



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

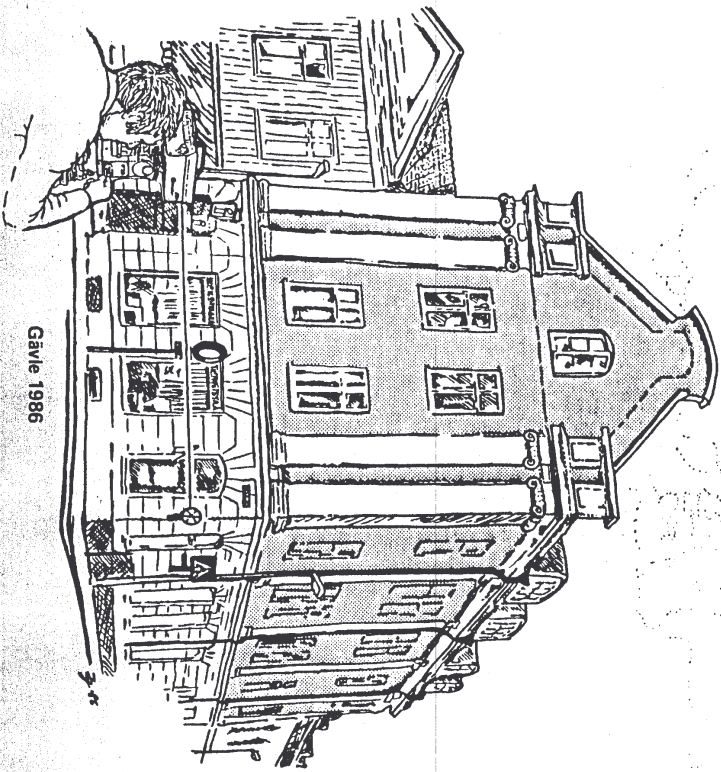
Tekniska skrifter - Professional Papers

LMV-RAPPORT 1986:19

ISSN 0280-5731

VÄGGMARKERAT STOMNÄT I ALINGSÅS

examensarbete av Ann Gustafsson och Karl-Gustav Johansson, KTH



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	Datorstödd 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	Nivelllement Indirect Motorise (MTL) & Technique Motorisee XYZ (MXYZ) en Suede	Jean-Marie Becker Thomas Lithén
1986:8	Motorized Trigonometric Levelling (MTL) & Motorized XYZ Technique (MXYZ) in Sweden	Jean-Marie Becker Thomas Lithén
1986:9	Plana stommät - checklista för planering och genomförande av stommätningsprojekt	Bengt Andersson m fl
1986:10	Ersättning för trafikimmissioner. En redovisning av rättstillämpningen	Erik Asbrink
1986:11	Icke-monetära nyttors betydelse för innehav av skog och skogsmark	Thomas Lindborg
1986:12	Förslag till ny svensk nationalatlas	LMV, SSAG och SCB
1986:13	Program för forskning och utveckling inom området Landskapsinformation	Arb.grupp 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
1986:18	Modern stommätning	Clas-Göran Persson

Titel

VÄGGMARKERAT STOMNÄT I ALINGSÅS

av Ann Gustafsson och Karl-Gustav Johansson

Huvudinnehåll

Huvuddelen av detta examensarbete omfattar planering, mätning och beräkning av ett väggmarkerat stomnät i Alingsås kommun.

Mät- och beräkningstekniken beskrivs i detalj och kompletteras med resultat från simuleringar och en praktisk förstudie utförd vid KTH. Tonvikten ligger på analys av noggrannheten - i plan och höjd - vid användning av fri instrumentupptällning vid inmätning och utnyttjande av väggpunkter.

Undertecknade har fungerat som handledare för arbetet

Torbjörn Cederholm
Institutionen för
geodesi, KTH

Glas-Göran Persson
Geodetiska utvecklings-
enheten, LMV

LDOK

Kg Mätningsteknik

Stommätning

Beställs hos

Lantmäteriet
Blankettförädrat
801 12 GÄVLE

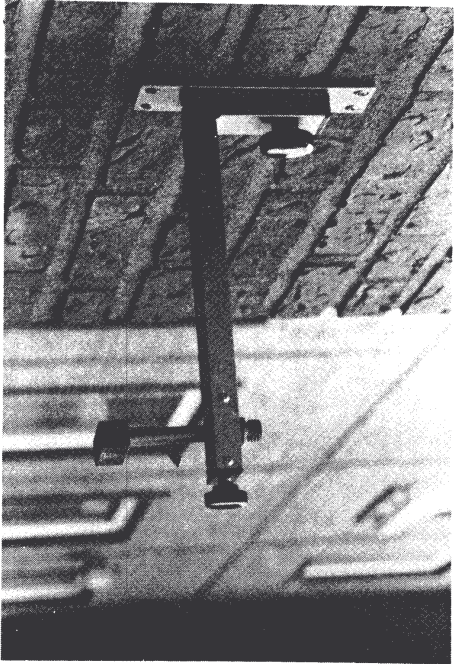
Liber Förlag

FÖRORD

Detta examensarbete har omfattat upprättande av ett väggmarkerat stomnät i Alingsås kommun. Handledare har varit Clas-Göran Persson, LMV och Torbjörn Cederholm, KTH. Vi vill framföra vårt tack till dem, till Göran Söderhäll och Alingsås lantmäteri distrikt för råd och hjälp vid mätningsarbetena samt till Gunnar Karlsson, Geo-Standard, som bistått med markeringsmateriel till demo-nätet på KTH. Dessutom ett varmt tack till all personal vid LMV som hjälpt oss genomföra examensarbetet.

Ann Gustafsson

Karl-Gustav Johansson



Väggpunkt (fästplatta) och väggkonsole utan mätprisma
(Foto: Jan Virking)

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	BAKGRUND	sid	1
2	FÖRBEREDANDE ARBETE - DEMO-NÄT PÅ KTH OCH SIMULERADE NÄT	2	2
	2.1 Nätutformning	2	2
	2.2 Markering	3	3
	2.3 Immätning och viktsättning	4	4
	2.4 Beräkning av KTH-nätet	5	5
	2.5 Utnyttjande	6	6
3	ALINGSÅS VÄGGPUNKTSNÄT	8	8
	3.1 Nätutformning	8	8
	3.2 Markering	8	8
	3.3 Immätning	9	9
	3.3.1 Utrustning	9	9
	3.3.2 Signalering	9	9
	3.3.3 Vinkelimmätning	10	10
	3.3.4 Längdimmätning	10	10
	3.4 Beräkning	10	10
	3.4.1 Höjddutjämnning	11	11
	3.4.2 Närmevärdesberäkning	12	12
	3.4.3 Planutjämnning	12	12
	3.5 Summering och utvärdering av resultatet	14	14
4	SLUTKOMMENTAR	16	16
5	LITTERATURFÖRTECKNING	19	19
6	BILAGOR	20	20

1 BAKGRUND

Stomnät av lägre ordning har som regel utformats som polygonnät och inmätning har skett med polärbestämning, vilket krävt centrisk uppställning över polygonpunkterna. Kravet på fria siktlinjer mellan punkterna har ofta lett till att dessa har placerats mitt i gatukorsningar när det gäller stomnät i stadsmiljöer. Denna placering är olämplig ur flera synvinklar: vid stomnätarbeten är trafiken ofta mycket besvärande, många punkter raseras vid gatuarbeten o dyli, risken att gräva av ledningar vid markering är stor o s v. Därför har man på många håll kommit att intressera sig alltmer för väggmarkerade stomnät. Man kan peka på några fördelar jämfört med traditionella polygonnät:

- Fri uppställning kan användas både vid nätets framsättning och utnyttjande. Den för mätning lämpligaste uppställningsplatsen kan väljas med hänsyn tagen till trafik, tillfälliga sikhinder etc.
- Det behövs ingen centrerung av instrument över polygonpunkter, vilket medför att centreringsfehlen reduceras.
- Väggpunkter är lätta att återfinna då de inte blir bortgrävda eller överläckta med snö, is, grus eller asfalt.
- Markeringskostnaderna sjunker betydligt. Materialkostnaden för en väggmarkering är ca 100 Kr och för ett rör med decksel drygt 200 Kr (Geo-Standard, februari 1986). Dessutom minskar arbetstiden för markering och ingen lokaliserung av ledningar behöver göras.
- Upprättandet av punktbeskrivningar förenklas. Ofta kan det räcka med markering och numrering på en storskalig karta.

