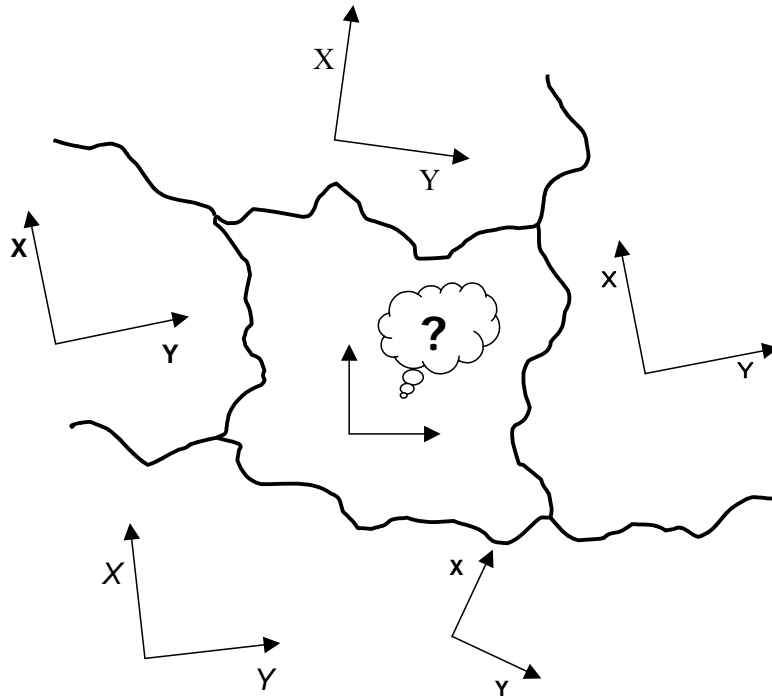


Rapportserie: Geodesi och Geografiska informationssystem

# Jämförelse av olika metoder att föra över kartdetaljer till ett nytt koordinatsystem



Niklas Svanholm

Gävle 2000

LANTMÄTERIVERKET



# Jämförelse av olika metoder att föra över kartdetaljer till ett nytt koordinatsystem

Niklas Svanholm

Gävle 2000

## Sammanfattning

Det här examensarbetet behandlar förfaranden och problemställningar vid byte eller upprättning av ett koordinatsystem. Bakgrunden är ett ökat behov av homogena och noggranna lokala anslutnings- och bruksnät. Några olika metoder att reducera deformationer vid överförandet av kartdata till ett nytt koordinatsystem har undersökts och utvärderats. Resultatet av arbetet kan vara lämpligt som underlag då diskussioner om ett byte av koordinatsystem förs inom exempelvis en kommun.

Ett stort antal kommuner i Sverige står inför någon form av åtgärder när det gäller de stomnät och koordinatsystem som kommunens geografiska information är knuten till. Detta för att anpassa sig till ny teknik och de ökade kraven på kännedom om kvalitet hos geografiska data och de ökade kraven på möjligheten till utbyte av dessa. Att många kommuner befinner sig i ett nära förestående av ett byte av koordinatsystem framgår bland annat av svaren i en enkätundersökning som utförts i samband med examensarbetet och beskrivs i rapporten. Det finns emellertid inga klara riktlinjer för hur en kommun ska gå till väga i detta arbete och erfarenheterna är fortfarande begränsade på området.

För att erhålla lämplig bakgrundsinformation till examensarbetet har tre kommuner kontaktats; Norrköping, Falun och Helsingborg. Gemensamt för dessa är att det i respektive kommun pågår ett arbete med att föra över den kommunala kartan till ett nytt koordinatsystem. Bakgrunden till dessa byten beskrivs i varsin bilaga.

De datorprogram som använts för att testa olika transformationsmöjligheter är i huvudsak Lantmäteriverkets transformationsprogram GTRANS och ett för examensarbetet framtaget program som kan kombineras med GTRANS. Ytterligare ett transformationsprogram, NYTDAT från norska Norkart AS, har studerats och beskrivs i rapporten. De data som använts vid tester är dels simulerade kartdata, dels verkliga kartdata från Helsingborgs kommun och Falu kommun.

