



Lantmäteriet
Lantmäteriverket - National Land Survey
S - 801 82 GÄVLE · SWEDEN

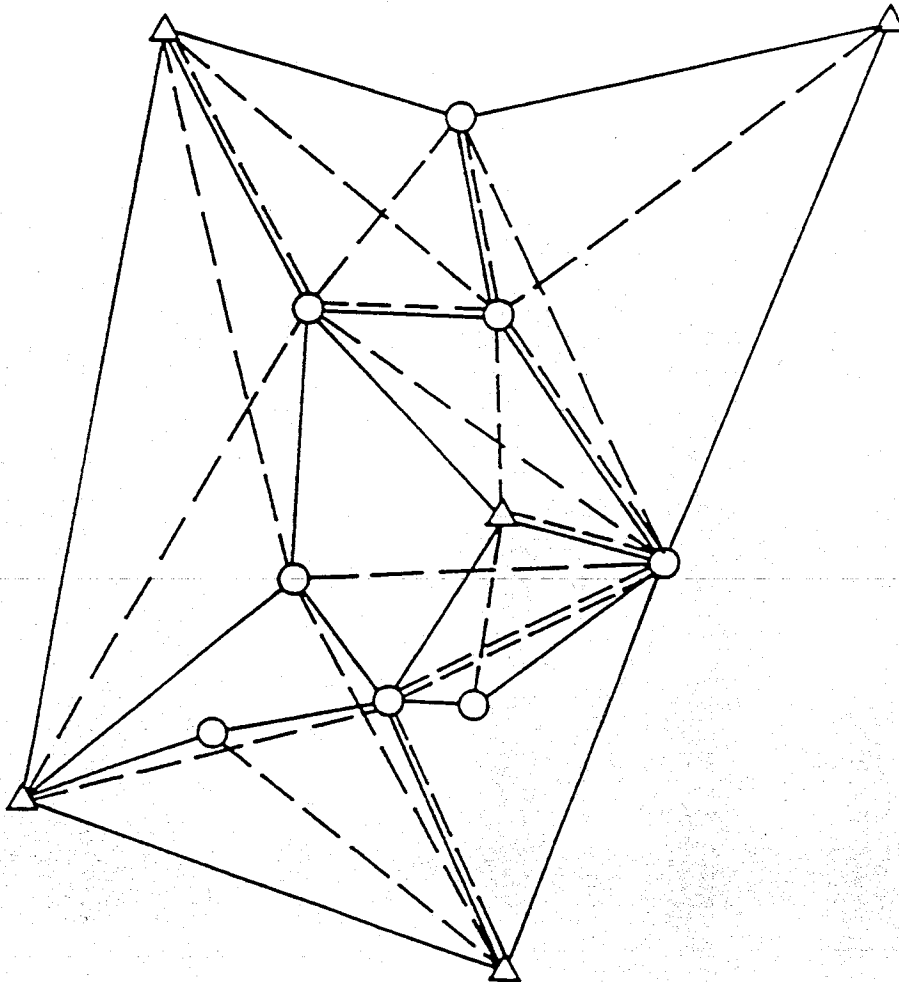
Tekniska skrifter - Professional Papers

LMV-RAPPORT 1991:8

ISSN 0280-5731

PLANERING AV GPS - NÄT

av Thomas Lithén och Clas-Göran Persson



Gävle 1991

Lantmäteriverkets senaste Tekniska skrifter i geodesi

- 1987:11 Lidberg M & Svensson R: En studie av viktsfunktionen vid trigonometrisk höjdmätning i samband med fri uppställning.
- 1987:12 Karlsson B & Löfqvist R: Koordinatsystemsbyte i kommunala nät.
- 1987:18 Jivall A-C & Jakobsson L: Mäta med GPS - beräkningsprogram samt detaljstudie och beräkningsexempel med POPS.
- 1988:10 Becker J-M: Tröghetspositioneringstekniken.
- 1988:12 Becker J-M, Lithén T, Nordqvist A: Erfarenheter med motoriserad trigonometrisk höjdbestämningsteknik (MTL) - jämförelser med övriga tekniker. (Engelsk version 1988:23.)
- 1988:16 Haller L-Å & Ekman M: The Fundamental Gravity Network of Sweden.
- 1988:24 Lidberg M: Frihöjd - ett datorprogram för höjdbestämning vid fri uppställning.
- 1988:26 Ekman M: The Impact of Geodynamic Phenomena on Systems for Height and Gravity.
- 1989:4 Ekman M: Geodesins historia i Sverige - en liten översikt.
- 1990:3 Edgren M & Sundstrand G: Utredning om och förslag till stornät och koordinatsystem i Stor-Stockholm.
- 1990:8 Becker J-M: The Swedish Experience with the ISS Uliss 30 - Results from Tests and Pilot Projects.
- 1990:10 Hedling G, Jivall A-C, Jonsson B: Results and Experiences from GPS Measurements 1987-1990 - SVENAV-87, Local Control Networks and Dual-frequency Measurements.
- 1990:11 Jonsson B & Jivall A-C: Experiences from Kinematic GPS Measurements.
- 1990:13 Jivall A-C & Ollvik L: BFR-projektet "Pseudo-kinematisk/kinematisk GPS-mätning för geodetiska tillämpningar" - lägesrapport för etapp 1.
- 1991:1 Ekman M: Ellipsoider, geoider, koordinatsystem, höjdsystem och tyngdkraftssystem i Sverige.
- 1991:4 Jonsson B: Kort introduktion till GPS.
- 1991:7 Becker J-M & Andersson B: Utvärdering av NA 2000 - nytt digitalt avvägningssystem.

Titel

PLANERING AV GPS-NÄT

av Thomas Lithén och Clas-Göran Persson

Huvudinnehåll

Rapporten utgör en delredovisning av ett arbete som pågår vid lantmäteriverket. Slutmålet är en komplett guide för geodetisk mätning med GPS, som i förlängningen kommer att utgöra en del av skriftserien AMK (Allmänna råd i mättnings- och kartfrågor) och som kommer att ersätta nuvarande TFA.

Här behandlas det mycket viktiga delområde som rör planering av GPS-nät. Rapporten kommer under sommaren/hösten 1991 att gå ut på en mindre fackremiss, varefter arbetet med GPS-delen av AMK påbörjas.

LDOK

Kg Satellitgeodesi

Beställs hos

Lantmäteriverket
Blankettförrådet
801 82 GÄVLE

Allmänna Förlaget



1991-04-01

FÖRORD

Denna rapport utgör en delredovisning av ett arbete som pågår vid de två geodetiska enheterna vid lantmäteriverket (LMV), dvs Kartavdelningens geodetiska utvecklingsenhet (KG) och Produktionsavdelningens geodetiska enhet (PG). I arbetet medverkar 10 personer.

Slutmålet är en komplett guide för geodetisk stommätning med GPS, som i förlängningen kommer att utgöra en del av skriftserien AMK (Allmänna råd i mättnings- och kartfrågor), som är under utarbetande vid LMV och som kommer att ersätta nuvarande TFA. Vi har dock här velat förmedla en tidig och bred insikt inom det mycket viktiga delområde som berör planering av GPS-nät.

Thomas (PG) har, tillsammans med Anders Olsson (också PG), bidragit med de grundläggande idéerna. Clas-Göran (KG) har vidareutvecklat dessa samt, i huvudsak, svarat för utformningen av rapporten, som har granskats och godkänts av övriga medverkande. Det är alltså i högsta grad fråga om ett lagarbete.

Kategorin "övriga" utgörs av:

Bengt Andersson (KG)
Jan Andersson (PG)
Gunnar Hedling (KG)
Ann-Charlotte Jivall (KG)
Bo Jonsson (KG)
Rolf Löfqvist (KG)
Runar Svensson (KG)

till vilka författarna riktar sitt varma tack för deras synpunkter och förbättringsförslag.

Not: Av typografiska skäl har ett antal, litet udda beteckningar använts:

- delta-X, delta-Y, etc betecknar koordinatdifferenser,
- * betecknar multiplikation, och
- sqrt() betecknar kvadrattrot.