Eftersom väggmarkerade stomnät ännu bara finns på några få orter i landet, och då metoden fortfarande befinner sig i en utvecklingsfas, finns det goda möjligheter att hitta uppslag till intressanta examensarbeten i ämnet. Vi tog därför i januari 1986 kontakt med lantmäteriverket i Gävle och det visade sig då att produktion av ett väggnät i Alingsås skulle vara en lämplig uppgift som examensarbete. Inom ramen för arbetet skulle även studeras noggrannheten i plan och höjd vid användning av fri instrumentuppställning vid inmätning och utnyttjande av väggpunkter. Därutöver skulle simuleringstudier av precision och tillförlitlighet hos olika typer av väggnät utföras m h a LMV:s simuleringprogram SUKK (se Persson, 1985c). Dessutom beslöts att planering, markering, inmätning och beräkning av ett litet demonnät på KTH skulle ingå som förberedelse.

2 FÖRBEDDANDE ARBETE - DEMO-NÄT PÅ KTH OCH SIMULERADE NÄT

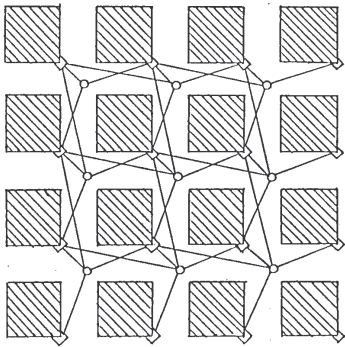
Syftet med det förberedande arbetet var att utarbeta lämplig metodik för nätutformning, markering, inmätning och beräkning av väggmarkerade stomnät innan det egentliga arbetet med Alingsås-nätet vidtog.

Ett litet demo-nät om fyra punkter markerades och mättes in på KTH i avsikt att pröva på hela arbetsgången från nätplanering till beräkning av koordinater i plan och höjd.

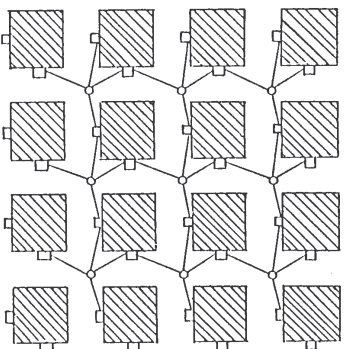
Desutom gjordes en del simuleringsstudier på LMV i Gävle för att få en uppfattning om dels vilken nätgeometri som ger den bästa noggrannheten och kontrollerbarheten, dels vilken noggrannhet man kan uppnå vid utnyttjande av ett väggpunktsnät. Möjligheterna till felsökning vid användande av olika beräkningsprogram undersöktes också.

2.1 NÄTUTFORMNING

TVå typer av schematisk simulering genomfördes. Väggmarkeringarna placerades dels vid varje gatukorsning i kvartershörnen, dels mitt på kvarterssidorna (se figur 1 och 2). Inmätning tänktes ske från en fri uppställning i varje gatukorsning.



Figur 1. Väggpunktsnät med markeringar i kvartershörnen
 O = stationpunkt
 ▨ = väggpunkt
 ▨ = kvartershörnen
 Antal objekt/station: 5
 Antal sikter mot varje väggpunkt inuti området: 5



Figur 2. Väggpunktsnät med markeringar mitt på kvarterssidorna
 O = stationpunkt
 ▨ = väggpunkt
 ▨ = kvarterssidorna
 Antal objekt/station: 4
 Antal sikter mot varje väggpunkt inuti området: 2

Det visade sig att markering mitt på kvartersidorna med för ungefär dubbelt så många väggpunkter som markering i kvartershörnen, och att inmåtningsgeometrin är nästan idealisk när det gäller hörnmät (räta vinklar).

Vid bedömning av ett geodetiskt stomnäts styrka kan beräkning av ett kvalitetsstal, $k = \bar{o}/n = (n-m)/n$, där n är antalet mätningar, m antalet obekanta och \bar{o} antalet överbestämningar, ge god vägledning. I ett bra triangelnät är $k > 0.5$, vilket innebär att nätet har god geometrisk styrka utan att innehålla överflödiga mätningar. Om k är avsevärt högre än 0.5 i ett nät innebär det att nätet innehåller fler mätningar än vad som är nödvändigt, om k ligger betydligt under 0.5 bör fler mätningar utföras för att uppnå acceptabel noggrannhet och kontrollbarhet i nätet.

För väggmarkerade stomnät kan k sättas = $(2ou-3u-2p)/2ou = (n-m)/n$, där

o = antal objekt/uppställning (ett typvärde för mätningarna används)
 u = antal uppställningar
 p = antal markerade punkter (väggpunkter + eventuella punkter på marken som man vill bestämma)
 $n = 2ou =$ antal mätningar
 $m = 3u+2p =$ antal obekanta

Om k sätts = 0.5 kan minsta antalet objekt/uppställning vid inmätning av ett väggmarkerat stomnät bestämmas enligt

$$o = (3u+2p)/u \approx 5,$$

eftersom $p \approx u$ om man gör en uppställning intill varje väggpunkt och antar att antalet nybestämda markpunkter är försumbart.

Detta innebär att man bör bestämma minst fem objekt/station, vilket blir fallet om nätet har utformats enligt modellen "markering i kvartershörnen". Vad gäller modellen med markering mitt på kvartersidorna, där antalet sikter i regel blir mindre än fem, kan eventuella brister i detta hänseende avhjälpas med en extra uppställning strax intill den första.

Man har således stora möjligheter att, oberoende av inmätningemetoden, låta behoven styra utformningen av ett väggpunktsnät.

2.2 MARKERING

Markering bör, om fördelarna med väggpunkter till fullo skall kunna utnyttjas, ske tillräckligt högt för att inga punkter skall riskera att bli skymda av bilar eller gångtrafikanter, men ändå så pass lågt att de går fria under gatuskyltar, markiser o dyl. Detta leder vanligen till en markeringshöjd på omkring två meter över marken.

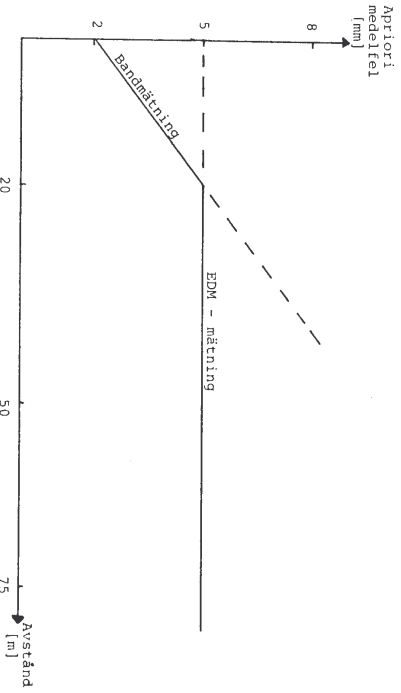
Väggen där markeringen skall sitta bör vara sjukt. Om kryssmarkeringen på plattan skall användas som referenspunkt i höjd, vilket inte rekommenderas, måste plattan vara i lod för att konsolens höjd i ytterändan skall var densamma som kryssmarkeringens höjd.

2.3 INMÄTNING OCH VIKTSÄTTNING

Vid inmätning av ett väggpunktsnät är en omarkerad fri uppställning intill varje väggpunkt att föredra framför centrisk uppställning över en markerad markpunkt. På så sätt reduceras effekten av centreringsfel och fel vid mätning av instrument- och signalhöjd.

Eftersom mätband är bättre än EDM-instrument på korta avstånd men har ett relativt stort längdberoende fel bör korta sikter, vanligen sikten till den väggpunkt man står intill, bandmätas om de är under 20 m för att ge ett tillfredsställande resultat.