Resultatet av olika försök, och jämförelser dem emellan, presenteras och diskuteras. Det visar sig att metodernas egenskaper ofta varierar då olika yttre faktorer och parametrar varierar. I rapporten belyses därför olika metoders egenskaper i olika situationer, snarare än att varje metod betygsätts. Fördjupade diskussioner förs runt några identifierade effekter av respektive metod.

Som komplement till testerna av olika sätt att transformera kartdata har en enkätundersökning utförts. Enkäten innehöll ett antal frågor som berör koordinatsystem och stomnät och användningen därav, och den ställdes till de för området ansvariga personerna i kommunerna. Svar från 83 kommuner erhöles och en sammanställning av svaren och en diskussion runt dem presenteras i rapporten.

## Abstract

This Master of Science thesis discusses procedures and presentation of problems with exchange of co-ordinate system. The background is an increased need of homogenous and accurate local geodetic networks. Some methods to reduce deformations when transferring geometric data to a new co-ordinate system are examined and evaluated. The results from the project may serve as a basis when the change of co-ordinate system is discussed in, for example, a municipality.

A great number of municipalities are facing some kind of measure concerning the geodetic networks and co-ordinate systems the municipality's geographical information is related to. This is necessary in order to adapt to new technologies and the increasing demands of awareness of the quality of geographical data and the increasing demands on the possibility to exchange of these data. The fact that a lot of municipalities are facing some kind of exchange of its co-ordinate system could be made clear from some of the answers in a questionnaire presented in the thesis. However, there are no unambiguous principles for how a municipality should proceed in this work since the experiences in the area are limited.

To get adequate background information for the Master of science project, three municipalities were contacted; Norrköping, Falun and Helsingborg. The common factor of these municipalities are that they all are preparing to transfer the local map to a new co-ordinate system. The background of these exchanges are described in separate appendices.

The computer programs that have been used to test different transferring methods are above all a program for transformation called GTRANS, developed by the National Land Survey of Sweden, and a program made to be used together with GTRANS. One further program, NYTDAT from the Norwegian manufacturer Norkart AS, was studied and is described in the thesis. The data used in different tests are partly simulated map data, partly real map data from the municipalities Helsingborg and Falun.

Results from different tests, and comparisons between these, are presented and discussed. It often turned out that the properties of different methods are varying when external conditions and parameters are varied. Therefore, in this thesis, different methods properties in different situations are described, rather than that each method is given a grade. Thorough discussions over some identified effects of each method are held.

As a complement to the tests of different methods to transfer map data, a questionnaire has been performed. A number of questions concerning co-ordinate systems and geodetic networks, and the use of them, were given to persons in municipalities responsible for these tasks. Answers were received from 83 municipalities, and a compilation of the answers and a discussion over them are presented in the thesis.

