgången (ordning 1) att få alltför många mellanpunkter och, framför allt, för korta sidor i tågen. Vid förtätningen av dessa maskor (ordning 2) uppkommer då problem när förtättningsnätet ska tvingas in i detta "rangliga" förstaordningsnät. Det beror på att andra ordningens nät på grund av sin yttäckning är av högre kvalitet än ordning 1 - en nätkvalitet som försämras av det olämpliga förfarandet. Metoden i figur 1:3 kan alltså ej rekommenderas!



Figur 1:3 Dålig metod för indelning i beräkningsomgångar

En geografisk uppdelning av materialet - i två eller flera delar - är istället att föredra. I figur 1:4 nedan redovisas ett exempel med två beräkningsomgångar.



Figur 1:4 Rekommenderad metod: Geografisk uppdelning i beräkningsomgångar

(OBS! Endast en del av nätet finns med i figuren. Utgångspunkterna ligger utanför det redovisade området.)

I omgång 1 tas ungefär hälften av materialet samt ytterligare några mätningar i gränsoområdet med - de senare för att minska spänningarna mellan omgångarna. För att ytterligare reducera dessa problem försöker man dessutom att utföra mätningar mot yttre objekt, framför allt i anslutning till områdesgränsen.

I den andra beräkningsomgången betraktas punkterna från omgång 1 som fasta, till vilka resten av materialet ansluts. Även här kan mätningar mot yttre objekt ingå.

Oftast går det att undvika konstruktioner av detta slag; helt motsägelsefritt är inte förfarandet. I regel kan uppdelning i ordningar, med ett storpolygonnät som första polygonnätsordning, tillämpas bara man tänker sig för. Att det blir beräkningsproblem kan man ju se redan vid planeringen.

Det finns dock fall då geografisk uppdelning måste användas. Det är när topografin gör det omöjligt att anlägga ett storpolygonnät (det går helt enkelt inte att få ut några längre sikter). Då föredrar man trots allt en sådan uppdelning före den i figur 1:3 "fördömda" tvåordningsmetoden med ett svagt förstaordningsnät.

D E L 2

HÖGPUNKTER

Ett vanligt inslag i dagens stomnät är s k högpunkter, dvs punkter som placerats högt uppe i torn, master, antenner, på husväggar och liknande, så att de syns vida omkring. Ofta är de permanent markerade för att enkelt kunna användas i vardagsarbetet.

Högpunkter

- kräver färre antal stompunkter eftersom punkterna har ett så stort täckningsområde,
- ger större möjlighet att välja en lämplig uppställningspunkt (man är inte bunden till hur en viss markering har placerats), och
- är genom sin oåtkomlighet skyddade från skadegörelse och annan åverkan.

Något som dock inte har utretts tillräckligt är vilka krav på stomnätsutformningen som användningen av högpunkter ställer. Tidigare har ju stommätning byggts på successiv förtätning, där närnoggrannheten är det som har betydelse. Då man nu börjar att samtidigt använda punkter som ligger långt ifrån varandra är det istället den regionala noggrannheten som är avgörande.

Det är därför inte säkert att kombinationen högpunkter och traditionella nät är helt problemfri. Ett studium av hur högpunktsnät bör utformas bedrivs för närvarande i Södertälje, där LMV tillsammans med kommunen håller på att analysera hela problematiken kring restaurering och komplettering av äldre nät - med tonvikt på just högpunkter. (Vi har i detta arbete haft stor nytta av det tidigare omtalade programmet SUKK, som är speciellt betydelsefullt när man studerar sådant man inte har sysslat med förut och därför inte har någon erfarenhet att falla tillbaka på.)

Beträffande skriftlig dokumentation från projektet finns idag endast projektplanen att tillgå (Sundstrand, 1985), men en rapport är under utarbetande.