1991-04-01

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	<u>INLEDNING</u>	1
2	<u>GRUNDLÄGGANDE TERMER OCH BEGREPP</u>	2
2.1	BASLINJER	2
2.2	SESSIONER	2
2.3	TRIVIALA OCH ICKE-TRIVIALA BASLINJER	2
2.4	ABSOLUT OCH RELATIV POSITIONERING	4
2.5	ANSLUTNING	4
2.6	KAPITLET I SAMMANFATTNING	4
3	<u>PLANERING AV GPS-NÄT</u>	5
3.1	METODEN I SITT SAMMANHANG	5
3.2	METODENS BÄRANDE PRINCIPER	5
3.3	PLANERING AV TEORETISKA GPS-NÄT	6
3.3.1	Den "ideala" nätkonfigurationen	6
3.3.2	Antalet icke-triviala baslinjer i ett nät	7
3.3.3	Antalet sessioner i ett nät	8
3.3.4	Exempel på redovisning av ett planförslag	8
3.3.5	Grundelement för sessioner med olika antal mottagare	10
3.4	METODENS TILLÄMPNING I PRAKTIKEN	12
3.4.1	Modifiering av de grundläggande formelsambanden	12
3.4.2	Utformning av en planeringsstrategi	13
3.4.3	Två mer realistiska exempel	13
3.4.4	Ett praktikfall	15
3.5	SAMMANFATTANDE KOMMENTARER	18
4	<u>KOMBINATION AV GPS OCH TRADITIONELL TEKNIK</u>	19
4.1	STRATEGISKA PUNKTER I BRUKSNÄTET	19
4.2	VAL AV ANSLUTNINGSPUNKTER	21

1991-04-01

5	<u>ALLMÄNNA RÅD OCH RIKTLINJER</u>	23
5.1	STOMNÄTSPROJEKTETS SYFTE	23
5.2	PLANERINGSPRINCIPER	23
5.3	MARKERING	24
5.4	VÅRD OCH KONTROLL AV UTRUSTNING	24
5.5	MÄTNING	24
5.6	BERÄKNING	25
5.7	DOKUMENTATION	25
6	<u>SLUTORD</u>	26
	<u>LITTERATUR</u>	27

1 INLEDNING

GPS-tekniken har under de senaste åren kommit att få en mycket stor betydelse för svensk geodetisk mätningens verksamhet. Framför allt stommätningens område har blivit föremål för en genomgripande utveckling, även om traditionella tekniker och metoder fortfarande väl fyller sin plats.

Med anledning av denna "strukturomvandling" har behoven av råd och riktlinjer för geodetisk stommätning med GPS blivit alltmer påtagliga. Detta alster är ett första försök att tillgodose dessa behov.

Rapporten behandlar en ansats till riktlinjer för utformning av yttäckande GPS-nät och planering av GPS-mätningar i sådana sammanhang. Riktlinjerna har testats under LMVs GPS-verksamhet sommaren 1990, men de ska ändå i viss mån betraktas som preliminära eftersom tekniken - och vårt eget kunnande - fortlöpande utvecklas och förbättras. Syftet har varit att försöka ge någorlunda lättbegripliga tumregler, som kan förstås utan alltför ingående kunskaper om GPS-tekniken. Det återstår att se hur vi har lyckats med denna ansats.

Här behandlas inte polygontåg och liknande långsträckta nätformer. Sådana konfigurationer mäts fortfarande vanligen med konventionell teknik, och rapporten innehåller endast en kort beskrivning av integreringen av GPS och traditionella metoder i dessa sammanhang. Det finns dock ett BFR-projekt som har till syfte att ta fram en praktiskt användbar teknik för GPS-mätning även av denna typ av nät (Jivall & Ollvik, 1990).

Som komplement till beskrivningen av dessa, nog så centrala, delar av problemkomplexet berörs även övriga moment i ett stommätprojekt (markering, redovisning etc). Här är skillnaderna jämfört med traditionell stommätning betydligt mindre, men en rekapitulation har ändå bedömts som nödvändig. Det beror bl a på att vi har märkt att GPS-utvecklingen har inneburit ett tillskott av nya "stommätare", dvs organisationer och personal som tidigare inte alls har sysslat med stommätning och därför inte alltid har de grundläggande principerna helt klara för sig.

Framställningen avslutas med ett antal sådana allmänna "pekpinnar". Först behandlas dock den grundläggande terminologin följt av rapportens huvudnummer: nätutformning och mätstrategier vid stommätning med GPS-teknik.

1991-04-01

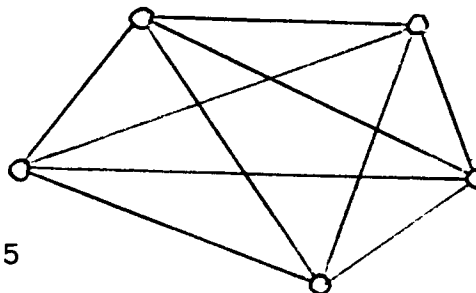
2 GRUNDLÄGGANDE TERMER OCH BEGREPP

2.1 BASLINJER

En baslinje definieras i detta sammanhang som en rymdvektor mellan två GPS-stationer. Denna vektor beskrivs matematiskt av de tre komponenterna (delta-X, delta-Y, delta-Z), dvs koordinatdifferenserna mellan de två stationerna i X-, Y- respektive Z-led i ett rätvinkligt, 3-dimensionellt koordinat-system.

En baslinje bestäms genom samtidig mätning på de berörda GPS-stationerna och definierar indirekt avståndet och riktningen mellan dem.

I ett nät med p st punkter kan maximalt $p(p-1)/2$ baslinjer konstrueras, se figur 1.



antal punkter = 5

antal baslinjer = $5(5-1)/2 = 10$

Figur 1: Totala antalet möjliga baslinjer i ett GPS-nät med 5 punkter.

2.2 SESSIONER

En session (egentligen "mät-session") består av alla de mätningar som utförs samtidigt på ett antal punkter i ett nät. Antalet punkter som berörs av en session är alltså lika med det antal GPS-mottagare som används simultant.

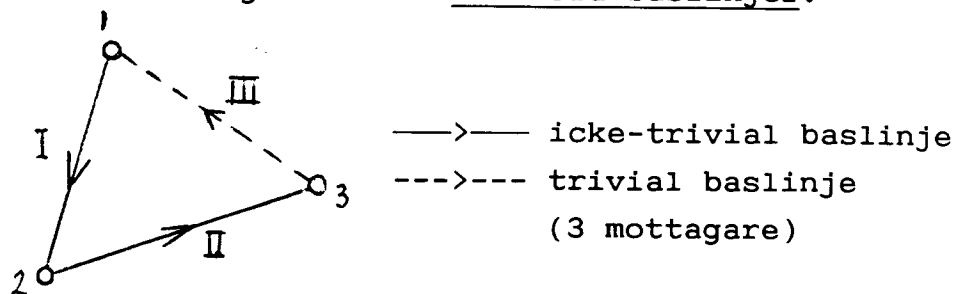
2.3 TRIVIALA OCH ICKE-TRIVIALA BASLINJER

En vanlig metodik vid beräkningen av GPS-mätningar är att bilda baslinjer även ur sessioner med fler än två mottagare och, till att börja med, hantera dessa separat.

I analogi med avsnitt 2.1 kan man för varje session med m st mottagare bilda totalt $m(m-1)/2$ baslinjer. Här uppstår dock en redundans om alla dessa baslinjer tas med, så tillvida att vissa baslinjer utgör linjärkombinationer av de övriga. Därför delas baslinjerna lämpligen upp i två grupper på följande sätt.

1991-04-01

I en viss session utgörs de icke-triviala baslinjerna av de rymdvektorer som inte kan konstrueras genom addition eller subtraktion av andra vektorer inom sessionen. Övriga benämns triviala baslinjer.



Figur 2: Triviala och icke-triviala baslinjer i en session med 3 GPS-mottagare.

Detta betraktelsesätt åskådliggörs i figur 2. Baslinje III är en trivial baselinje som kan bildas genom vektoraddition av de icke-triviala baslinjerna I och II eftersom $I + II = III$. Av figuren framgår dock att urvalet inte är entydigt; vi kunde t ex lika gärna ha betraktat baslinjerna II och III som icke-triviala och I som trivial eftersom $II + III = I$. Det finns alltså utrymme för visst godtycke, men det viktiga är att ha insikt om denna distinktion och att kunna beräkna antalet baslinjer av vardera slaget.

Dessa antal, för en session med m st mottagare, ges av följande formler:

$$b = m - 1 \quad (1)$$

$$b' = (m - 1)(m - 2) / 2 \quad (2)$$

där

b = antalet icke-triviala baslinjer i sessionen

b' = antalet triviala baslinjer

Summering av b och b' verifierar det uttryck för det totala antalet baslinjer inom en session som gavs ovan i detta avsnitt: $b + b' = m(m - 1) / 2$.

Att benämningarna triviala/icke-triviala baslinjer har valts framför de mer naturliga beroende/oberoende d:o kanske kräver en förklaring.

Ur geometrisk synpunkt existerar ett linjärt beroende mellan vissa av baslinjerna. På grund av att baslinjerna beräkningstekniskt hanteras separat gäller dock inte detta beroende ur strikt numerisk synvinkel. De antagna termerna är ämnade att klargö-

1991-04-01

ra denna skillnad, varvid vi har ansett att benämningarna beroende/oberoende är alltför starka i sammanhanget. Detta synsätt stöds också av motsvarande engelska terminologi.

2.4 ABSOLUT OCH RELATIV POSITIONERING

Metoden att bestämma en position enbart med hjälp av GPS-satelliterna benämns absolut positionering. Detta förfarande ger dock inte högsta noggrannhet och är därför inte särskilt intressant för geodetiska tillämpningar, åtminstone inte i samband med stommätning med GPS.