# Innehållsförteckning

<b>JÄMFÖRELSE AV OLIKA METODER ATT FÖRA ÖVER KARTDETALJER TILL ETT NYTT KOORDINATSYSTEM .....</b>	<b>I</b>
<b>SAMMANFATTNING .....</b>	<b>1</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>2</b>
<b>INNEHÅLLSFÖRTECKNING .....</b>	<b>3</b>
<b>FÖRORD .....</b>	<b>5</b>
<b>1 BAKGRUND .....</b>	<b>6</b>
<b>2 SYFTE.....</b>	<b>7</b>
2.1 ALLMÄNT .....	7
2.2 ÖVERFÖRING AV KARTDATA.....	7
2.3 INFORMATIONSKÄLLOR .....	7
2.3.1 Kommuner .....	7
2.3.2 Lantmäteriet .....	7
2.3.3 Privata aktörer .....	8
2.4 FRÅGEFORMULÄR RIKTAD TILL KOMMUNER.....	8
<b>3 BESKRIVNING AV TRANSFORMATION MED INPASSNING I PLANET.....</b>	<b>8</b>
<b>4 METODER I JÄMFÖRELSE .....</b>	<b>9</b>
4.1 INPASSNING AV PASSPUNKTER MED RESTFELSINTERPOLATION I TRIAD.....	9
4.2 INPASSNING AV FIKTIVA PUNKTER I ETT RUTNÄT MED RESTFELSINTERPOLATION I TRIAD.....	9
4.3 INPASSNING AV PASSPUNKTER UTAN HÄNSYN TILL RESTFEL .....	10
4.4 TRANSFORMATION MED NYTDAT.....	10
4.5 FÖRFININGAR AV METODER.....	10
4.6 VARIATION AV YTTRE FÖRUTSÄTTNINGAR .....	10
<b>5 DATA .....</b>	<b>11</b>
5.1 BEHOV .....	11
5.2 TILLGÄNGLIGA KOORDINATDATA.....	11
<b>6 GENOMFÖRANDE OCH RESULTAT AV TESTADE METODER .....</b>	<b>12</b>
6.1 INPASSNING AV PASSPUNKTER UTAN HÄNSYN TILL RESTFEL .....	12
6.2 INPASSNING AV PASSPUNKTER MED RESTFELSINTERPOLATION I TRIAD.....	12
6.2.1 Bakgrund till metoden .....	12
6.2.2 Triangulering med data från Helsingborg .....	12
6.2.3 Triangulering med data från Falun.....	13
6.2.4 Resultat av transformation från triangulering med data från Helsingborg .....	15
6.3 INPASSNING AV FIKTIVA PUNKTER I ETT RUTNÄT MED RESTFELSINTERPOLATION I TRIAD .....	19
6.3.1 Bakgrund till metoden .....	19
6.3.2 Beräkningsprogram för skapandet av fiktiva punkter i rutnät.....	19
6.3.3 Resultat av trianguleringar med olika rutnät i Falun .....	21
6.3.4 Kommentarer till resultat av trianguleringar med olika rutnät i Falun.....	26
6.3.5 Resultat av transformation genom trianguleringar med olika rutnät i Falun.....	27
6.3.6 Kommentarer till resultat av transformation genom trianguleringar med olika rutnät i Falun.....	32
6.4 TRANSFORMATION MED NYTDAT.....	33
6.5 EFFEKTER I YTTROMRÅDEN VID INTERPOLERING MED TRIAD.....	34
6.5.1 Beskrivning av effekter i ytterområden.....	34
6.5.2 Försök med utanförliggande punkter vid triangulering .....	35
<b>7 DISKUSSION.....</b>	<b>40</b>

7.1 TRANSFORMATIONSPROGRAMMET GTRANS.....	41
7.2 PRESENTATION AV RESULTAT GENOM JÄMFÖRELSE MED MÄTTA KOORDINATER.....	41
7.3 PRESENTATION AV RESULTAT GENOM JÄMFÖRELSE MELLAN ALTERNATIVA METODER.....	41
7.4 BEGRÄNSNING AV FEL I MODELLERING AV DEFORMATION.....	42
7.5 BETYDELSEN AV TRIANGLARNAS UTFORMNING VID TRIANGULERING OCH INTERPOLATION AV RESTFEL. ...	42
7.6 BEHOV AV FORTSATTA UNDERSÖKNINGAR.....	43
<b>8 GENOMFÖRANDE OCH RESULTAT AV FRÅGEFORMULÄR.....</b>	<b>43</b>
8.1 TILLVÄGAGÅNGSSÄTT.....	43
8.2 SAMMANSTÄLLNING OCH UTVÄRDERING AV SVAREN I ENKÄTEN.....	44
<b>9 SLUTSATSER.....</b>	<b>53</b>
<b>10 LITTERATUR.....</b>	<b>55</b>
<b>BILAGA 1. BESKRIVNING AV PROJEKT RIX 95.....</b>	<b>56</b>
<b>BILAGA 2. BYTE AV KOORDINATSYSTEM I NORRKÖPING KOMMUN.....</b>	<b>57</b>
BAKGRUND.....	57
PLANERING.....	57
GENOMFÖRANDE.....	57
UTVÄRDERING.....	58
KONSEKVENSER.....	58
<b>BILAGA 3. BYTE AV KOORDINATSYSTEM I HELSINGBORGS KOMMUN.....</b>	<b>59</b>
BAKGRUND.....	59
SKAN 95.....	59
ÖVERFÖRINGSMETOD.....	59
<b>BILAGA 4. BYTE AV KOORDINATSYSTEM I FALU KOMMUN.....</b>	<b>61</b>
BAKGRUND.....	61
GENOMFÖRANDE I TÄTORTEN.....	61
ÖVERFÖRINGSMETOD.....	61
<b>BILAGA 5. BESKRIVNING AV BERÄKNINGSPROGRAMMET GTRANS OCH PROGRAMMODULEN TRIAD.....</b>	<b>62</b>
<b>BILAGA 6. BESKRIVNING AV BERÄKNINGSPROGRAMMET SOM SKAPATS FÖR METODEN MED FIKTIVA PASSPUNKTER I ETT RUTNÄT.....</b>	<b>64</b>
<b>BILAGA 7. ENKÄT RIKTAD TILL MÄT- OCH KARTANSVARIGA PERSONER I SVERIGES KOMMUNER.....</b>	<b>65</b>