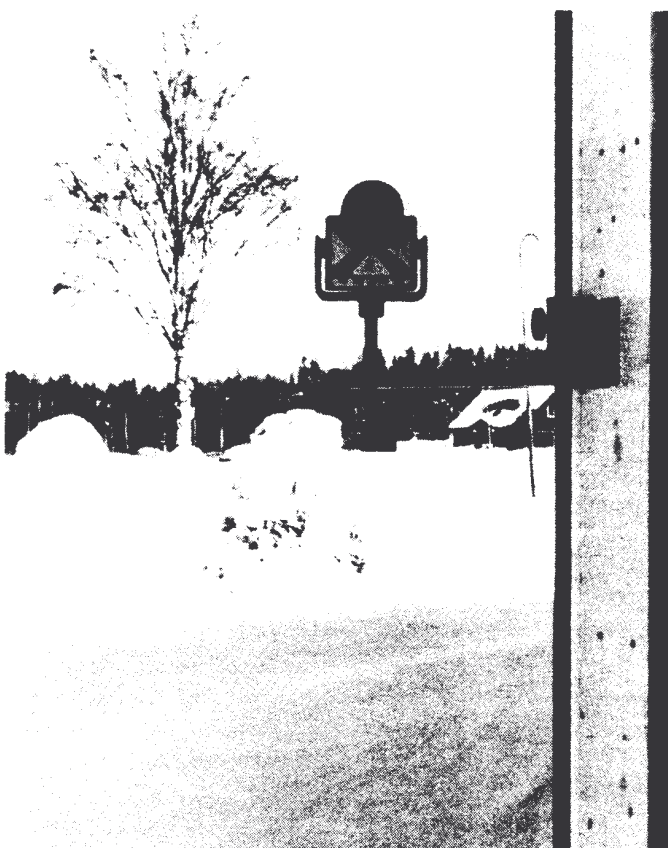
VÄGGMARKERADE STOMNÄT

Väggpunkter är ett specialfall av högpunkter, men eftersom väggmarkerade stomnät är speciella så tillvida att de utnyttjar högpunktstekniken fullt ut, förtjänar de en egen rubrik. Dessutom

finns det en hel del att rapportera på den sidan. Vi vet idag tämligen väl hur väggnät bör utformas, mätas och utnyttjas.

Tidiga erfarenheter av väggmarkerade stamnät har vi fått via Lantmäteriet i Västerbotten. Deras och andras rön finns redovisade i Hellman m fl (1985) och i Persson (1985b, 1986b). Alla användare är överens om väggpunkternas fördelar, som t ex:

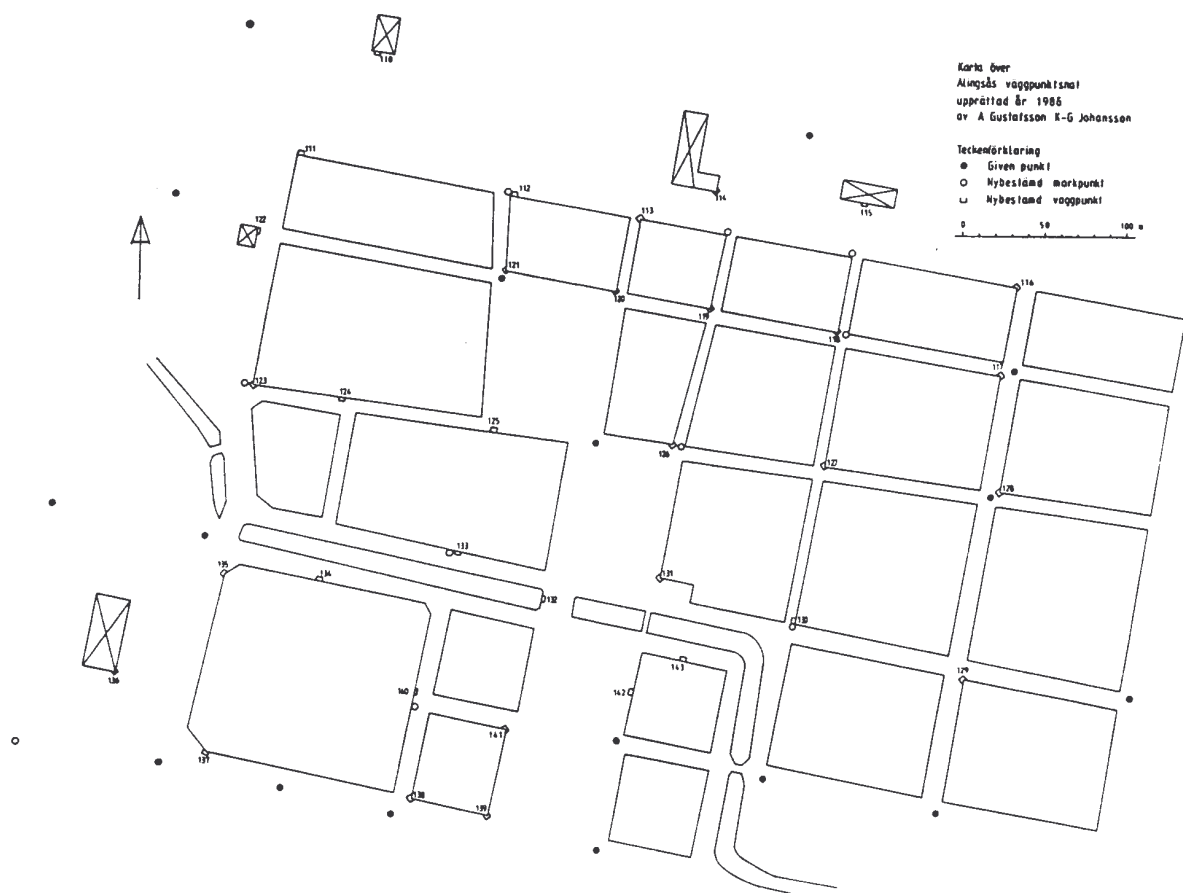
- stabilare läge än punkt i mark
- skadar inte ledningar vid markering
- lätta att hitta och använda - även vintertid
- lätta att signalera
- ger säkrare arbetsmiljö
- tvångscentreras, och ger därför ökad noggrannhet.