Genom att i stället bestämma positionen i förhållande till tidigare inmätta punkter, på vilka GPS-mätningar också utförs, kan noggrannheten höjas betydligt. Denna relativa positionering är därför den mest använda metoden inom geodesin.

Att det snarare är koordinatdifferenser än absoluta koordinater som där är av intresse har redan antytts i beskrivningen av begreppet baslinje, och en konsekvens av detta är att mätningar i ett GPS-nät måste ske på såväl kända punkter som på nypunkter.

2.5 ANSLUTNING

Absoluta positioner i användarens koordinatsystem är emellertid slutmålet även vid relativ positionering. Därför måste anslutning av GPS-mätningarna till det lokala systemet ske i något av beräkningsstegen.

Flera metoder för anslutning finns att tillgå, varav en är särskilt intressant: anslutning med hjälp av koordinattransformation (inpassning). Det kan ske såväl i rymden (7-parametertransformation) som i planet (Helmerttransformation). I båda fallen krävs passpunkter, dvs punkter bestämda i både till- och frånsystemet, så även ur denna aspekt måste GPS-mätning utföras på kända punkter.

Koordinattransformation är inte en helt idealisk anslutningsmetod, eftersom den efterlämnar restfel i passpunkterna. Dessa residualer är dock i regel försumbara, och under alla förhållanden bör koordinattransformation ingå som ett led i beräkningen för att möjliggöra kontroll av motsägelserna mellan de två systemen.

2.6 KAPITLET I SAMMANFATTNING

Sammantaget är vi intresserade av relativ positionering med anslutning till användarsystemet - varvid GPS-mätningarna delas upp i sessioner, ur vilka baslinjer (triviala och icke-triviala) bildas och utjämnas.

1991-04-01

3 PLANERING AV GPS-NÄT

3.1 METODEN I SITT SAMMANHANG

I detta kapitel beskrivs planering av yttäckande GPS-nät, dvs stomnät som har en utbredning i planet. Därmed undantas nätformer a la polygontåg och liknande långsträckta punktkonstellationer.

Anledningen till denna "djuplodning" beträffande den yttäckande nätformen är att det är den typen av nät som mest kräver en uttalad planeringsmetodik för att en bra nätkonfiguration och en effektiv mätstrategi ska kunna åstadkommas. Långsträckta nät (tåg) lämnar mindre utrymme för variationer i detta avseende. Dessutom kommer de sannolikt att i stor utsträckning mätas med konventionell teknik även i framtiden.

En sak bör poängteras: Vi förutsätter genomgående att GPS är den lämpligaste tekniken för att mäta nätet i fråga. Det är dock inte alltid självklart att så är fallet, utan detta måste utredas i mätprojektets inledningsfas (se kapitel 4).

Vidare förutsätter vi att valet av fasta (kända) punkter och nypunkter, samt placeringen av de senare, redan är gjort innan planeringen av GPS-mätningarna påbörjas. Principerna för detta behandlas endast summariskt i kapitel 4. Här gäller som vanligt att den tänkta fortsatta användningen av nätet ska vara den styrande faktorn.

3.2 METODENS BÄRANDE PRINCIPER

Planeringsmetoden bygger på följande tre principer:

- 1) Alla punkter betraktas ur planeringssynpunkt som nypunkter - således även tidigare bestämda (kända) punkter.
- 2) Endast icke-triviala baslinjer tas med i planeringen.
- 3) Nätet byggs upp av kvadrater bildade av icke-triviala baslinjer.

Den första principen har redan berörts. Den beror på att vi mäter relativt - inte absolut - och den ger en anpassning till metoden "anslutning genom inpassning". Därigenom ges också möjlighet till kontroll av kända punkters inbördes lägen samt en välbestämd relation mellan nybestämda och äldre punkter.

Den andra principen har sin orsak i att om samtliga baslinjer tas med så finns det risk för att man får en alltför optimistisk föreställning om hur väl bestämt GPS-nätet är. Det finns ju ändå ett sorts

1991-04-01

beroende - om än inte 100-procentigt - mellan icke-triviala och triviala baslinjer.

Risken för övervärdering förstärks av att det t o m finns ett beroende redan mellan de icke-triviala baslinjerna. Detta "statistiska beroende" benämns korrelation och beror dels på att de är mätta under likartade betingelser (t ex samma atmosfäriska förhållanden), dels på att de till viss del grundar sig på samma observationer. Baslinjerna är därför delvis behäftade med liknande fel.

Den tredje principen kan verka mer gripen ur luften. Varför inte trianglar, som vid traditionell stommätning, i stället för kvadrater? En närmare analys visar dock att denna princip är lika välgrundad som de övriga två.

De viktigaste motiven är

att stora, yttäckande GPS-nät uppbyggda av icke-triviala baslinjekvadrater uppfyller den gamla tumregeln "en överbestämning per obekant" samt

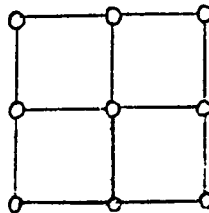
att ett nät av kvadrater automatiskt ger lämpliga baslinjeslingor för felsökning före utjämnning.

Vidare kan konstateras att om även de triviala baslinjerna tas med så erhålls en mer triangelnätsliknande struktur - om nu någon känner sig tryggare av det.

3.3 PLANERING AV TEORETISKA GPS-NÄT

3.3.1 Den "ideala" nätkonfigurationen

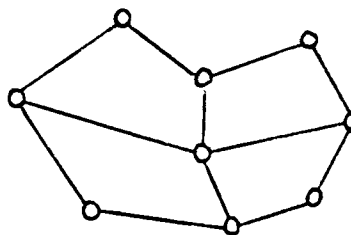
Till grund för den fortsatta metodbeskrivningen ligger ett teoretiskt GPS-nät, vars punkter är hopbundna till (icke-triviala) baslinjekvadrater som tillsammans bildar ett kvadratisk, helt regelbundet gitter, se figur 3.



Figur 3: I teorin - ett symmetriskt GPS-nät uppbyggt av kvadrater.

1991-04-01

För denna nättyp gäller nedanstående formelsamband exakt. Det hela är dock inte så teoretiskt som det kan verka. Det är många gånger möjligt att åstadkomma en liknande konfiguration i praktiken - även om symmetrin då inte blir lika fulländad och kvadraterna övergår till mer allmänna fyrhörningar, jfr figur 4.



Figur 4: I praktiken - ett asymmetriskt GPS-nät uppbyggt av fyrhörningar.

3.3.2 Antalet icke-triviala baslinjer i ett nät

Det antal icke-triviala baslinjer som krävs för att bestämma ett idealt GPS-nät, enligt föregående avsnitt, ges av formeln

$$B = 2(p - \text{sqrt}(p)) \quad (3)$$

och antalet baslinjekvadrater blir

$$\begin{aligned} k &= (\text{sqrt}(p) - 1)^2 = \quad (4) \\ &= B - p + 1 \end{aligned}$$

där p = totala antalet punkter i nätet.

Dessa formler gäller approximativt även för mer oregelbundna nät, och överensstämmelsen blir naturligtvis bättre ju närmare nätformen liknar idealfallet.

Observera dock att det faktum att kvadraterna i praktiken vanligen övergår i oregelbundna fyrhörningar inte alls påverkar giltigheten i formlerna 3 och 4. Det som är avgörande är hur symmetriskt fyrhörningarna är ordnade - helst i rader och kolonner, lika många av varje.

Insättning av $p = 9$ i exemplen i figur 3 och 4 ger $B = 12$ och $k = 4$, i båda fallen, vilket enkelt kan konstateras vara korrekt.

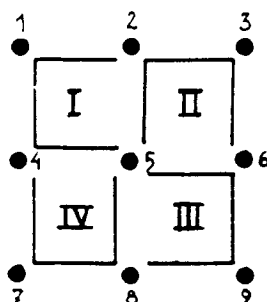
1991-04-01

3.3.3 Antalet sessioner i ett nät

Genom division av uttrycken för b och B i formlerna 1 och 3 kan antalet sessioner i ett idealt GPS-nät beräknas:

$$s = B/b = 2(p - \text{sqrt}(p))/(m-1) \quad (5)$$

där p = antalet punkter i nätet och m = antalet mottagare per session.



$$p = 9$$

$$m = 4$$

1, 2, ... = punktnummer

I, II, ... = sessionsnummer

$$s = 2(9-3)/(4-1) = 4$$

Figur 5: Planering av sessioner i ett idealt GPS-nät med 9 punkter och 4 mottagare/session.

Detta uttryck åskådliggörs i figur 5. Där börjar även metodiken som sådan att framträda tydligare: genom att man sammanför närliggande punkter till sessioner (klamrarna i figuren), och knyter ihop dessa så att varje ny session har någon eller några punkter gemensamma med föregående, säkerställs bl a en hög närnoggrannhet, ett bra samband mellan sessionerna samt en låg flyttfrekvens och korta flyttavstånd för mottagarna.