Medelfelet för EDM-mätta längder har satts till 5 mm + 0 ppm (ppm-dejen är ointressant eftersom längderna sällan överstiger en kvarterssidas längd), och för bandmätta längder till 2 mm + 150 ppm. På så sätt "möts" medelfelen vid 20 m, se figur 3.



Figur 3. Apriori medelfel för längdmätning

För riktningarna har antagits ett medelfel på 1.4 mgon, vid v s 1.0 mgon vid mätning i två heisatsar. Dessutom tillkommer vid alla typerna av mätningar centreringsfel och liknande fel, som har uppskattats till totalt 3 mm.

Simulering av ett väggpunktsnät med markeringar i kvartershöjden, regelbundna kvarter och inmätning med fri uppställning med ovan skisserade viktsättning, visar bl a att

- de regionala punktmedelafen blir mindre än 5 mm (om det finns kända punkter med "normal" täthet)
- avståndsmedelafen efter utjämning mellan närliggande väggpunkter blir ca 3 - 4 mm
- feiellipserna blir tämligen cirkulära
- nätet får en relativt god tillförlitlighet. Fel större än 20 mm kan upptäckas i alla delar av nätet.
- Fullt tillfredsställande blir det där punkter mäts in från fem stationer. Om detta inte är möjligt får dubbeluppställning övervägas, i synnerhet när det gäller väggpunkter belägna långt från kända punkter.

Inmätningen och beräkningen av demo-nätet på KTH genomfördes enligt ovanstående metodik. Nätet mättes och räknades som ett fritt nät med fem uppställningar. Alla fyra väggpunkterna mättes i alla uppställningar. (Nätkarta, se bilaga 1.)

2.4 BERÄKNING AV KTH-NÄTET

Längderna korrigerades med LMV:s program M7 och närmekoordinater för nypunkterna (både vägg- och stationspunkterna) beräknades. Dessa närmevärden låg till grund för en definitiv planutjämning med program M1. En analys av grova fel gjordes parallellt m h a SUKK-programmet (data-snooping).

För att få en uppfattning om nätets kvalitet vad gäller antalet överbestämningar beräknades ett kvalitetsstal enligt avsnitt 2.1. Detta tal, som alltså för triangelnät bör ligga omkring 0.5, blev i det här fallet 0.45.

Höjduutjämningen gjordes med program M9. En fil från M7 med ur mätdata beräknade höjdskillnader användes som indatafil. Vikterna sattes omvänt proportionella mot avstånd. Grova fel spårades även här, men med konventionella metoder.

Nätet beräknades fristående; en av stationspunkterna (15) valdes som känd med koordinaterna (1000,1000). En sikt mot en fiktiv punkt (500), som låg i förlängningen av sikten mot fixpunkten (5), valdes till utgångsriktning. Fixpunkten gavs höjden 0.000 m.

Resultaten sammanfattas nedan.

Koordinatförteckning: Väggpunkter - KTH

Plankordinater:

Nr	X(m)	Y(m)	Anmärkning
1	1023.810	1002.950	Väggpunkt
2	987.425	1060.998	"
3	978.241	1029.561	"
4	1018.615	964.476	"
5	1065.849	1000.007	Fixpunkt

Regionala punktmått relativt tyngdpunkten = 3 - 4 mm
 Avståndsmedelfel (aposteriori) mellan väggpunkter = 3 - 4 mm

Höjder:

Nr	Def. höjd (m)
1	3.777
2	3.592
3	4.290
4	2.912

Grundmedelfel i höjd = $11.4 \text{ mm}/\sqrt{K_m}$ (maxavstånd 100 m, 2 hel-satsar). Medelfel i utjämnad höjdskillnad mellan väggpunkter = 2 mm.

Såväl plankordinater som höjder avser vridningscentrum hos konsolens horisonteringsanordning. Utgångspunkt i höjd är punkt 5, en fixpunkt som getts den fiktiva höjden 0.000 m.

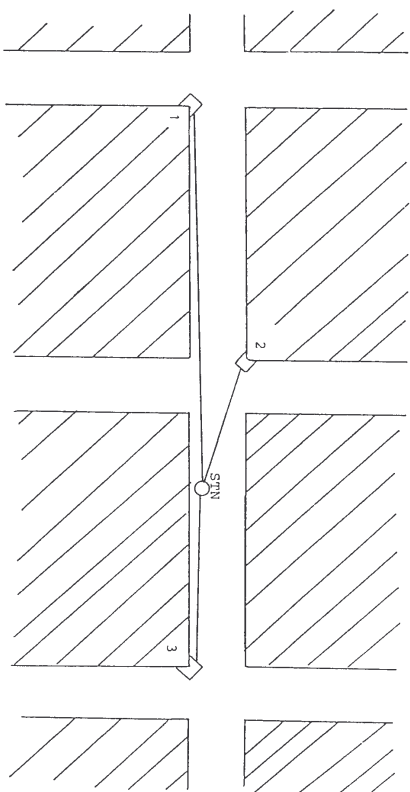
Nätet var naturligtvis för litet för att några mer vittgående slutsatser skulle kunna dras, men vi kunde ändå konstatera att metoden fungerar och att goda resultat sannolikt kan uppnås vid mätning av stora nät om mätningarna utförs med sedvanlig stommåtningsnoggrannhet.

2.5 UTFNYTTJANDE

Även vid utfnyttjande av ett väggpunktsnät används fri uppställning. För ett rationellt bruk krävs - åtminstone vid utsättning - möjlighet att beräkna såväl den fria uppställningen som utsättningsdata direkt på platsen. På så vis krävs varken markering av stationspunkten eller centreringsav instrumentet, och därmed undviks centreringsfel. Däremot krävs fältmässiga beräkningshjälpmedel.

Det är nödvändigt att göra överbestämningar för att få en hög noggrannhet och möjlighet till kontroll och felsökning. Motot vid fri uppställning bör vara "en överbestämning är ingen överbestämning". Ingen överbestämning ger dålig precision och dålig tillförlitlighet då resultatet inte går att kontrollera. En överbestämning ökar precisionen, men

tillförlitligheten är fortfarande dålig och möjligheterna till felsökning är små. Tre eller flera överbestämningar ger bra precision och god tillförlitlighet (se figur 4). Genomförda simuleringsstudier har visat att det som regel krävs 4 - 5 överbestämningar för total kontroll. Dessutom bör principen om interpolation gälla, d v s man ska om möjligt ha objekten (väggpunkterna) fördelade "varvet runt" och inte bara i en begränsad sektor (se Lithén, 1986).



Figur 4. Användning av väggnät, fri uppställning med tre överbestämningar

3 ALINGSÅS VÄGGPUNKTSNÄT

Nätet omfattar de centrala delarna av Alingsås och täcker en yta av c:a 500 m x 700 m. Det består av 34 punkter, huvudsakligen placerade på huvsvägar och hörnpelare. Anslutning i plan gjordes till 18 polypunkter belägna i och omkring området och i höjd till 14 av dessa punkter som hade väl bestämda höjder. Nätkartor finns som bilagor 2 och 3. (Observera att punkter med tresiffriga nummer som börjar på 4 är omarkerade stationspunkter.)

Koordinaterna för väggpunkterna avser vridningscentrum hos konsolens horisonteringsanordning.

3.1 NÄTUTFORMNING

Planering och rekognosering utfördes i huvudsak av Alingsås lantmäteridistrikt. Vi deltog dock i den allra första planeringsomgången för att vidarebefordra våra erfarenheter från förstudierna.

Simuleringarna visade att markeringar i kvartershörn är att föredra. I praktiken blir emellertid en kombination av markering i kvartershörn och markering mitt på kvartersidor ofta nödvändig, så också i Alingsås.

Bland de problem som kan uppstå vid rekognosering bör följande nämnas:

- Gatuskyltar (för övergångsställe, parkering etc) liksom markiser skymmer ofta sikten.
- Hus kan vara byggnadsminnesmärkta. Många hus i Alingsås tillhör denna kategori.
- Parerade bilar, elskåp, reklamskyltar etc kan ställa till problem vid mätningssarbeten om punkterna inte placeras tillräckligt högt, d v s omkring 2 meter över marken. Detta var dock inte möjligt för vissa av punkterna i Alingsås.