Figur 2:1 Markering i hushörn - hörnplatta
mätkonsol och prisma.
(Foto: Torsten Oldenmark)

Två väggnätsprojekt har genomförts efter den erfarenhetsinventering som omnämndes ovan. Det ena, i Umeå kommun, utfördes precis som tidigare väggnätsprojekt i Sverige - med centrisk uppställning över en markerad markpunkt vid inmätningen, och litet av polygonnätstänkandet kvar vid såväl mätning som beräkning. Resultatet blev bra eftersom tidigare erfarenheter kunde tillgodogöras.

Det andra projektet genomfördes i Alingsås, som ett kombinerat examensarbete, utvecklingsprojekt och produktionsjobb (Gustafsson & Johansson, 1986). Skillnaden här var att all inmätning - polär mätning i planet, trigonometrisk bestämning av höjdskillnader - skedde från omarkerade instrumentuppställningar. Inga centreringar således, varken av mätinstrument eller signaler, vilket i kombination med ett helt igenom "pedantiskt" utfört mät- och kontrollarbete gav en anmärkningsvärt hög noggrannhet i slutprodukten. Den "fria" utjämnings av nätet - dvs ingen anslutning, och därför ingen risk för ogynnsam inverkan från eventuell onoggrannhet i de tidigare bestämda markpunkterna - gav bl a följande resultat:



Figur 2:2 Alingsås väggnätsnät; all inmätning har skett från omarkerade "fria uppställningar"

- Precisionen i höjdmätningen var ca $8 \text{ mm}/\sqrt{\text{km}}$ (grundmedelfelet i utjämnings).
- Mellan närliggande väggpunkter var medelfelet i utjämnad höjdskillnad 1-2 mm, och i utjämnat avstånd drygt 2 mm.
- Det ger ett relativt punktmedelfel på ungefär 3 mm i planet och knappt 4 mm i rymden (3 D), också det mellan närliggande punkter.

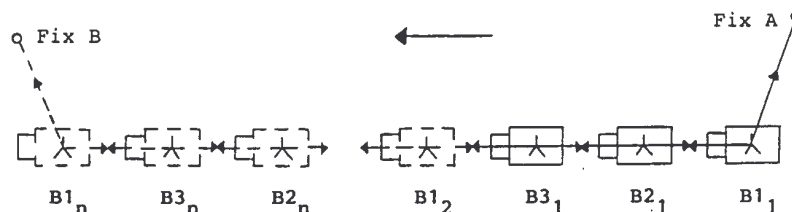
Försök att klara det med traditionella metoder den som kan!

TRIGONOMETRISK HÖJDMÄTNING

Den mest intressanta erfarenheten från Alingsåsprojektet är kanske den höga noggrannheten i den trigonometriska höjdmätningen. Detta sätt att mäta höjder är rätt tillämpat - mycket användbart, och inte alls en andra klassens metod som många har för sig.

Ett utmärkt exempel på detta är MTL (Motorized Trigonometric Levelling = motoriserad trigonometrisk höjdmätning), som kan sägas vara en fortsatt utveckling av den nu etablerade motoriserade avvägningen. Det är alltså en bilburen teknik, men vid MTL används inte traditionella avvagningsinstrument, utan istället totalstationer - ett instrument på var och en av de tre bilarna, se fig 2:3. Även i övrigt är metoden teknikkrävande. Bl a ingår en mikrodator och utrustning för telemetrisk överföring av mätdata.

De tidigaste försöken, som också innefattade test av olika fabrikanter utrustning, finns redovisade i Becker & Lithén (1985, 1986), se även Becker (1985). Redan då kunde man rapportera en mätprecision bättre än $1 \text{ mm}/\sqrt{\text{km}}$, dvs i nivå med den för precisionsavvägning. Sedan dess har lantmäteriverket anskaffat egen utrustning - tre instrument av fabrikat Kern (elektronisk teodolit E2 + längdmätare DM503). För närvarande pågår en parallell undersökning av MTL och motoriserad avvägning i syfte att