3.3.4 Exempel på redovisning av ett planförslag

I de följande figurerna analyseras detta exempel ytterligare och förslag till olika typer av redovisningar ges.

- Tabell 1 redovisar ett förslag till flyttschema för de fyra mottagarna. Två mottagare flyttas varje gång, vilket dock kan ske på andra sätt än enligt detta förslag. Exempelvis måste lämpliga transportvägar tas i beaktande.
- I tabell 2 presenteras en statistik över det antal sessioner som respektive punkt berörs av. Dessa uppgifter ger viss information om hur homogent nätet blir ur noggrannhetssynpunkt. Uttrycket s^*m ,

1991-04-01

vilket i detta fall = 16, kan utnyttjas för summa-kontroll.

- I figur 6, slutligen, ges en grafisk redovisning av det totala antalet baslinjer (icke-triviala och triviala) i en session respektive i hela nätet. Observera symmetrin i nätutformningen.

Dessa typer av underlag kan vara användbara dels vid jämförelse mellan olika planförslag, dels vid det praktiska genomförandet av det förslag som till sist väljs.

Mottagare	Session				Antal flytt
	I	II	III	IV	
A	1	3	9	7	3
B	2	2	8	8	1
C	4	6	6	4	2
D	5	5	5	5	0

Summa = 6

Tabell 1: Schema över flyttningen av mottagare för exemplet i figur 5.

Punkt	Antal sessioner
1	1
2	2
3	1
4	2
5	4
6	2
7	1
8	2
9	1

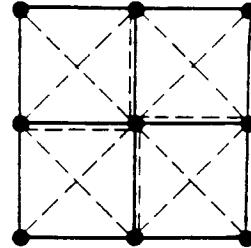
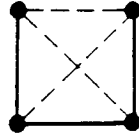
Summa = $s*m$ = 16

Tabell 2: Antal sessioner/punkt för exemplet i figur 5.

1991-04-01

Grundelement för
en session ($m = 4$)

Totalt för hela
nätet ($p = 9$)



———— = icke-trivial baslinje

----- = trivial baslinje

Figur 6: Totalt antal baslinjer för exemplet i figur 5 - grafisk redovisning av en session samt av nätet som helhet.

3.3.5 Grundelement för sessioner med olika antal mottagare

Som framgår av föregående avsnitt baseras planeringen av GPS-mätningarna i ett nät på "grundelement", som successivt förflyttas över nätkartan tills alla punkter har kommit med.

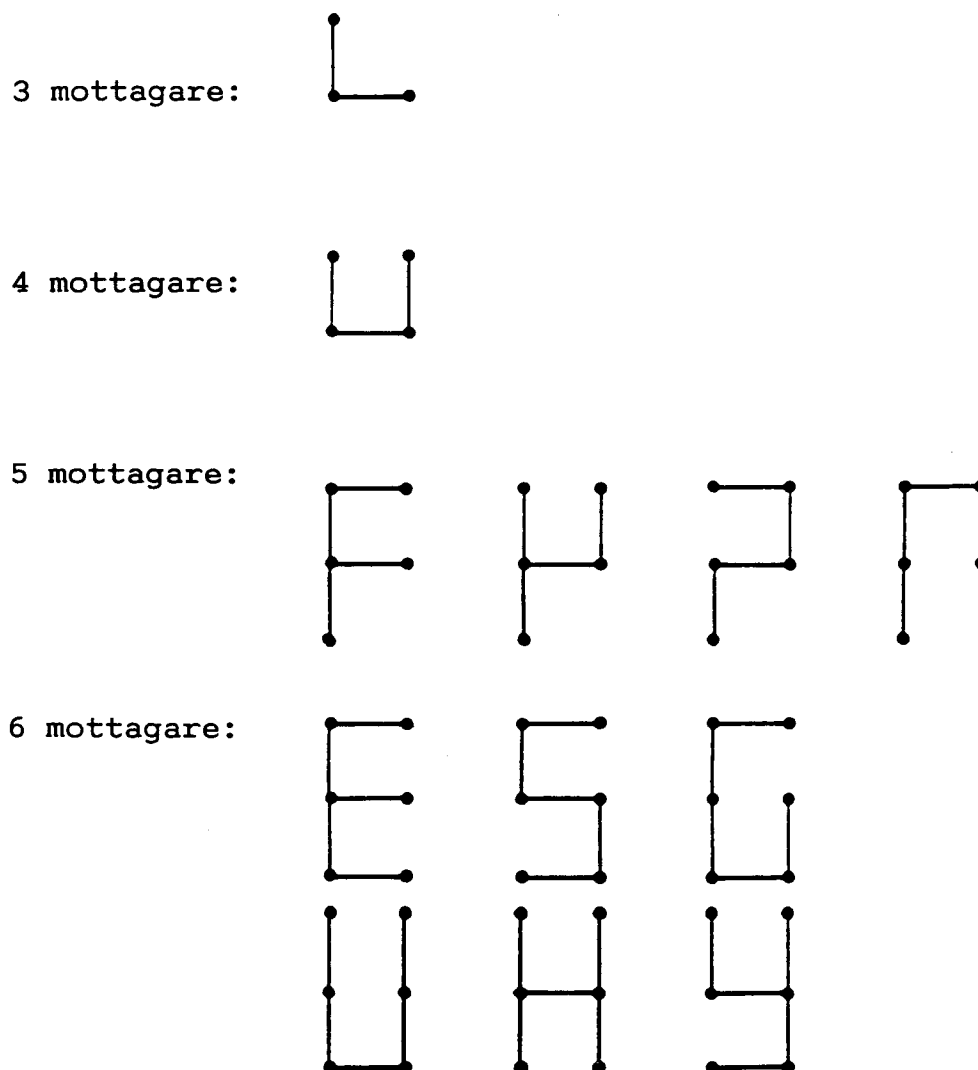
Grundelementens storlek och utseende varierar med antalet mottagare per session. I figur 7 redovisas de viktigaste grundelementen för mottagarantalen 3-6. Fallet med två mottagare ger enbart en baslinje, och är därför inte mycket att orda om, och extrapolering av principen till fler än sex mottagare överläts med varm hand till läsaren. Endast icke-triviala baslinjer ritas ut i figuren.

Varianter på de angivna grundelementen finns, men dessa ger inte en lika homogen bild av nätet när även de triviala baslinjerna tas med. Detta kan inses genom att t ex använda ett T-format i stället för ett U-format element för exemplet i figur 5 och jämföra resultatet med det som redovisas i figur 6.

Med T-form avses elementet:



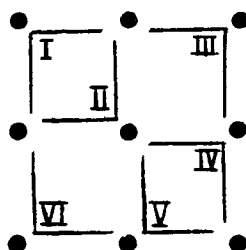
1991-04-01



Figur 7: De viktigaste grundelementen för sessioner med 3-6 mottagare.

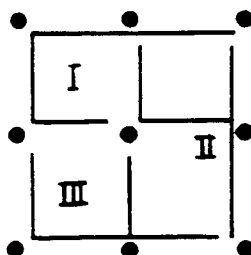
Med utnyttjande av dessa grundelement studerar vi nu åter exemplet i figur 5. I figur 8 redovisas ett förslag till sessionsindelning när 3 mottagare står till förfogande, och i figur 9 ett förslag med 5 mottagare/session. I dessa fall finns större möjligheter till variationer än när 4 mottagare användes, och symmetrin är inte längre lika fulländad.

1991-04-01



$$s = 2(9-3)/(3-1) = 6$$

Figur 8: Sessionsindelning för exemplet i figur 5 med 3 mottagare/session.



$$s = 2(9-3)/(5-1) = 3$$

Figur 9: Sessionsindelning för exemplet i figur 5 med 5 mottagare/session.

3.4 METODENS TILLÄMPNING I PRAKTIKEN

3.4.1 Modifiering av de grundläggande formelsambanden.

Hittills har vi endast studerat fall där formlerna 3, 4 och 5 ger ett heltal som resultat. Uttrycket för antalet sessioner (formel 5) kan dock ibland ge ett decimaltal som resultat även för ideala GPS-nät, och i verkliga nät är det endast i undantagsfall som storheterna B , k och s blir heltal.

De beräknade antalen måste därför avrundas, och för att sambanden mellan antalet icke-triviala baslinjer, antalet kvadrater (fyrhörningar) och antalet sessioner fortfarande ska gälla krävs en särskild beräkningsordning. Vi förfar på följande sätt.

Den dimensionerande storheten är antalet sessioner enligt formel 5, som avrundas uppåt till närmast högre heltal.

Med omvändningen av denna formel beräknas sedan antalet icke-triviala baslinjer. Det ger

$$B = s * b = s(m-1) \quad (3')$$

1991-04-01

varefter antalet fyrhörningar erhålls ur sista ledet i formel 4, dvs

$$k = B - p + 1 \quad (4')$$

Uttrycket för k är dock en approximation. Det är inte alltid möjligt - eller åtminstone inte lämpligt - att konstruera exakt detta antal fyrhörningar i ett nät.