## Förord

I detta arbete har jag försökt att ge en översikt över olika sätt att ta hand om och eliminera deformationer i koordinatsystem. Min avsikt med arbetet är att jämföra några olika metoder att föra över kartdata till ett nytt koordinatsystem, och därmed också belysa några av de problem man kan ställas inför. Min förhoppning är att rapporten kan vara till hjälp när exempelvis kommuner står inför ett byte av koordinatsystem.

Jag vill tacka mina handledare, Huaan Fan, Institutionen för Geodesi och Fotogrammetri, KTH, och Lars E Engberg, LF-Geodesi, Lantmäteriet, för deras hjälp och inspiration. Jag vill också tacka de personer från olika kommuner som hjälpt mig, speciellt Jonas Sjölin, Norrköpings Kommun, Erik Åslund, Falu Kommun och Lars Kvarnström, Helsingborg Stad. Avslutningsvis vill jag tacka medarbetarna på LF-Geodesi, Lantmäteriet, för att de tog sig tid att svara på alla mina frågor.

# 1 Bakgrund

Sveriges kommuner har under årens lopp byggt upp och ajourhållit geografisk information i stor omfattning. De referenssystem som används är ofta lokala, och informationen används kontinuerligt inom den kommunala verksamheten. Ser man enbart till den traditionella kommunala användningen av stomnätet så är det främsta behovet att med stöd av stomnätet effektivt, rationellt, säkert och till lägsta möjliga kostnad kunna utföra inmätningar och/eller utsättningar med en för ändamålet tillräcklig noggrannhet. För att få en fullständig behovsbild bör även traditionell kartläggning, digitala kartverk och kommunalt GIS inkluderas. Denna verksamhet har en omfattning och typ av slutprodukt som skiljer sig högst avsevärt från kommun till kommun.

Övergången till digital teknik vid produktion och användning av geografiska data innebär många fördelar såväl tekniskt som organisatoriskt. För att stomnätet skall kunna utgöra stomme för såväl fortsatt mättningsverksamhet och positionering/navigering som för traditionell kartläggning med digitala kartverk och geografiska informationssystem, bör följande villkor vara uppfyllda för referenssystemet (Engberg, 1994):

- Systemet skall vara homogent och täcka hela området
- Systemet skall ha en hög noggrannhet; det skall klara de mest noggrannhetskrävande tillämpningarna.
- Systemet skall ha en känd noggrannhet för att man skall kunna bedöma förväntad noggrannhet vid användningen, d.v.s. i slutprodukten
- Systemet skall ha ett väl bestämt samband med det nationella referensnätet för att möjliggöra utbyte av information

Övergången till digitala produktionslinjer medför att koordinater får en allt större betydelse. Eftersom koordinatvärden är knutna till koordinatsystem måste samband etableras mellan olika system. Med entydiga och väldefinierade transformationssamband kan lägesbundna data som insamlats eller på annat sätt framställts överföras mellan olika koordinatsystem. Ett nationellt projekt kallat RIX 95 (LMV-Rapport 1994:24) har startats med syfte att skapa goda samband mellan lokala (kommunala) och nationella/globala referenssystem. Detta för att underlätta utbyte av geografisk information, men också för att erhålla en rationell användning av GPS-teknik. För ytterligare information om RIX 95-projektet, se Bilaga 1.