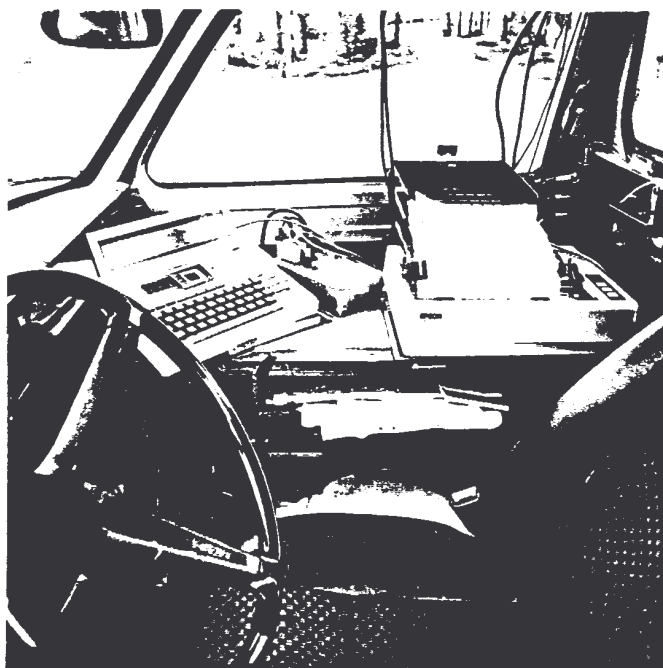


Figur 2:3 Principen för MTL

- analysera de två metodernas mätprecision,
- klarlägga eventuella systematiska effekter i de två metoderna, eller systematiska skillnader dem emellan, samt att
- studera hur olika terrängförhållanden påverkar mätningarna.

I första hand strävar man efter att åstadkomma ett komplement till motoriserad avvägning, att användas i starkt kuperade områden och i övrigt där MTL visar sig vara konkurrenskraftig. Det har dessutom gjorts försök att samtidigt bestämma plankoordinater (MXYZ = motoriserad XYZ-teknik). Det är i många sammanhang intressant att snabbt få fram bra koordinater utefter vägarna, och planer på att fortsätta denna verksamhet finns.

En kombination av den motoriserade tekniken och inmätning av vägnät vore också värd att pröva. Metoden med inmätning av väggpunkterna från fria uppställningspunkter är därvid särskilt intressant (mätning i gatumiljö, inga mätningar mellan uppställningspunkterna). Med en bil - det behövs ju bara en - utrustad med totalstation och mikrodator för registrering, lagring och fältkontroll av mätdata, skulle ett vägnät kunna mätas bra mycket snabbare än med det manuella förfarande som tillämpades i Alingsås. Finns det någon som har planer på ett vägnät, och som skulle kunna tänka sig att agera "försökskanin"?



Figur 2:4 MTL - utrustning för datainsamling

FRI UPPSTÄLLNING

Högpunktsnäten och vägnäten, för att återknyta till dem, kräver alltså fri instrumentuppställning vid utnyttjandet. Fri uppställning innebär här bestämning av stationspunkten direkt i samband med inmätning/utstakning. I begreppet ligger i regel också att punktbestämningen ska kunna ske med en godtycklig kombination av längd- och vinkelmätningar.

Fördelarna med metoden är att den är noggrann - inga centreringsfel och inga dåligt mätta instrumenthöjder - samtidigt som den är arbetsbesparande. Mätoperationen kan anpassas till rådande förhållanden i stället för att vara bunden till ett fast punktläge och en viss beräkningsmetod. Mätlaget kan ställa upp på det mest strategiska stället, och göra de mätningar som är enkla att genomföra och som ger den högsta noggrannheten.

Om mätning och framför allt beräkning i samband med fri uppställning har det skrivits ganska mycket, se t ex Gustafsson & Johansson (1986), Hellman m fl (1985), Lithén (1986a,b), Olofsson & Persson (1983) samt Persson (1985b). Principen är genomgående kontroll, kontroll och åter kontroll, vilket på grund av det ringa antalet överbestämningar kräver ganska avancerade metoder. Kontrollen bör dessutom helst ske direkt i fält! Beträffande de olika förfarandena för detta hänvisas till ovannämnda rapporter, men en sak förtjänar att upprepas i sammanhanget: Det mäts för litet; inmätningen av den fritt uppställda stationspunkten måste utföras med flera överbestämningar för att vara tillförlitlig! Nog måste det vara mödan värt att ägna några minuter extra åt inmätningen, för att på så sätt försäkra sig om en välbestämd utgångspunkt för det fortsatta arbetet - särskilt som man då också kan kontrollera stompunkterna man mäter in sig ifrån.

Ett område som har hanterats litet styvmoderligt hittills är höjdbestämningen av stationspunkten. Hur långt bort kan mina kända punkter ligga för att jag vid trigonometrisk höjdmätning ska få ett användbart resultat?

Detta har delvis att göra med stornätsutformningen - det som studerats i Södertäljeprojektet - men kanske mer med mätmetoden som sådan. Därför bör svaret på frågan kunna ges efter en analys av resultaten från mätningen av vägnätet i Alingsås och från försöken med MTL. Preliminärt är dock slutsatsen den att inmätningen i planet

kan ske med utnyttjande även av avlägset belägna punkter, medan man vid höjdbestämmningen endast bör använda närbelägna fixar.

DATORSTÖD I FÄLT

En strikt beräkning av fri uppställning och användning av avancerade felsökningsmetoder - samt kraven på att kunna göra detta direkt på platsen - kräver tillgång till en kraftfull fältdator.