3.4.2 Utformning av en planeringsstrategi

Vi lämnar nu slutgiltigt de ideala GPS-näten för att utforma en planeringsstrategi för verkliga nät. Dessa baseras på den nyss beskrivna beräkningsordningen för de grundläggande storheterna.

Planeringen genomförs med hjälp av en karta på vilken stompunkterna har ritats in. För att undvika alltför mycket "kludd" på kartan är det dock lämpligt att redovisa själva mätplanen på ett separat blad av genomsynligt material, som läggs ovanpå kartbilden. På så sätt underlättas även jämförelser mellan olika planalternativ.

Det första steget är att rita in beräknat antal icke-triviala baslinjer (enligt formel 3') så att dessa bildar ungefär det antal fyrhörningar som ges av formel 4'. Antalet baslinjer ska vara exakt, men antalet fyrhörningar kan tillåtas avvika. Eventuella sådana avvikelser kan i regel hanteras så att trianglar i stället för fyrhörningar konstrueras. Figurer med fem eller flera hörn bör alltid undvikas.

I detta nätverk ritas sedan sessionerna in. I första hand ska grundelementen i figur 7 utnyttjas. Vissa modifieringar av dessa kan dock krävas dels om nätverket inte är lika regelbundet som ett idealt GPS-nät, dels om trianglar förekommer i konstruktionen.

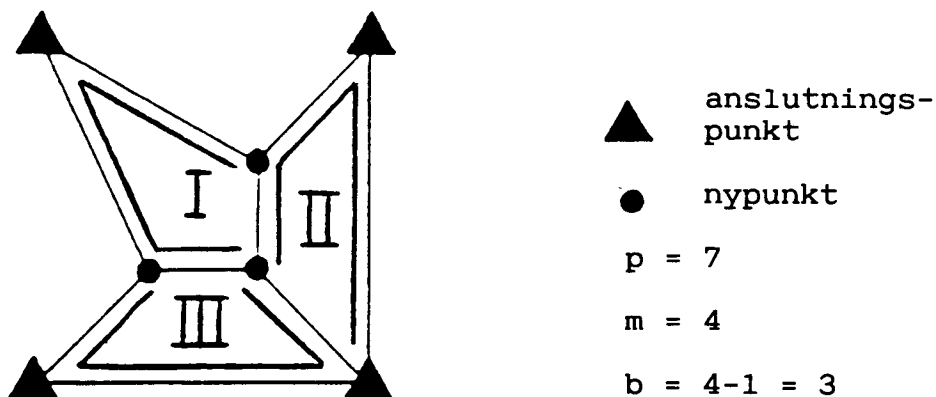
Detta är strategin i sin grundform, men erfarenheten visar att man med litet träning ganska snabbt lär sig att gå direkt på planeringen av sessioner - utan att explicit rita ut nätet av fyrhörningar.

3.4.3 Två mer realistiska exempel

Låt oss nu pröva strategin på två nätexempel, som fortfarande är idealiserade men ändå mer realistiska än de vi tidigare har studerat. Dessa redovisas i figurerna 10 och 11.

--> symboliserar avrundning uppåt till närmast högre heltal.

1991-04-01

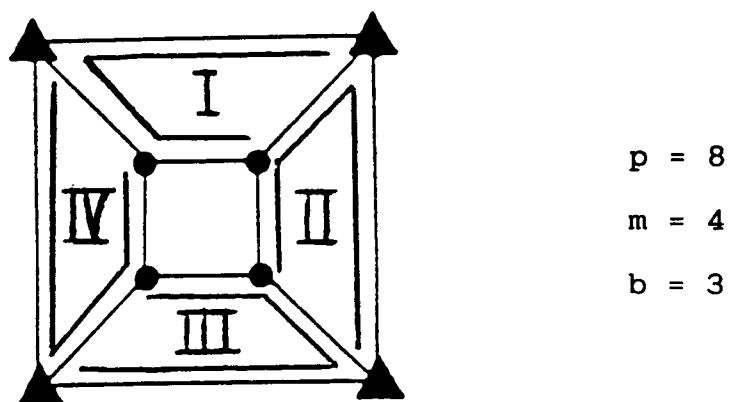


$$s = 2(7 - \sqrt{7})/(4-1) = 2.90 \rightarrow 3$$

$$B = s*b = 3*3 = 9$$

$$k = 9 - 7 + 1 = 3$$

Figur 10: Planering av ett nät med 7 punkter och 4 mottagare/session



$$s = 2(8 - \sqrt{8})/(4-1) = 3.45 \rightarrow 4$$

$$B = s*b = 4*3 = 12$$

$$k = 12 - 8 + 1 = 5$$

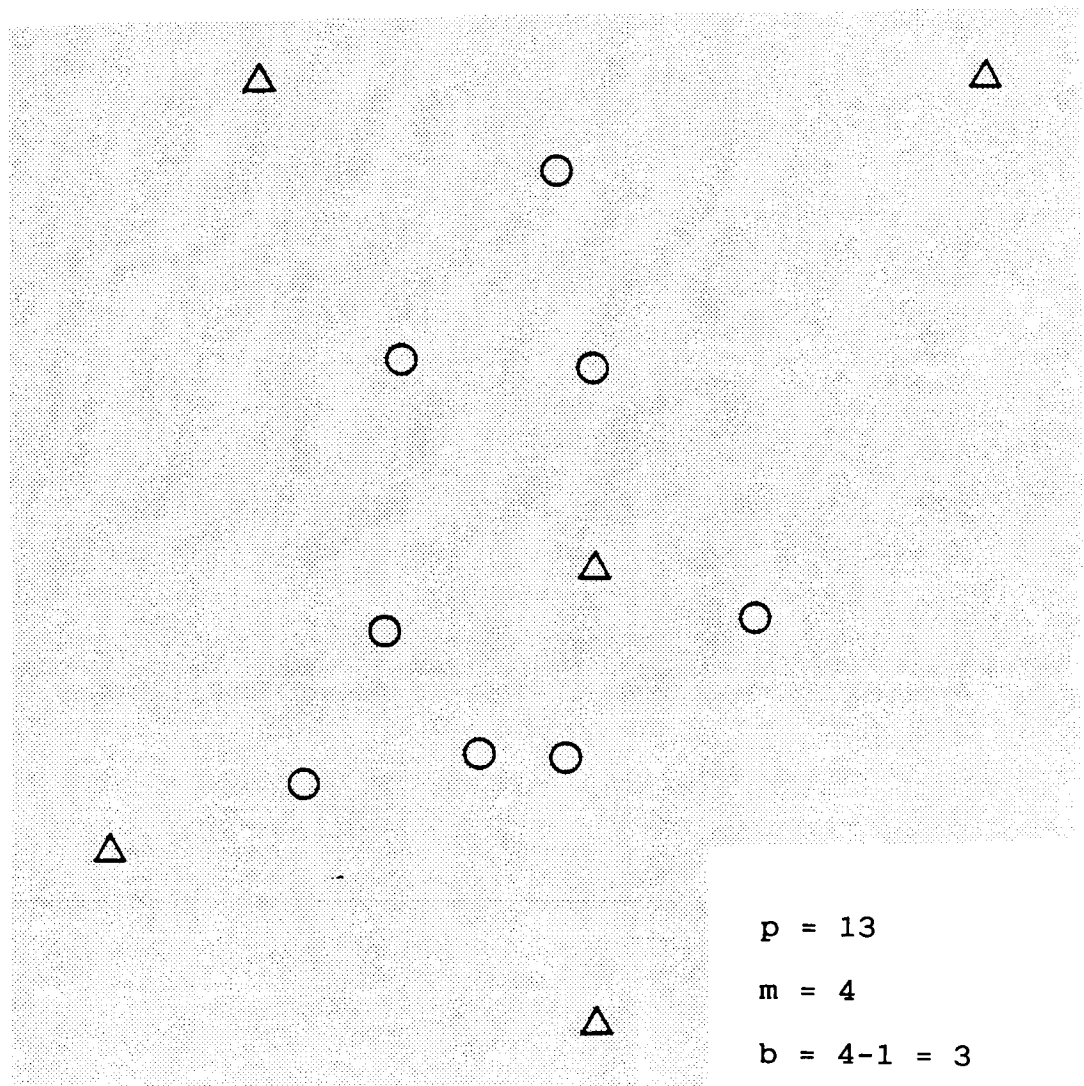
Figur 11: Planering av ett nät med 8 punkter och 4 mottagare/session

1991-04-01

3.4.4 Ett praktikfall

Nästa exempel illustrerar metodens tillämpning i ett praktikfall. I figur 12 beskrivs planeringsförutsättningarna, i figur 13 ges ett förslag till uppdelning i fyrhörningar och i figur 14 redovisas en möjlig sessionsindelning. Figur 15 utgör en grafisk presentation av samtliga baslinjer och ett flytt-schema för exemplet återfinns i tabell 3.