Vid rekognoseringen bör man också försöka hitta lämpliga uppställningsplatser.

3.2 MARKERING

Alingsås lantmäteridistrikt utförde all markering. Mitt på kvartersidor användes Geo-Standards fästplatta av plast. Plästplattorna hade dock en tendens att bli deformerade om underlaget var ojämnt och fästskruvarna drogs åt ordentligt.

Vid markering på ojämnt underlag rekommenderas därför plattor i syrafast stål. För markering av punkter i kvartershörn användes den specialplatta som tagits fram av Lantmäteriet i Västerbotten.

3.3 INMÄTNING

De 34 väggpunkterna i nätet koordinatbestämdes både i plan och i höjd. Dessa punkter numererades från 110 till 143. Stationspunkterna numererades från 410 till 443 och från 450 till 458. I huvudsak gjordes en uppställning intill varje väggpunkt utom vid punkt 132. Dessutom gjordes två centriska uppställningar över polygonpunkterna 300 och 633 samt några extra uppställningar i de delar av nätet som var svaga. Totalt gjordes 44 uppställningar. Två vinkelmätningsstationer ströks i efterhand, då misstanke fanns att stativen rubbats. Enstaka mätningar har också tagits bort av skilda orsaker (se bilaga 4).

Vid inmätningen användes dels Wild T2 och Geodimeter 12, dels totalstation Geodimeter 140 med fältmilne Geodat 122.

När Wild T2 och Geodimeter 12 användes mättes först horisontalvinklar i två hejsatser, sedan vertikalkvinklar, också i två hejsatser, och till sist längderna för varje station.

Då Geodimeter 140 användes gjordes kalibrering för korrektion av kollimations- och kippaxelfel vid varje uppställning eftersom dessa fel är starkt väderberoende. Vid mätning gjordes ej genomslag av kikaren.

3.3.1 Utrustning

29 riktningsserier och tillhörande längder mättes med teodolit Wild T2 och Geodimeter 12, och 15 serier mättes med Geodimeter 140. Geo-Standards väggekonsol användes för signalering av väggpunkterna. Signalering av markpunkterna gjordes på sedvanligt vis med stativ och trefötter. Dessa kontrollerades och justerades före användning. En prismatyp utan prismakonstant användes för mätningar med Geodimeter 12. För mätningar med Geodimeter 140 användes utsättningsprismor, även dessa utan prismakonstant.

3.3.2 Signalering

Vid signalering för vinkelmätning med T2:an användes ett koniskt mätmärke som monterades direkt på konsolen för väggpunkter och m h a en adapter på trefoten för markpunkter. Konen var försedd med en skarp grön rand för mätning av vertikalkvinklar på en höjd motsvarande centrum på de prismor som användes vid längdmätning med Geodimeter 12. Signalhöjden blev då 54 mm för väggpunkterna.

Utseendingsprismat vid mätning med Geodimeter 140 var monterat på en adapter, vilket gav en signalhöjd på 163 mm för väggpunkterna (i vissa fall 164 mm då adaptern inte gick att skriva ända ner på en av väggkonsolerna).

Väggkonsolens dosvattenpass är ej justerbart! Därför bör man vara vaksam på eventuella horisonteringsfel. Felet ökar med signalhöjden. Dosvattenpassets funktion kan dock kontrolleras genom att en rak stång fästes ovanpå väggkonsolen och lodas m h a teodolitt i två sinsemellan vinkelräta riktningar. Därefter kan horisonteringsringen eventuellt "ritas om" efter luftblåsans läge (Olivier, 1955, s 166).

Vid horisontering av signalen på väggkonsolen kan det vara svårt att få luftblåsan mitt i horisonteringsringen, särskilt som man inte ser vattenpasset rakt ovanifrån. Dessutom bör man vara uppmärksam på hur konsolen fästs i väggen, då det ibland förekommer glapp i passningen mellan konsol och fästplatta.

3.3.3 Vinkelmätning

Horisontalvinklar mättes i två helsetser med en högsta tillåten differens mellan helsetserna på 1.5 mgon för sikter över 100 meter. 1.5 mgon motsvarar ca 2.4 mm tvärs siktlinjen på 100 meters avstånd och detta mått användes för att beräkna motsvarande högsta tillåtna vinkel differens för kortare sikter.

Vertikalvinklar mättes också i två helsetser. Kontroll av av att CV+CH hölls konstant och nära 400 gon gjordes direkt i fält.

3.3.4 Längdmätning

Vid längdmätning med EDM-instrument gjordes tre oberoende inriktningar mot varje objekt och ett medeltal av dessa tre mätningar bildades.

För kortare längder än 20 meter tillämpades bandmätning eftersom den där bedömdes ha högre noggrannhet.

Inga bandmätningar gjordes när Geodimeter 140 användes. Korta sikter undveks om möjligt eftersom totalstationen ej klarar vertikalkvinkelmätning i helsetser på korta avstånd och halv-satsmätning inte går att utföra utan samtidig längdmätning.

3.4 BERÄKNING

Beräkningen av Allingsås väggpunktsnät genomfördes på lantmäteriverket i Gävle. Nätet utjämnades separat i plan och höjd. Utjämnningarna utfördes i två steg; först beräknades ett fritt nät och därefter utjämnades nätet med fasta punkter. Denna beräkningsmetod medger goda felsökningsmöjligheter då fel-

aktiga mätningar kan rättas eller elimineras redan vid den fria utjämnningen. Dessutom får man en god uppfattning om mätningarnas respektive de fasta punkternas kvalitet.

3.4.1 Höjdu tjämning

Höjdu tjämningen inleddes med att LMV:s längdkorrektionsprogram M7 kördes. Förutom att detta program korrigerar längderna inför planutjämnningen, beräknar det även höjdskillnader och utför en förenklad höjdu tjämning. M7 producerar en längdfil (ej intressant här), en fil med beräknade höjdskillnader samt en resultatfil redovisande i programmet utförda beräkningar. M h a resultatfilen kunde felaktiga mätningar tas bort och felstansningar och felräkningar rättas. (Vilka mätningar som tagits bort och av vilka orsaker framgår av bilaga 4.)

För att få definitiva höjder i nätet gjordes en höjdu tjämning med LMV:s program M9, som utjämnar enligt en striktare metod än M7. Vid den fria utjämnningen i M9 användes som indata höjdfilen från M7 kompletterad med tågbeskrivningar. Vid den fasta utjämnningen ingick också kända höjder. Vikterna sattes omvänt proportionella mot avstånden.

Den fria utjämnningen gav grundmedelfelet $8.2 \text{ mm}/\sqrt{\text{km}}$ (två helsetsor, maxavstånd 160 m). De mätningar som erhö11 de största förbättringarna var nästan uteslutande mätningar mot markpunkter.

Eftersom de fasta, tidigare höjdbestämda, punkterna genomgående är just markpunkter kommer man inte helt ifrån uppställning av stativ centriskt över en markering. Viktsättningen modifierades därför och hänsyn togs också till den noggrannhetsföräring det innebär att med 2-metersband mäta signal-/instrumenthöjd för en sådan uppställning. Bestämningarna av dessa höjdskillnader viktades ned genom att 100 m, motsvarande ett mätmedelfel på ca 3 mm, adderades till det verkliga punktavståndet vid viktsberäkningen (200 m om både instrument- och signalpunkten var uppställda över markpunkter).

Jämförelsen mellan den fria och den första fasta utjämnningen visade att några av de kända höjderna var mindre bra, och efter kontakt med Alingsås avvägde lantmäteridistriktet tre av dessa punkter (568, 2796, 3770) från kringliggande, bättre bestämda punkter. Dessa avvägningar lades in som sex tåg i indatafilen till M9, och de tre punkterna nybestämde.

Den slutliga höjdu tjämningen gav ett grundmedelfel på $8.9 \text{ mm}/\sqrt{\text{km}}$. Endast ett tåg föll då utanför TFA:s felgränser, och detta berodde på smärre kvarstående spännningar mellan den nya och det gamla nätet, eftersom inga felflaggor fanns i den fria utjämnningen. Överskridandet var dock bara 1%.