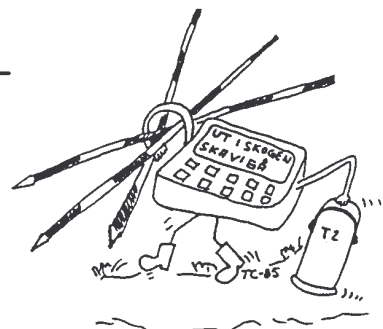
Instrumentfabrikanternas "datastackar" lämnar härvid en hel del i övrigt att önska. Man är i regel bunden till en viss kombination mätinstrument/datastack - med komplikationer som följd om man, som i Lantmäteriet, har flera olika fabrikat i sin instrumentpark. Dessutom är man helt hänvisad till fabrikantens idéer om hur mätningen och beräkningen ska ske, samt vilka fältkontroller som behövs.

Därför planerar Lantmäteriet att utveckla ett eget fältdatorsystem. Baserad på en hårdvaruinventering gjord av geodetiska institutionen på KTH på uppdrag av LMV (Cederholm, 1985a) föreligger nu följande kravspecifikation för den dator som ska utgöra bas för denna utveckling:

- Den ska vara en kraftfull och fältmässig mikro-dator (tillräcklig kapacitet för lagring av såväl program som data, vädertålig, bärbar).
- Användaren ska själv kunna programmera den i något lämpligt högnivåspråk, förslagsvis Turbo-Pascal+.
- Den ska ha inbyggda rutiner för kommunikation med olika typer av geodetiska instrument (subrutiner som kan anropas direkt från applikationsprogrammen, oberoende av vilket instrument som datorn för tillfället är ansluten till).

Utgående från denna hårdvara ska Lantmäteriet utveckla nödvändiga tillämpningsprogram - i enlighet med modern mätningsteknik, med gott stöd för användaren och med fullständig kompatibilitet med "hemmasystemets" punkt- och kartbaser (Cederholm, 1985c).

En annan applikation som är i behov av datorstöd i fält är geodetisk detaljmätning. Även här har geodesi/KTH lagt



ned en hel del arbete. De har bland annat, också det på uppdrag av LMV, tagit fram ett förslag till system för insamling och kodning för Lantmäteriet (Cederholm, 1985d, 1986) - ett förslag som nu delvis håller på att tas i bruk. För det fullständiga införandet behövs emellertid fält-datorn, och det användarstöd den kan ge, och det får därför anstå tills denna finns framme.

KTH arbetar vidare inom detta område. För närvarande bedrivs ett BFR-projekt med titeln "System för rationell hantering av lägesbunden information" (Cederholm, 1985b). Där ingår dels en allmän studie av olika metoder för insamling av lägesbunden information, dels en detaljstudie av det geodetiska delområdet.

GENOMFÖRANDE AV STOMNÄTSPROJEKT

Ja, som framgår av det som tagits upp hittills är det ganska mycket man måste tänka på vid "modern stommätning". Det är inte konstigt om man som nybörjare känner sig litet vilsen och inte vet i vilken ände man ska börja.

Därför har vi tagit fram en "checklista" för planering och genomförande av stommätningensprojekt (Andersson m fl, 1986), som tar upp allt från de första trevande skisserna på planeringsunderlaget fram till stornätsredogörelsen. Dessutom finns det en speciell rapport om grunden till all mätningensverksamhet: Vård och kontroll av instrument (Andersson, 1985), och i Peterson (1985) redovisas en noggrannhetsundersökning av moderna mätinstrument (elektroniska takymetrar).

Trots allt kan assistans behövas - t ex då det gäller anslutningsfrågor, utformning av mätprogram och utvärdering av stornätsförslag. Sådant kan lantmäteriverkets Rådgivningsenhet hjälpa till med. Vidare är simuleringsprogrammet SUKK nu så inbäddat i det övriga programsystemet vid LMV att vi kan erbjuda våra tjänster även på det området. Att se en simulering av detta slag som ett självklart moment i stornätsplaneringen garanterar en bra slutprodukt och gör det möjligt att korta ned den tid det tar att utforma nätet. Vid simuleringen erhålls också:

- mätprogram
- nätkarta
- anvisningar för felsökning i samband med beräkningen

vilket även underlättar och ger tidsvinster i det fortsatta arbetet.

GPS

Hur kan det då komma sig att man ägnar kraft åt att utveckla nya typer av geodetiska stornät, att förfina gamla mätförfaranden och att utarbeta nya, nu när vi har GPS - "satellittekniken som kommer att ersätta all traditionell mätning och göra stornäten överflödiga" - för att citera de största entusiasterna.