Försök att utforma Din egen plan innan Du studerar lösningsförslaget!



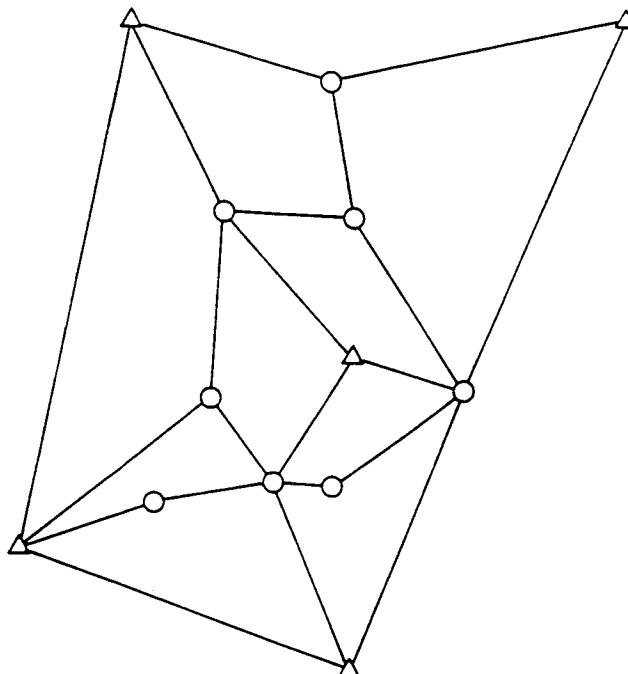
$$S = 2(13 - \sqrt{13}) / (4 - 1) = 6.26 \rightarrow 7$$

$$B = s * b = 7 * 3 = 21$$

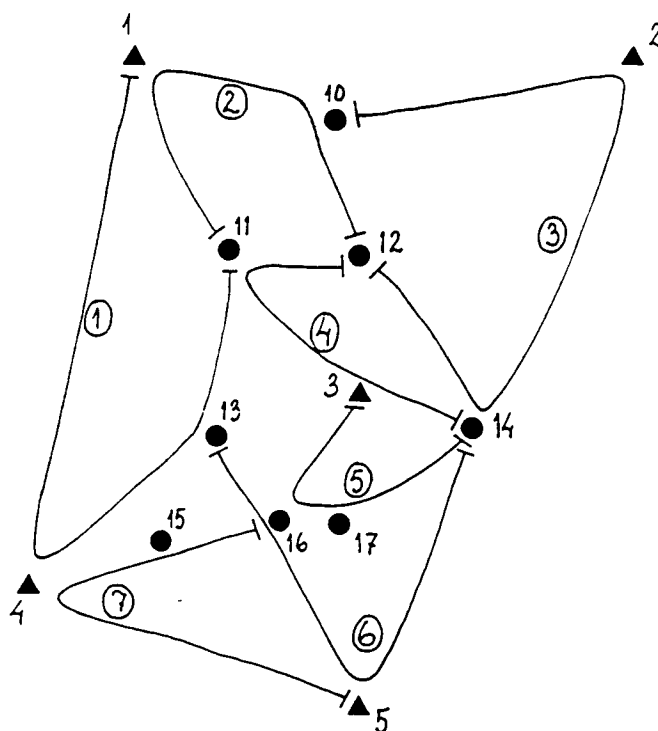
$$k = 21 - 13 + 1 = 9$$

Figur 12: Planeringsförutsättningar för ett praktikfall

1991-04-01

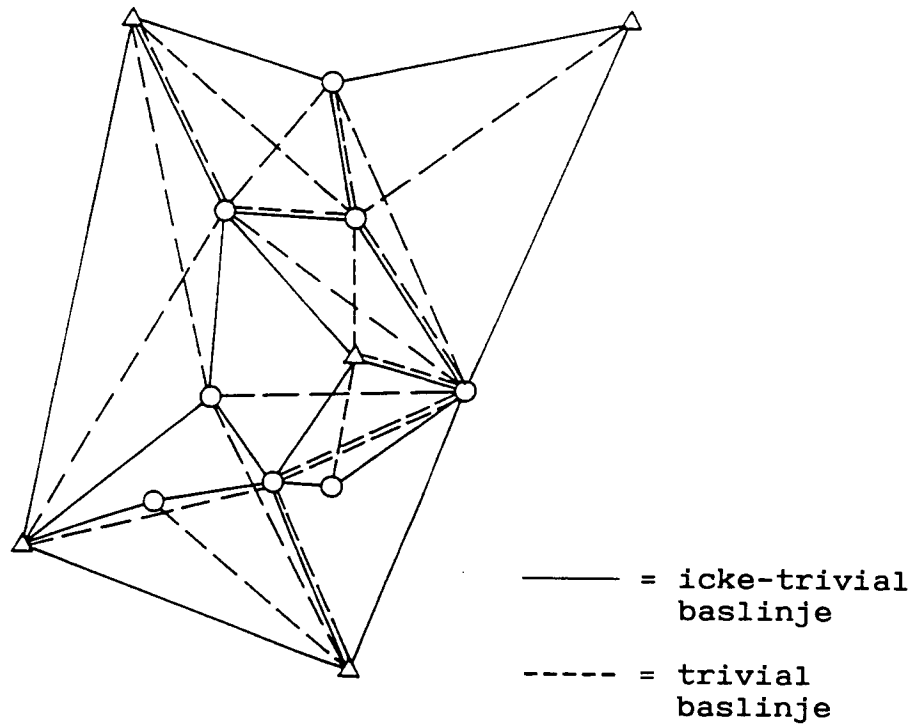


Figur 13: Förslag till uppdelning i fyrhörningar för exemplet i figur 12



Figur 14: Förslag till sessionsindelning för exemplet i figur 12.

1991-04-01



Figur 15: Grafisk redovisning av baslinjer för exemplet i figur 12.

Mottagare	Session							Antal flytt
	I	II	III	IV	V	VI	VII	
A	1	1	2	3	3	13	4	4
B	4	12	12	12	17	5	5	3
C	13	10	10	11	16	16	16	3
D	11	11	14	14	14	14	5	2

Summa = 12

Tabell 3: Flyttschema för exemplet i figur 12.

Observera att det som här redovisats inte är ett facit utan ett förslag. Dina egna idéer - i den mån de avviker - kan mycket väl vara lika bra eller bättre. Som synes avviker sessionsindelningen en aning från de idealfall vi tidigare studerat, men antalet flytt ligger sannolikt nära optimum. Endast

1991-04-01

två av de fyra mottagarna flyttas vid varje sessionsbyte, vilket också ger ett bra samband mellan sessionerna.

Komplettera gärna redovisningen med en sammanställning av antalet sessioner/punkt (enligt tabell 2) för att Du mer i detalj ska kunna studera nätets homogenitet. En sådan analys visar att punkterna 15 och 17 är något sämre bestämda än de övriga.

3.5 SAMMANFATTANDE KOMMENTARER

Följande är - som vi ser det - de största fördelarna med metoden:

- Närsambandet, och därför närnoggrannheten, säkerställs. Detta är sannolikt den viktigaste aspekten på noggrannhet vid fortsatt användning och förtätning.
- Planeringen blir enklare att lära ut. Med ett systematiskt angreppssätt kan även en "nybörjare" ge sig på planering av ett GPS-nät, och med litet träning lär man sig snart var genvägarna finns och var avsteg kan göras.
- Programstöd kan utvecklas. I förlängningen kan sådant stöd utformas med hjälp av interaktiv grafisk databehandling, men även enklare datorstöd kan utnyttjas. Det är t ex tämligen trivialt att utveckla program som ur ett planförslag tar fram sammanställningar av den typ som redovisas i tabellerna 1 och 2.
- Beräkning och kontroll underlättas eftersom baslinjekonfigurationen är klar och lämpliga slingor för felsökning finns framme redan vid planeringen.

Regelrätt simulering är naturligtvis också möjlig, men här får vi sannolikt avvakta och invänta en vidareutveckling på programvarusidan.

En detalj som vi har diskuterat ingående i vårt arbete är frågan om metoden ger ett alltför ambitiöst mätprogram: Det blir helt klart litet fler mätningar än i de mätprogram som hittills har tagits fram - av oss och andra. Vår ståndpunkt är dock att det snarare är så att vi tidigare har mätt för litet än att denna planeringsmetodik kräver för många mätningar.

Det gäller dock att inte bli slav under metoden utan att använda sunt förnuft och anpassa planeringen till de faktiska förhållandena. Några faktorer som alltid måste beaktas i praktiken är t ex behovet av mastresning, transportvägar och transporttider samt satelliternas tillgänglighet.