3.4.2 Närmvärdesberäkning

Inför planutjämnningen behövdes närmekoordinater på alla nypunkter. Markpunkterna i nätet användes som utgångspunkter, även om många av dem inte hade tillräckligt hög noggrannhet för att de skulle betraktas som kända i den slutliga planutjämnningen. Med hjälp av dessa punkter kunde dock hela nätet preliminärt koordinatbestämmas genom successiva inbindningar av de fria stationspunkterna och därpå följande polärbestämningar av kringliggande väggpunkter.

Själva beräkningen gjordes med LMV:s program M1.1. Indatafilen innehöll, förutom "kända" punkter, beskrivning över hur närmvärdena skulle beräknas, d v s ordningsföljd och punktbestämningss metod, mätta riktningar och längder. Längderna hade dessförinnan korrigerats defintivt för lutning, höjd över havet och meteorologi genom en extra körning av M7 med de definttiva höjderna från M9 givna i indatafilen. Resultatet från M1.1 blev en T-fil som skulle användas vid planutjämnningen.

En alternativ metod att anskaffa närmekoordinater skulle kunna vara digitalisering av punkterna från en storskalig karta. Detta kräver dock att stationspunkterna liksom väggpunkterna markerats relativt noggrant på kartan redan i fält.

3.4.3 Planutjämnning

Resultatet från närmvärdesberäkningen, T-filen, innehöll närmekoordinater på alla punkter, mätta riktningar och mätta, korrigerade längder. Denna fil kompletterades med längd- och vinkelvikter (medelfel: 5 mm + 0 ppm för EDM-längder, 2 mm + 150 ppm för bandmätta längder, 1.0 mgon för riktningar i två helsatsar samt 3 mm centreringssmedelfel i alla tre fallen) och användes sedan som indatafil till programmet MISUKK. MISUKK kördes för att generera dels en omviktad indatafil till M1.2, dels en indatafil till en parallellkörning i SUKK.

Som tidigare nämnts, och i likhet med höjdberäkningen, genomfördes utjämnningen i M1.2 i två steg; först en fri utjämnning med därpå följande felsökning och därefter en utjämnning med fasta punkter.

För den fria utjämnningen hölls en punkt fast och en utgångsriktning mot en avlägsen fiktiv punkt lades in i aktuell riktningsserie. Därefter genomfördes utjämnningen och uppenbart felaktiga mätningar rättades eller togs bort helt. Slutligen gjordes en nätsimulering med programmet SUKK, vilket dels gav ökade möjligheter till felsökning (data-snooping), dels en uppfattning om nätets geometriska kvalitet. Den fria utjämnningen gav grundmedelfelet 0.53, d v s mätprecisionen var bättre än vad som antagits. Nätgeometrin får betecknas som mycket god.

Utjämningsen med fasta punkter gjordes på motsvarande sätt och jämfördes med den fria utjämningsen. Det visade sig då att vissa av de äldre punkterna inte var bra, och det beslutades att dessa skulle nybestämmas om så var möjligt, d v s om det fanns tillräckligt med mätningar till dem, annars skulle de helt enkelt lämnas därhän. Dessutom verkade det som om det var en skalskillnad mellan det gamla nätet och det nybestämda.

För att få ytterligare bekräftelse på denna skalskillnad gjordes en Helmert-transformation av alla kvarstående fasta punkter mellan det gamla och det fritt utjämnade nätet. Koordinatransformationen utfördes med program SNOOPY, som också medger statistisk kontroll av resultatet, och visade att det förelåg en skalskillnad på strax under -50 ppm. (En viss del av denna skalskillnad kunde dock förklaras av att koordinaterna på de äldre punkterna tidigare beräknats utan projektionskorrekitioner.) För några punkter var avvikelserna fortfarande litet väl stora. Ingen avvikelse var dock statistiskt signifikant varför dessa punkter ändå bedömdes kunna ingå som fasta i utjämningsen som planerat.

Att på ett liknande sätt som vid utjämningsen i höjd vikta ned mätningarna mot/på markpunkter även i planutjämningsen testades också. Ett medelfel på 2 mm adderades (kvadratisk) till centreringsmedelfelet för sådana punkter, d v s medelfelet sattes till 3.5 mm för mätningar mot eller från punkter markerade på marken och till 4 mm för mätningar från centrisk uppställning till annan markpunkt. Resultatet gick i rätt riktning, men spänningarna mellan det gamla och det nya var större i plan än i höjd (vilket vanligtvis är fallet), varför förbättringen endast blev marginell. Detta omständliga förfarande vid vikt-sättningsen kan därför inte rekommenderas vid kommande projekt - möjligen vid helt fria utjämningsar.

Den slutliga utjämningsen gjordes med fri skalfaktor i M1.2. Skalfaktorn uppskattades till -42 ppm. Detta värde är så pass stort att en korrektion alltid bör påföras mätningarna vid utnyttjande av nätet. Mätta längder bör således kortas av med 4.2 mm per 100 m innan de används för beräkningar i avslutning till detta nät.

Grundmedelfelet blev 0.92. Ökningen från den fria utjämningsen beror på att fasta punkter inte är felfria, men avslutningsen är ändå nödvändig för att åstadkomma homogenitet mellan gammalt och nytt.

En sammanställning av resultatet ges i bilaga 5 och i bilagorna 6 och 7 finns en fullständig redovisning av beräkningarna (Då de olika beräkningsprogrammets sorteringsrutiner fungerar olika är det inte samma inbördes ordning mellan punkterna/mätningarna i de olika resultatutskriftena.)

3.5 SUMMERING OCH UTVÄRDERING AV RESULTATET

Måtprecisionen i den trigonometriska höjdbestämmningen är $8.2 \text{ mm}/\sqrt{\text{Km}}$ (grundmedelfelet från den fria utjämnningen), vilket motsvarar ett mätmedelfel på 2.6 mm för en 100-meters-sträcka och i stort sett uppfyller kraven för avvägning enligt mätklass II, ordning 2 i TFA. Detta får betecknas som mycket bra.

Den lilla skillnaden mellan grundmedelfelen i den fria och den fasta höjbutjämnningen (8.2 resp 8.9 $\text{mm}/\sqrt{\text{Km}}$) visar att utgångshöjderna efter nybestämning av 568, 2796 och 3770 är bra. Medelfelet efter utjämnning i höjdskillnaden mellan två närliggande väggpunkter är i båda fallen mindre än 2 mm (Persson, 1985a, formel 25, sid 26).

I planet håller, som tidigare framhållits, de äldre punkterna inte fullt så hög kvalitet. Den fria utjämnningen ger ett genomsnittligt avståndsmedelfel (aposteriori) på drygt 2 mm mellan närbelägna väggpunkter. Detta ger en bättre uppfattning om metoden som sådan än den fasta utjämnningen, och vi kan alltså konstatera att det är möjligt att med det tillämpade mätförfarandet åstadkomma en noggrannhet på ca 3 mm, uttryckt som relativt punktmedelfel (TFA, bilaga 2.1 B), om utgångspunkterna är bra bestämda.

Grundmedelfelet 0.53 i den fria planutjämnningen visar att måtprecisionen var bättre än vad som antagits. Apriorimedelfelen för längd- och vinkelmätningen, se avsnitt 3.4.3, har satts ungefär 80 - 90 % för högt. Det bör dock betonas att detta grundmedelfel inte ger någon information om eventuella skilosäkerhet i längdmätningen.

Efter anslutning till de tidigare bestämda punkterna, d v s i den fasta utjämnningen, kan resultatet karakteriseras av följande medelfel-suppskattningar:

Avståndsmedelfel mellan närliggande väggpunkter	3 - 4 mm
Relativa punktmedelfel mellan närliggande väggpunkter	< 5 mm
Genomsnittligt lokalt punktmedelfel (TFA, bilaga 2.1 B) för väggpunkter	2 - 3 mm
Genomsnittligt regionalt punktmedelfel för väggpunkter	3 - 4 mm

Beträffande utjämnningens tillförlitlighet (Persson, 1985c), visar resultatet från simuleringen i program SUKK att grova fel över 25 mm enkelt går att hitta (inre tillförlitlighet),

och att eventuella kvarvarande fels inverkan på utjämningsresultatet (yttre tillförlitligheten) genomgående är mindre än fyra ggr de berörda punkternas avståndsmedelfel ($< 15 \text{ mm}$).