Ja, anledningarna är flera:

- Det finns applikationer som är mindre lämpade för GPS - åtminstone som tekniken ter sig idag. Detaljmätning är sannolikt inte den tillämpning där GPS-tekniken kommer bäst till sin rätt. Traditionell teknik kommer där att vara konkurrenskraftig under rätt lång tid framöver, och då ligger det nära till hands att även starta upp inmätningen på vanligt sätt (fri uppställning, småpunktståg etc).
- Det finns tecken som tyder på att det blir problem att använda GPS inne i tätorter. Höga byggnader ger avskärmningsproblem och liknande störningar. (För väggpunktsnät är förhållandet precis det motsatta - de passar bäst i tätort - varför denna teknik kan komma att bli ett bra komplement till GPS inne i städerna.)
- De nya mätningarna måste anslutas till existerande stornät för att bli kompatibla med tidigare detaljmätningar. Detta är inte enbart ett transformationsproblem. På grund av den "gummiduksdeformation" som de äldre näten har - och som är en konsekvens av den traditionella uppdelningen av nät i flera ordningar - krävs troligen att GPS-mätningarna ansluts till det lokala stornätet och inte enbart till det överordnade nätet. Slutsatsen härav blir att GPS-observationer även måste utföras på kringliggande polygonpunkter, vilket reducerar tidsvinsten och kräver att det finns punkter kvar som definierar det befintliga systemet.
- Speciellt höjdbestämningen kan bli ett problem, åtminstone när noggrannhetskraven är höga. Traditionell höjdmätning ger höjden över geoiden. GPS däremot ger, initialt, höjden över ellipsoiden. Därför krävs detaljerad kunskap om geoidens höjd över referensellipsoiden (geoidhöjden) för att dessa höjder ska kunna räknas om till "vanlig" (ortometrisk) höjdinformation:

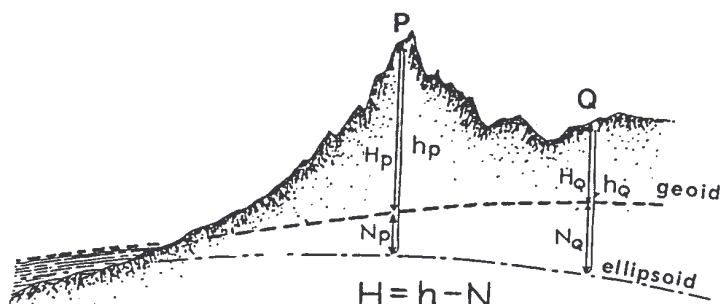
$$\left[\begin{array}{l} \text{en punkts höjd} \\ \text{över geoiden} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} \text{höjden över} \\ \text{ellipsoiden} \end{array} \right] - \text{geoidhöjden}$$

(Se även figur 2:5.) En så detaljerad geoid finns inte idag - den måste tas fram. Ja, det räcker inte ens med det. Man måste också känna det lokala höjdsystemets relation till geoiden för att få fullständig överensstämmelse. Även här krävs därför sannolikt GPS-observationer på närliggande, tidigare bestämda punkter för att etablera detta samband.

Mot bakgrund härav kan det slås fast att den traditionella tekniken också fortsättningsvis behövs. En ytterligare osäkerhetsfaktor är att noggrannheten i punktbestämningen bl a beror på kvaliteten i satelliternas banddata. För närvarande är man hänvisad till banddata från USA, och deras policy beträffande dessa datas tillgänglighet och kvalitet i framtiden är något oklar. (Ett sätt att komma förbi detta problem vore att etablera ett "eget" - europeiskt eller kanske t o m skandinaviskt - spårssystem för bestämning av banddata.)

Denna något avvaktande hållning kan låta som konservatism och "bakåtsträvande", men våra (LMV:s) första tester av tekniken indikerar:

- Mätprecisionen vid användande av GPS, med de hård- och mjukvaror vi haft tillgängliga i våra projekt, är för närvarande lägre än den som de moderna EDM-instrumenten ger.
- Tillförlitligheten i resultaten från våra försök är också sämre. Det förekommer en del oförklarliga "konstigheter", t ex spöksignaler orsakade av reflekterande ytor som väggar och radio- och TV-sändare.
- Även skog ger avskärmningsproblem, varför det behövs master och torn också vid GPS-mätning.