1991-04-01

4 KOMBINATION AV GPS OCH TRADITIONELL TEKNIK

Hittills har vi utgått från att GPS är den teknik som ska användas, men naturligtvis är detta inte någon självklarhet. En jämförelse med andra tekniker, bl a traditionell mätning, vad avser såväl tekniska som ekonomiska aspekter bör alltid göras.

Det visar sig då oftast att en kombination av GPS och traditionella metoder ger det fördelaktigaste resultatet, och vanligen genomförs ett stamnätsprojekt i två delar: anslutningsnätet med GPS-teknik och bruksnätet med konventionell teknik.

Anledningen till detta är att GPS mest kommer till sin fördel vid längre avstånd, speciellt där direkt-sikt inte finns mellan de punkter som ska mätas in.

Det mest ändamålsenliga sättet att beakta de krav som användningen av ett nät ställer är att "planera baklänges". Det innebär att man startar med att placera ut punkter utgående från slutanvändarnas behov - i dag och i framtiden - och först därefter börjar fundera på anslutningen av dessa till det överordnade nätet.

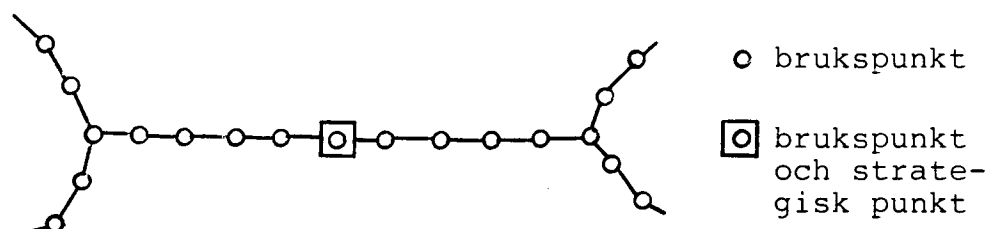
Enligt denna metod planeras alltså bruksnätet först, dvs det som vanligtvis ska mätas med traditionell teknik. Ur bruksnätet väljs sedan ett antal "strategiska punkter" ut, som även ska ingå i anslutningsnätet.

4.1 STRATEGISKA PUNKTER I BRUKSNÄTET

Valet av strategiska punkter ska göras så att bruksnätets noggrannhet (geometri) stärks och så att ett bra regionalt samband erhålls till anslutningspunkterna.

Det lämpligaste sättet att välja ut strategiska punkter är följande:

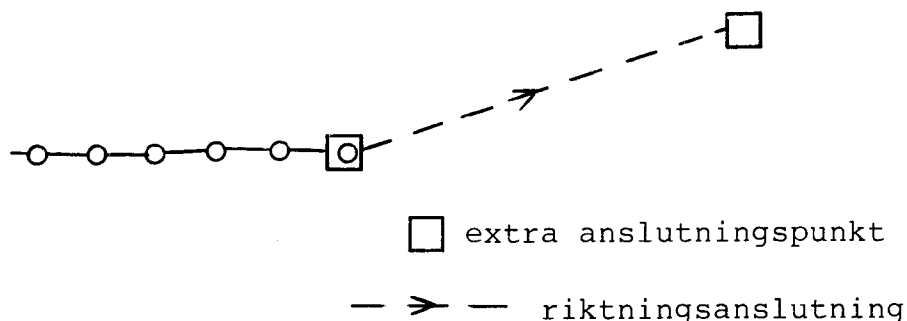
- I långa polygontåg väljs enstaka punkter ut för att staga upp tåget, se figur 16.



Figur 16: Stagning av långa polygontåg.

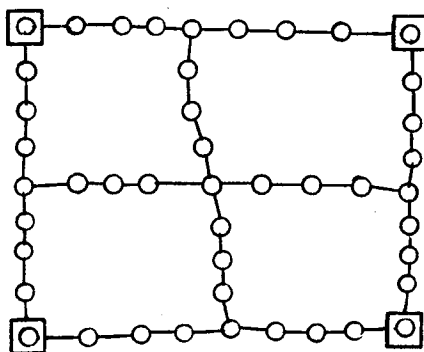
1991-04-01

- I änden av "flygande polygontåg" läggs punktpar ut för att möjliggöra riktningsanslutning. Dessa bör placeras så långt ifrån varandra som möjligt för att hålla upp riktningsnoggrannheten, se figur 17. Alternativt behövs endast en ändpunkt om sikt finns mot någon annan punkt, t ex en högpunkt.



Figur 17: Punktpar för riktningsanslutning

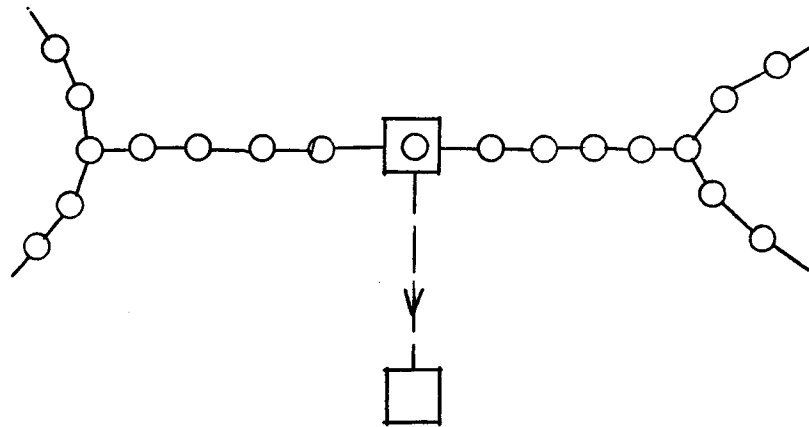
- I mindre nät väljs enstaka punkter ut i bruksnätets rand, se figur 18.



Figur 18: Strategiska punkter i randen av ett bruksnät.

- I större nät väljs dels randpunkter, dels punkter i ett "rutnät" lagt över bruksnätet.
- Vid utnyttjande av beräkningsprogram som inte kan hantera koordinatanslutning måste alltid punktpar i stället för centrala punkter väljas ut. Exempelvis måste en punktkonfiguration som den som redovisas i figur 19 då väljas i stället för den i figur 16.

1991-04-01



Figur 19: Punktpar i stället för enstaka strategiska punkter.

4.2 VAL AV ANSLUTNINGSPUNKTER

I nästa steg ska sambandet mellan strategiska punkter och kända (anslutnings)punkter mätas med GPS. Då gäller den planeringsmetodik som redovisats i kapitel 3. Den framställningen kompletteras här med principen för valet av anslutningspunkter.

Först måste klargöras om högsta noggrannhet eftersträvas (projektering och byggande) eller om äldre punkter i området kan och bör utnyttjas för anslutningen ("lantmäteritekniska" ändamål).

I det första fallet, med krav på högsta noggrannhet, finns två alternativ:

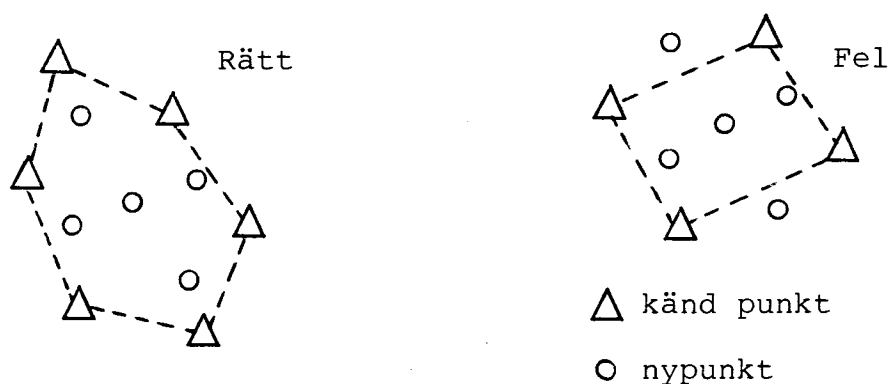
- Vid lokala projekt, t ex byggarbetsplatser, görs en approximativ anslutning av det fritt utjämnade nätet genom transformation till ett lokalt koordinatsystem, exempelvis det kommunala.
- Om det däremot är fråga om en mer regional verksamhet (järnvägar, bilvägar etc) bör i stället motsvarande anslutning ske till ett stamnät som täcker hela det aktuella området. Då är oftast riksnätet (RT 90) det bästa valet.

I det andra fallet är i stället utgångspunkten att en total anpassning ska göras till de äldre punkter som finns i det aktuella området. Det beror på att det av praktiska skäl ofta är olämpligt att ändra dessa punkters koordinater, och de kommer därför att påverka bestämningen av de nya punkterna. På så sätt erhålls en bättre överensstämmelse mellan gammalt och nytt - dock till priset av att noggrannheten vanligen blir något sämre totalt sett.

1991-04-01

Det är då viktigt att man tar med samtliga överordnade punkter som i framtiden kan tänkas komma till användning inom området. Annars kan problem ändå uppkomma när man samtidigt utnyttjar nybestämda och äldre punkter.