Mest anmärkningsvärt i den fasta utjämnings- och skalfaktorn, som är statistiskt signifikant och därför måste beaktas.

4 SLUTKOMMENTAR

Arbetet med Alingsås väggpunktsnät har tillsammans med genomförda simuleringstudier visat att väggmarkerade stomnät på flera punkter har avsevärda fördelar gentemot traditionellt utformade polygonnät. Genom att fri uppställning används vid både inmätning och senare utnyttjande av nätet förenklas stomnäts- och utsättningsarbetet, eftersom man har stora möjligheter att anpassa uppställningsplatsen efter rådande situation. En felkälla elimineras samtidigt då ingen centrerings av instrumenten behöver göras.

Eftersom man mäter otraditionellt - till synes litet hur som helst - måste beräkningarna utföras m h a "triangelnätssystem". En sådan teknik kräver litet större datorkapacitet än vad som är fallet vid t ex beräkning av rena polygonnät, men med de datorresurser och den programvara som idag finns på lantmäteriverket innebär detta inget problem. Varje körning kan bli något dyrare (med dagens dator-taxa), men det uppvägs av ett enklare förfarande vid felsökning och en tillförlitligare slutprodukt.

Vidare uppnås vid användande av väggpunkter en rad andra fördelar såsom färre raserade punkter, lägre markeringskostnader, förenklat arbete vid upprättande av punktbeskrivningar, ingen risk för förstörda ledningar vid markering m m. Väggpunkter är också särskilt lämpliga vid inmätning av ledningsnät då de inte påverkas av eventuella gatuarbeten. Man har dessutom större frihet vid nätplaneringen eftersom inga hänsyn behöver tas till fasta siktlinjer mellan punkterna.

När det gäller nätutformningen har framför allt simuleringarna visat att nät med markeringar i kvartershörnen är att föredra framför nät med markeringar mitt på kvarterssidorna. I praktiken måste det oftast bli fråga om en kombination av dessa två nättypor, då stadsbildens sållan är så regelbunden att rena hörnnät går att genomföra. Så blev också fallet i Alingsås, där ett mindre antal punkter fick placeras på andra ställen än i kvartershörnen.

Den främsta orsaken till att man föredrar hörnnät är att dessa ger en mycket god inmätningssgeometri (räta vinklar) samt att man vid varje uppställning i en gatukorsning har sikt till fem väggpunkter - jämfört med fyra för nät med markeringar mitt på kvarteren. Detta har naturligtvis också betydelse för den fortsatta användningen av nätet. Dessutom krävs det inte lika många punkter om nätet utformas som ett hörnnät.

Vid inmätning av nätet i Aalingsås användes dels T2 och Geodimeter 12, dels totalstation Geodimeter 140 med Geodat 122. Avsikten var att studera eventuella skillnader mellan instrumenttyperna och mätningsemetoderna vad gäller noggrannhet, tillförlitlighet och tidsåtgång. Det gick naturligtvis snabbare att mäta med totalstation och fältlärare om man mätte enligt den metod som tillverkaren rekommenderar, d v s utan genomslag av kikaren, jämfört med mätning enligt traditionell metod med T2, Geodimeter 12 och handskrivna protokoll. Å andra sidan har man mycket mindre möjligheter att kontrollera i fält om satserna håller sig inom givna felgränser.

I fråga om noggrannheten kunde inga signifikanta skillnader konstateras mellan instrumenttyperna. Detta beror möjligen på att mätningar med de olika instrumenten blandats i nätet. Kanske skulle nätet ha delats i två geografiskt skilda delar som mätts separat med respektive instrument för att eventuella skillnader skulle bli påvisbara.

För höjdbestämmning av Aalingsås-nätet användes trigonometrisk höjdmätning med mycket gott resultat. Denna metod bör kunna komma till användning i större utsträckning än vad som är fallet idag. Tillämpad på samma sätt som i detta projekt är trigonometrisk höjdmätning användbar också då noggrannhetskraven är höga.

Även plannoggrannheten är god. Totalt sett kan man komma ned till ett relativmedelfel mellan närliggande väggpunkter på 2 mm/koordinat (X, Y och höjd) - d v s 3-4 mm i tre dimensioner - om överliggande nät är bra.

Anslutning i höjd av nätet i Aalingsås gjordes till ett antal polygonpunkter i området. Dessa signalerades på vanligt sätt med stativ och trefötter, och signalhöjden mättes med måttband. Noggrannheten i bestämmningen av signalhöjden för dessa punkter blev därför lägre än för väggpunkterna. För att höja denna noggrannhet rekommenderas istället en annan metod vid anslutning av väggnät i höjd, om anslutningen görs direkt till fixpunkter: En avvägningstång placeras på fixpunkten, höjden bestäms med trigonometrisk höjdmätning mot en jämn metermarkering och längden med s k optisk distansmätning (vertikalvinklar mäts mot minst två punkter på stängen, t ex 1 m och 2 m, varur avståndet kan beräknas). På så sätt undviks direkt mätning av signalhöjden och noggrannheten i höjdbestämmningen förbättras.

Eftersom några sikter blir mycket korta måste excentriciteten mellan längdmätarens och teodolitkikarens axel hos vissa instrument, t ex Geodimeter 140, beaktas. Om bandmätning tillämpas för avstånd under 20 m undviks dock detta problem.

Vid signalering av väggpunkter används någon typ av väggkonsol som fäste för prisma och måtmärke. Denna konstruktion innebär att signalhöjden kan hållas konstant samtidigt som centreringselektens storlek begränsas. Om markeringen har placerats på lämplig höjd minimeras också risken att signalen skall rubbas under pågående mätning. Förmodligen kan centre-

ringsfelet hos signalen minskas ytterligare genom en vidareutveckling av väggkonsolerna.

Ett införande av väggmarkerade stomnät innebär troligen inte någon omedelbar övergång från markpunkter till väggpunkter. Istället blir det fråga om en successiv utveckling. Befintliga markpunkter kommer även i fortsättningen att fylla en funktion, t ex för anslutning av de väggmarkerade näten. Dessutom är väggmarkerade nät lämpliga endast i centrala delar av tätorter, och därför finns det alltid markpunkter av skilda ordningar i gränsområdet mellan vägnät och överliggande triangelnät. På vissa ställen, där bebyggelsen inte är lämpad för rena vägnät, kan det också visa sig fördelaktigt att kombinera vägg- och markpunkter. Även i dessa fall kan den här redovisade mätmetodiken tillämpas.

Slutligen bör framhållas behovet av kraftfulla och fältmässiga beräkningshjälpmedel för att vägnäten ska kunna utnyttjas optimalt, och för att de ska få den spridning de förtjänar.