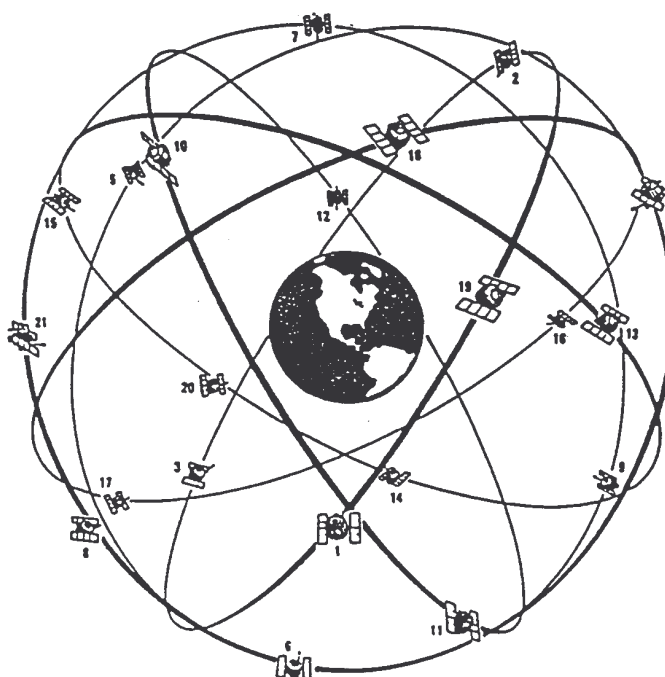
Figur 2:5 Sambandet mellan höjden över geoiden (H), höjden över ellipsoiden (h) och geoidhöjden (N).
(Ur: Sjöberg, 1985)

Dessa behöver lodas och centreras på vanligt sätt - med traditionella metoder och traditionell utrustning (som alltså måste medföras).

- Hårdvaran måste vidareutvecklas för att bli helt fältmässig.
- Beräkningstekniken måste strömlinjeformas. Bland annat måste frågan om hur GPS kan kombineras med terrestra mätningar och nät utredas.

Satellittekniken kommer dock att innebära förändringar så småningom. Gissningsvis blir uppvaknandet smärtsamt för den som tror att GPS inte är något man behöver bry sig om inom överskådlig tid, och besvikelsen hos den som har en övertro på tekniken - och på att andra kommer att lösa de praktiska problemen - kommer sannolikt att bli stor. Svensk mätningsteknik måste "hänga med" och skaffa sig egna erfarenheter! De första stegen har tagits dels genom bildandet av en svensk "GPS users group" - med representanter från lantmäteriverket, vägverket, sjöfartsverket och militären, samt Uppsala universitet och de tekniska högskolorna i Göteborg (Chalmers), Lund och Stockholm (KTH) - dels genom att de senare (Chalmers, Lund och KTH) nyligen har beviljats anslag för inköp av GPS-mottagare.

18 SATELLITES PLUS 3 ACTIVE SPARES



Figur 2:6 Satellitsystemet GPS (Global Positioning System) som det kommer att se ut när det är fullt utbyggt omkring 1990

En utmärkt introduktion till GPS, med en sammanställning av utbudet av mottagare våren 1986, återfinns i examensarbetet Pehrson (1986) - se även Sjöberg (1985). Resultaten av lantmäteriverkets tester av mottagarna Trimble och Texas re-dovisas i Jonsson (1986).

FRAMTIDSPLANER

Många av rapporterna och de metoder som där presenteras baseras på modern beräkningsteknik. Önskvärt vore naturligtvis att utveckla ett helt strömlinjeformat och "tidsenligt" beräkningssystem i stället för det "lappverk" av äldre och delvis helt olika program, som man idag har på LMV och på de flesta andra håll. En högre grad av integrering med databaser och övrig hantering av lägesinformation behövs också.

Sådana utvecklingsplaner finns sedan länge på lantmäteriverket, LMV/KG (1984), men projektet har fått prioriterats ned till förmån för sådant som det för stunden bedömts vara viktigare att satsa på.

Dröjsmålet har i alla fall haft det goda med sig att BFR-projektet "Standardiserat system för hantering av geodetiska mätdata" (Engberg, 1985b) kommer att hinna slutföras. Denna standard är naturligtvis värdefull som bas för ett dylikt beräkningssystem - när det nu kan komma fram.

Ett annat aktuellt BFR-projekt är Galvenius (1986): "Metoder och instrument för inmätning av underjordiska ledningar".

Verksamheten vid lantmäteriverket den närmaste tiden är inriktad på att slutföra påbörjade projekt, framför allt fältdatorprojektet och testerna av MTL. Om de sistnämnda försöken slår väl ut planeras också en fortsättning med motoriserad polygonisering (MXYZ) - och kanske även någon annan tillämpning av motoriserad mätning.

Överhuvud taget är tre-dimensionella metoder (X, Y och Z) intressanta framöver. Detta gäller generellt, men framför allt kommer en hel del tid och resurser att satsas på GPS-tekniken. I skrivande stund (slutet av september 1986) har en policy för Lantmäteriets engagemang rörande forskning och utveckling kring och användning av GPS lagts fast. Målsättningen är att snarast bygga upp en kompetens om GPS vid LMV, att aktivt delta i FoU-arbetet, att verka för en standardisering av mätdata samt att medverka till att sprida kunskap om GPS-tekniken inom svensk mättningsverksamhet.