I båda fallen gäller att anslutningspunkterna så väl som möjligt inramar det område som projektet omfattar. På så sätt undviks "extrapolation", vilken är en olämplig metod vid stornätetsförtätning. "Interpolation" ska vara rättesnöret, se figur 20. Vid anslutning med koordinattransformation tillkommer dessutom att minst 4 passpunkter bör användas.



Figur 20: Interpolation respektive extrapolation vid stornätetsförtätning.

Naturligtvis kan även brukspunkter läggas ut direkt med GPS-teknik, som ett alternativ till traditionell förtätning. I dessa fall måste man dock tänka på att det vidare utnyttjandet av nätet antagligen sker med konventionell teknik.

För att detta ska fungera måste utgående sikter finnas. Det kan därför bli nödvändigt att även i dessa fall lägga ut parpunkter - på tillräckligt avstånd från varandra - om inte sikt till t ex högpunkt finns.

1991-04-01

5 ALLMÄNNA RÅD OCH RIKTLINJER

I detta kapitel kompletteras beskrivningen av planeringsmetodiken med en sammanställning av ett antal allmänna råd och påpekanden angående genomförandet av ett stomnätsprojekt i dess helhet.

5.1 STOMNÄTSPROJEKTETS SYFTE

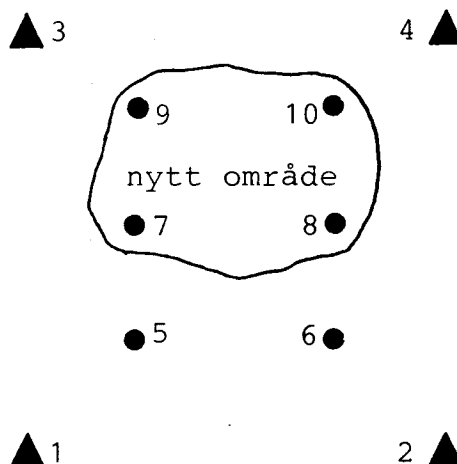
Hänsyn måste tas till den tänkta användningen av nätet, och i det sammanhanget finns något att särskilt fundera på: Kan man med ringa merarbete fylla fler syften än det som var anledningen till att projektet kom till stånd? En marginell höjning av noggrannheten och punkttätheten, samt en mer genomtänkt punktplacering, kan ofta utvidga ett näts användbarhet betydligt.

5.2 PLANERINGSPRINCIPER

Vikten av att "planera baklänges" har redan berörts i kapitel 4. Det traditionella förfarandet är annars att man successivt förtätar ett nät uppifrån och ned i stomnätshierarkin - från överordnat nät till bruksnät - utan att fundera på användningen förrän i det sista steget.

Att vid anslutning ta med alla äldre punkter som kan komma till användning i ett senare skede, samt betydelsen av att planera enligt interpolationsprincipen, utgör ytterligare exempel på sådant som förtjänar att upprepas.

Något som har blivit allt vanligare i samband med införandet av GPS-teknik är att förtätning sker punktvis, vid olika tillfällen, i stället för i ett sammanhang.



Figur 21: Förtätning i två steg.

1991-04-01

I figur 21 har sekundärpunkterna 5-8 bestämts i ett skede med hjälp av mätningar mot primärpunkterna 1-4. I ett senare skede önskas en utbyggnad av sekundärnätet med punkterna 9 och 10.

Man kan då lätt frestas att enbart använda punkterna 3, 4, 7 och 8 som utgångspunkter för denna senare förtätning. Ett mer homogent och kontrollerbart nät erhålls dock om man alltid ansluter till primärpunkterna. Dvs mätning bör ske dels mot 7 och 8 (för närsambandets skull), dels mot samtliga punkter 1-4 (för den regionala kontrollen).

5.3 MARKERING

När väl punktplaceringen har lagts fast ska punkterna markeras. Varaktiga markeringar ska alltid eftersträvas, dvs rör/dubbar av högkvalitativt material placerade i stabilt underlag. Inga spikar i träpålar och liknande ska förekomma!

Punktbeskrivningar - också dessa av hög kvalitet - bör upprättas redan vid markeringen. Det är inte bara användarna som så småningom ska återfinna punkten, utan även de som utför GPS-mätningarna behöver hjälp för att inte förlora dyrbar mättid.

5.4 VÅRD OCH KONTROLL AV UTRUSTNING

Fungerande och tillförlitliga instrument och annan utrustning är A och O för ett lyckat resultat av mätningen.

Anvisningarna för vård och kontroll av såväl GPS-mottagare som av den traditionella utrustning som nyttjas måste naturligtvis följas. Ofullständigt eller felaktigt laddade batterier, glappande kontakter samt dåligt justerade optiska lod, teodoliter (t ex för mastresning) och EDM-instrument är tyvärr alltför vanligt förekommande. Glöm inte heller bort att kalibrera meteorologiutrustning i den mån sådan används.

5.5 MÄTNING

Handhavandet av GPS-mottagarna är till stor del fabrikatberoende, så i stort sett det enda som går att säga i detta sammanhang är att mätpersonalen måste vara väl insatt i hur detta ska ske.

Varje uppställning av mottagare ska dokumenteras - lämpligen på ett särskilt formulär. Bland de uppgifter som där ska finnas bör särskilt nämnas:

- projekt/mätområde
- datum
- observatör/mätansvarig

1991-04-01

- punktbeteckning
- tidpunkt för mätning (start/slut)
- logg över meteorologiska observationer (tidpunkt och mätvärden)
- antenn-/masthöjd
- instrumenttyp och tillverkningsnummer för den utrustning som använts
- övriga uppgifter av betydelse för mätningens genomförande (fritextkommentar).

Mätning av antennhöjd samt kontroll av antennens centrerings över punkten - oavsett om mast eller trefot på stativ har använts - bör ske såväl före mätningen som efter dess slutförande.

Att mäta avståndet med EDM-instrument mellan närbelägna punkter med direktsikt är en bra kontrollåtgärd.

5.6 BERÄKNING

I en kommande rapport kommer metodiken vid beräkning av GPS-mätningar och utjämning av GPS-nät att behandlas. En detalj i sammanhanget bör ändå tas upp här, eftersom den kan ha betydelse för förståelsen av planeringsmetodiken.

Vid LMV har vi, tills vidare, bestämt oss för att vid beräkningen ta med både de icke-triviala och de triviala baslinjerna. Vår erfarenhet är nämligen att de senare bidrar till uppstagningen av nätet - dock inte i den grad att de fullt ut kan "räknas oss till godo" vid planeringen.

5.7 DOKUMENTATION

Alla steg i mätprojektet - rekognoscering, mätning och beräkning - bör dokumenteras och slutresultatet analyseras och kommenteras. Detta underlättar såväl genomförandet av projektet som nätets fortsatta användning.

Dokumentera även för Dig själv - Du glömmer fortare än Du tror!

1991-04-01

6 SLUTORD

Detta ska inte betraktas som "evig sanning". Snarare är det en beskrivning av "the-state-of-the-art" vid lantmäteriverket. Tekniken och metodiken är ännu i sin linda och stadd i ständig utveckling.

Vi är därför i högsta grad påverkbara. Innan vi tar i tu med nästa steg - AMK - är vi i stort behov av Era synpunkter på det som här har presenterats.

En smärre remissrunda bland "fackfolk" planeras, men vi tar tacksamt emot kritiska kommentarer och uppmuntrande tillrop från alla som känner sig manade.

Författarna nås enklast under adress

Lantmäteriverket
801 82 GÄVLE

Dag som ovan, dvs 1 april 1991, u p a

Clas-Göran Persson

Thomas Lithén

1991-04-01

LITTERATUR

Andersson B m fl (1986): Plana stornät - checklista för planering och genomförande av stommätningens projekt, LMV-rapport 1986:9.

Egeltoft T (1990): GPS-bestämning av stompunkter i Husarviken, Svensk Lantmäteritidskrift 1990:1, sid 37-42.

Geodesi-90 - rapport från utredningsprojektet om geodesin i Sverige på 1990-talet, LMV-rapport 1990:1.

Håkansson A (1989): Genombrott för GPS-tekniken i Sverige?, Svensk Lantmäteritidskrift 1989:4, sid 22-28.

Jivall A-C och Olsson A (1989): GPS i samhällsmätningens tjänst, Sinus 1989:1.

Jivall A-C och Ollvik L (1990): BFR-projektet "Pseudokinematisk/kinematisk GPS-mätning för geodetiska tillämpningar" - lägesrapport för etapp 1, LMV-rapport 1990:13.

Jonsson B (1991): Introduktion till GPS-tekniken, Kartbladet 1991:1, sid 2-19.

Persson C-G (1986): Modern stommätning, LMV-rapport 1986:18.

Program för GPS-verksamheten i Sverige - med tonvikt på stationär positionering; utarbetat av den svenska GPS-gruppen och Utvecklingsrådet för landskapsinformation (ULI), LMV-rapport 1988:19.