5 LITTERATURFÖRTECKNING

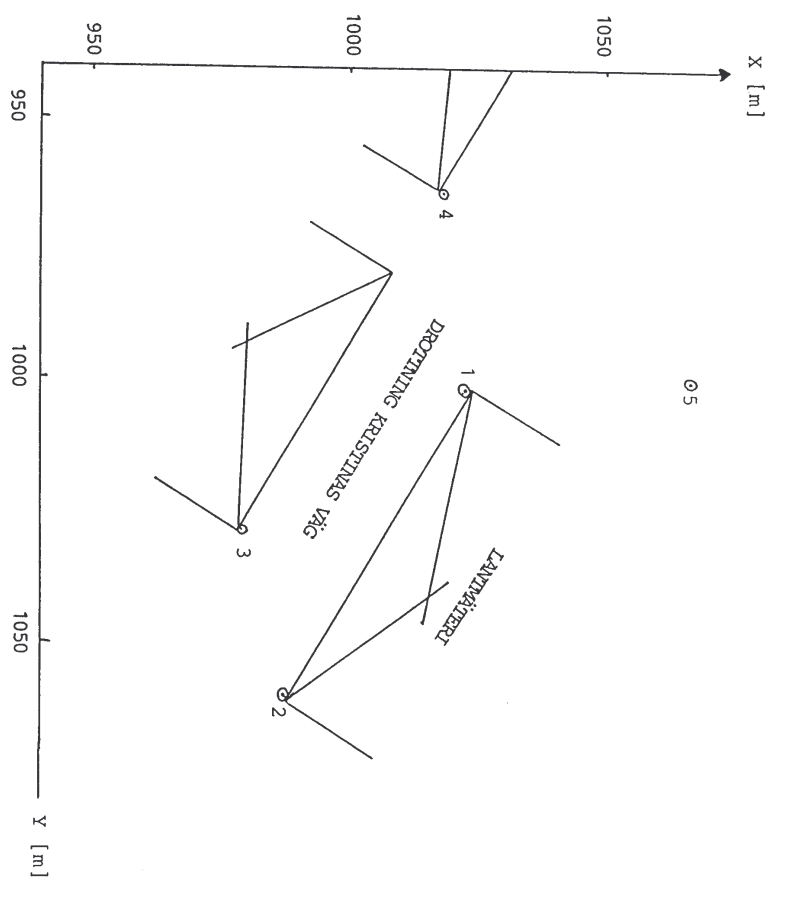
- Blaichut, Chrzanowski, Saastamoinen, Urban Surveying and Mapping, Springer Verlag, New York, 1979.
- Hellman B, Källström B, Oldemark T, Persson CG, Virking J, Vägmarkerade stornät - sammanställning av erfarenheter, Gävle, LMV-rapport 1985:6.
- Kvarnström L, Stommätning som vid sekelskiftet, Svensk Lantmäteritidskrift 1982:2, sid 86-93.
- Lithén T, En ny metod för beräkning och kontroll av fri instrumentuppställning, Svensk lantmäteritidskrift 1986:3, sid 154-160, LMV-rapport 1986:15.
- Olivier F, Instruments Topographiques, Editions Eyrolles, Paris, 1955.
- Persson CG, 1985a, Några enkla metoder för noggrannhetsanalys av avväggningsnät, Gävle, LMV-rapport 1985:2.
- Persson CG, 1985b, Vägmarkerade stornät - sammanställning av erfarenheter, Svensk lantmäteritidskrift 1985:6, sid 315-320.
- Persson CG, 1985c, SUKK - ett programsystem för grafisk presentation av precision och tillförlitlighet i geodetiska nät, Svensk lantmäteritidskrift 1985:6, sid 329-335.

6 BILAGOR

- 1 Nätkarta, KTH
 - 2 Nätkarta med utförda mätningar, Alingsås
 - 3 Nätkarta med kvartersbild, Alingsås
 - 4 Borttagna mätningar
 - 5 Koordinater för fasta och nybestämda punkter
-
- 6 Höjduftjämnning av Alingsås väggpunktsnät
 - 7 Planutjämnning av Alingsås väggpunktsnät

Obs! Bilagorna 6 och 7 ingår endast i ett fåtal ex av denna rapport.

Demo-nät, KTH



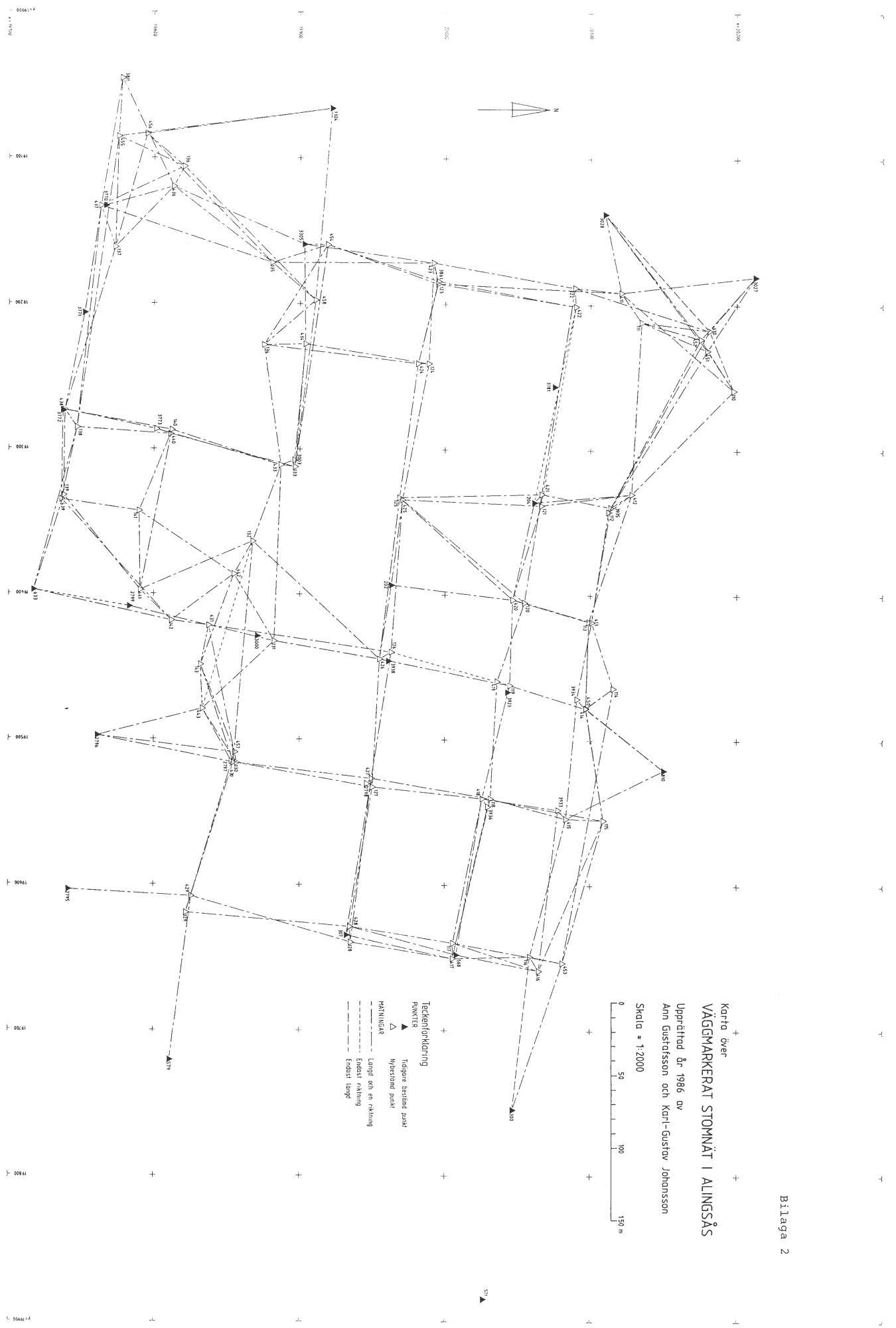
Karta över
VÄGGMARKERAT STOMNÄT I ALINGSÅS