LITTERATURLISTA

- Andersson, B (1985) Vård och kontroll av instrument.
Svensk lantmäteritidskrift 1985:6, s. 308-310.
- Andersson, B (1986)
Engberg, L E
Persson, C-G
Sundstrand, G Plana stomnät - checklista för planering och genomförande av stommättningsprojekt.
LMV-rapport 1986:9, Gävle.
- Becker, J-M (1985) Automatisering och motorisering av avväggningsarbeten - nuvarande teknik och framtidsutsikter.
LMV-rapport 1985:8, Gävle.
- Becker, J-M (1985)
Lithén, T Nya metoder för precisionshöjdbestämmning - framtidsutsikter.
Svensk lantmäteritidskrift 1985:6, s. 292-301.
- Becker, J-M (1986)
Lithén, T Motorized Trigonometric Levelling (MTL) & Motorized XYZ-technique (MXYZ) in Sweden.
LMV-rapport 1986:8, Gävle.
- Berg, S (1982) SIMON: Program för simulering och optimering av geodetiska nät.
Examensarbete.
KTH, Stockholm.
- Cederholm, T (1985a) Fältdatorer - utbud och egenskaper.
LMV-rapport 1985:5, Gävle.
- Cederholm, T (1985b) System för rationell hantering av lägesbunden information.
Projektansökan till BFR.
- Cederholm, T (1985c) Datorstödd geodetisk detaljmätning - fältdatorn.
Svensk lantmäteritidskrift 1985:6, s. 311-314.
- Cederholm, T (1985d) Datorstödd geodetisk detaljmätning - insamling och kodning.
Svensk lantmäteritidskrift 1985:6, s. 342-348.

- Cederholm, T (1986) Datorstödd geodetisk detaljmätning - system för insamling och kodning av geodetiska detaljmätningar. LMV-rapport 1986:20, Gävle.
- Cramling, D (1983)
Hollander, P Styrogram för ritning med HP-plotter - beskrivning till programmen i PLOT-LIB. Examensarbete. KTH, Stockholm.
- Engberg, L E (1985a) GRUS - program för grafisk redovisning av utdata från SUKK. KTH, Stockholm.
- Engberg, L E (1985b) Standardiserat system för hantering av geodetiska mätdata. Projektansökan till BFR.
- Galvenius, G (1986) Metoder och instrument för inmätning av underjordiska ledningar. Projektansökan till BFR.
- Gustafsson, A (1986)
Johansson, K-G Vägghmarkerat stornät i Alingsås. Examensarbete, KTH. LMV-rapport 1986:19, Gävle.
- Hellman, B (1985)
Källström, B
Oldenmark, T
Persson, C-G Vägghmarkerade stornät - sammanställning av erfarenheter. LMV-rapport 1985:6.
- Jonsson, B (1986) GPS Observations with Trimble 4000S and Texas TI4100 - Status Report September 1986. NKG, Helsingfors, 1986.
- Lithén, T (1986a) En ny metod för beräkning och kontroll av fri instrumentuppställning. Svensk lantmäteri-tidskrift 1986:3, s. 154-160, samt
- " - (1986b) LMV-rapport 1986:15, Gävle.
- Olofsson, T (1983)
Persson, C-G Kontroll av grova fel vid fri uppställning. Svensk lantmäteri-tidskrift 1983:5, s. 302-308.
- Pehrson, S (1986) GPS - en marknadsöversikt med introduktion. Examensarbete. KTH, Stockholm.

- Persson, C-G (1982) Utjämnings, analys och optimering av triangelnät. NKG, Gävle, 1982.
- Persson, C-G (1984) Analys av noggrannheten i storpolygonnät. LMV-rapport 1984:14, Gävle.
- Persson, C-G (1985a) Några enkla metoder för noggrannhetsanalys av avvägningsnät. LMV-rapport 1985:2.
- Persson, C-G (1985b) Vägmarkerade stomnät - sammanställning av erfarenheter. Svensk lantmäteritidskrift 1985:6, s. 315-320.
- Persson, C-G (1985c) SUKK - ett programsystem för grafisk presentation av precision och tillförlitlighet i geodetiska nät. Svensk lantmäteritidskrift 1985:6, s. 329-335.
- Persson, C-G (1986a) SUKK - a Computer Program for Graphic Presentation of Precision and Reliability of Geodetic Networks. LMV-rapport 1986:1, Gävle.
- Persson, C-G (1986b) Swedish Experience of Wall-mounted Targets. LMV-rapport 1986:2, Gävle.
- Peterson, I (1985) Undersökning av elektroniska takymetrar. LMV-rapport 1985:4, Gävle.
- Sjöberg, L E (1985) Geodetisk positionsbestämning med satellitsystemet GPS. Svensk lantmäteritidskrift 1986:5, s. 302-307.
- Sundstrand, G (1985) Förenkla och rationalisera lokal mätning inom Södertälje tätort. Projektplan. LMV, Gävle.
- Lantmäteriverket, KG (1984) Kravspecifikation för ett nytt geodetiskt beräkningssystem. Intern PM. LMV, Gävle.