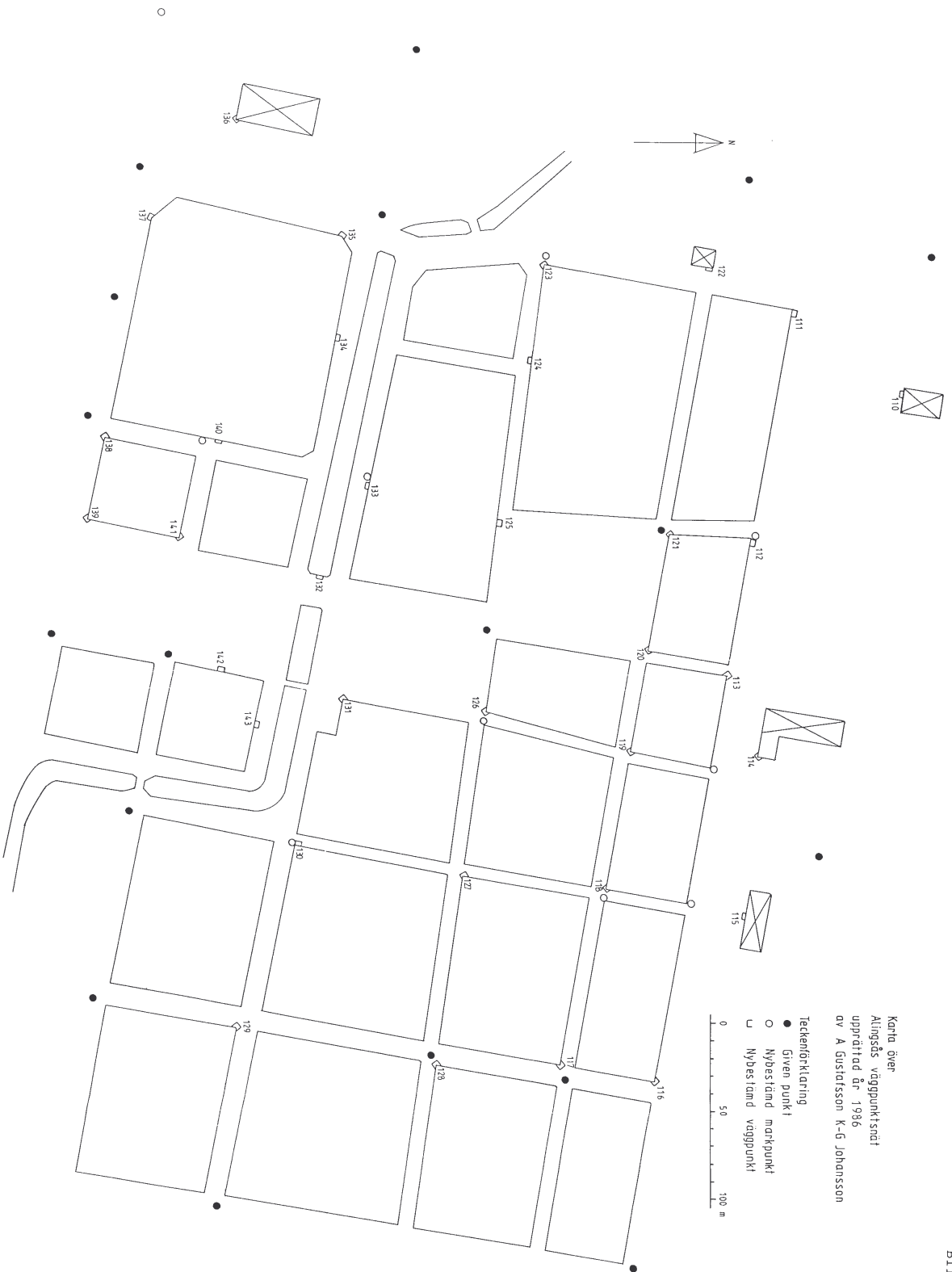
Upprättad år 1986 av
Ann Gustafsson och Karl-Gustav Johansson

Skala ≈ 1:2000



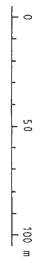
- Teckenförklaring
- PUNKTER ▲ Tidigare bestånd punkt
 - ▲ Nybestånd punkt
 - MÄTNINGAR — Landet och en rikning
 - Endast rikning
 - Endast längd





Karta över
Alingsås vägpunktsnät
upprättad år 1986
av A Gustafsson K-6 Johansson

Teckenförklaring
● Given punkt
○ Nybestämning markpunkt
□ Nybestämning vägpunkt



BORTTAGNA MÄTNINGAR

RIKTNINGAR

Från	Mot	Orsak
300	116	nollobjekt 571, röret rubbat
	571	" "
410	3028	stativet på 3028 rubbat

LÅNGDER

Från	Mot	Orsak
300	571	röret rubbat på 571
419	126	signalen skymd
422	121	stora förbättringar
422	204	" "
422	3781	" "
438	3772	för kort avstånd för Geodimeter 140
443	132	signalen skymd

Alla mätningar från station 435 togs bort eftersom stativet rubbats.

Mätningar mot följande markpunkter togs bort då allt för få mätningar mot punkterna gjorts: 2798, 3000, 3781 och 3923. Av samma anledning har ingen nybestämning av höjden på 3772 gjorts.

ALINGSÅS VÄGGPUNKTSNÄT 1986

KOORDINATFÖRTECKNING

Plansystem Alingsås system
Höjdsystem: RH00

GIVNA PUNKTER

NR	X	Y	HÖJD
202	19963.095	19393.457	63.661
204	20061.352	19335.946	63.692
300	20046.747	19754.578	64.444
307	19932.483	19634.555	64.685
568	20008.151	19647.877	-----
579	19811.110	19721.175	64.002
633	19717.149	19397.669	62.615
810	20150.211	19520.568	64.056
2795	19741.452	19603.800	61.982
2796	19761.328	19497.849	-----
2799	19783.259	19408.745	61.107
3027	20212.453	19180.549	63.539
3028	20109.949	19137.701	62.697
3304	19921.988	19065.850	62.972
3305	19903.013	19159.210	60.613
3770	19766.793	19133.119	-----
3771	19752.300	19206.643	-----
3772	19737.355	19273.939	64.085

NYBESTÄMDA VÄGGPUNKTER

NR	X	Y	HÖJD
110	20197.723	19258.529	65.793
111	20134.901	19211.702	65.351
112	20112.427	19342.200	65.467
113	20099.003	19418.054	66.255
114	20115.679	19464.187	66.316
115	20109.067	19554.902	66.836
116	20058.738	19648.852	66.567
117	20005.828	19639.737	66.881
118	20031.529	19540.165	66.308
119	20044.627	19462.154	65.925
120	20054.687	19404.976	65.706
121	20066.089	19338.010	65.611
122	20089.163	19188.237	65.575
123	19994.902	19185.918	62.245
124	19988.772	19240.747	64.395
125	19968.615	19333.093	65.282

NYBESTÄMDA VÄGGPUNKTER forts

126	19963.001	19439.414	65.908
127	19950.292	19532.608	66.749
128	19935.494	19639.399	67.001
129	19822.381	19619.409	66.399
130	19857.017	19516.421	64.133
131	19882.527	19432.170	61.842
132	19867.790	19363.454	61.611
133	19896.786	19312.244	61.480
134	19875.560	19228.328	62.313
135	19881.020	19171.801	62.650
136	19820.843	19106.139	64.980
137	19773.437	19161.513	64.734
138	19747.104	19285.673	64.710
139	19737.920	19332.421	65.917
140	19812.237	19287.030	65.108
141	19789.814	19342.906	64.808
142	19812.165	19418.288	62.741
143	19832.285	19448.464	61.991

NYBESTÄMDA MARKPUNKTER

NR	X	Y	HÖJD
568	-----	-----	64.831
2796	-----	-----	60.542
2797	19853.351	19515.246	61.484
3003	19896.331	19307.557	60.072
3770	-----	-----	63.834
3773	19801.779	19286.497	63.477
3811	19778.082	19045.720	63.388
3861	19995.159	19184.070	60.908
3933	20077.875	19547.844	64.507
3934	20090.941	19471.470	64.292
3935	20113.766	19339.215	64.122
3936	20029.715	19545.685	64.646
3938	19961.097	19445.610	63.737

INFORMATION OM UTJÄMNINGARNA

Höjdujtämning

Grundmedelfel: 8.9 mm/ $\sqrt{\text{km}}$ (8.2 mm/ $\sqrt{\text{km}}$ fritt)
Antal givna höjdpunkter: 14
Antal nypunkter: 88
Antal "tag": 242
Antal överbestämningar: 154

Planutjämning

Skalfaktor: 0.99995836 eller -42 mm/km
Grundmedelfel: 0.92 (0.53 fritt)*
Antal givna planpunkter: 18
Antal nypunkter: 85
Antal riktningsserier: 42
Antal riktningsserier: 42
Antal riktningsserier: 237
Antal längdmätningar: 234
Antal överbestämningar: 258

*) Beträffande viktsättning se avsnitt 3.4.3.