Utnyttjande av GPS-teknik gör det möjligt att uppfylla de nämnda villkoren på ett effektivare sätt än med traditionell teknik. Med GPS-teknik kan man mäta utan direktsikt mellan punkter och därför över långa avstånd. Användning av GPS-teknik ställer dock i sin tur krav på en anpassning av de geodetiska näten beträffande tillgänglighet och utformning. Flertalet kommunala system har en hög lokal noggrannhet, men över längre avstånd är noggrannheten sämre på grund av deformationer i stomnäten. GPS-teknikens fördelar kan då inte utnyttjas fullt ut.

Allt detta gör att många kommuner idag är i behov av att renovera, förnya och anpassa sina stomnät. Det kan dessutom finnas skäl att genomföra ett byte av koordinatsystem i kommunen. I vissa fall saknas ett enhetligt system över hela kommunen; ett resultat av den senaste kommunsammanslagningen. Ofta täcker inte stomnätet hela kommunen, varje tätort har sitt lokala nät och omkringliggande landsbygd saknar helt stomnät. Ett upprätande av stomnät och/eller byte av koordinatsystem kan vara kostsamt. Men om det görs på ett riktigt sätt med noggranna utvärderingar är det i många fall en god investering för framtiden.



## 2 Syfte

### 2.1 Allmänt

Eftersom det är en mängd olika faktorer som påverkar arbetet att anpassa de kommunala stornäten till framtida behov, och förutsättningarna markant skiljer sig mellan olika kommuner, finns det inte något självklart tillvägagångssätt som gäller för alla. Forskning och utveckling pågår ständigt rörande modern mätteknik och moderna referenssystem. På nationell nivå pågår arbete, främst inom Lantmäteriet, att bereda väg för ett underlättat utbyte av geografisk information på nationell, regional och lokal nivå, exempelvis genom projektet RIX 95. Det här examensarbetet är ett led i arbetet att informera kommuner om framtida behov och förutsättningar beträffande stornät och referensnät samt att underlätta för och vägleda berörda kommuner i deras arbete att anpassa sina anslutnings- och bruksnät.

### 2.2 Överföring av kartdata

Examensarbetet har till huvudsakligt syfte att jämföra och utvärdera olika metoder att vid byte av koordinatsystem föra över kartdata från ett gammalt system till det ett nytt system. De fel och motsättningar som orsakas av deformationer i gamla system kan behandlas på olika sätt. Resultatet av jämförelsen ska kunna användas som vägledning vid val av tillvägagångssätt, allt utifrån de speciella förutsättningar och krav på noggrannhet som existerar i varje aktuellt fall.

### 2.3 Informationskällor

Genom att ta del av de metoder som idag används eller kommer att användas kan en jämförelse och bedömning av olika tillvägagångssätt vid överföring av kartdata genomföras. Även ännu icke realiserade idéer kan här vara av intresse att behandla.

#### 2.3.1 Kommuner

Det viktigaste sättet att inhämta bakgrundsinformation och skaffa underlag till det här examensarbetet var att föra en diskussion med de personer som är berörda av de här frågorna i sitt dagliga arbete. Därför kontaktades i ett tidigt skede personer från tre kommuner; Norrköping, Falun och Helsingborg. Gemensamt för dessa kommuner är att det inom dem pågår ett arbete med byte av koordinatsystem. Förutsättningarna skiljer sig dock emellan, likaså de metoder som planeras att användas vid den slutliga överföringen av kommunens kartdata. För mer information om dessa tre kommuner och deras arbete med byte av koordinatsystem hänvisas till en kortfattad presentation av respektive kommun i bilagorna 2, 3 och 4.

#### 2.3.2 Lantmäteriet

Inom Lantmäteriet finns en god kunskap om geodetiska referenssystem och effekter av deformationer i dessa. Lantmäteriet har dessutom en samordnande roll vad beträffar framtida referenssystem och användning därav. Genom forskning och utveckling av nya tekniker kan en bedömning av framtida krav på lokala anslutningsnät med avseende på noggrannhet och homogenitet göras.

Vid Geodesienheten inom Lantmäteriet har en programvara, GTRANS, utvecklats för att kunna transformera koordinater mellan olika system. Programvaran har till detta ett stort antal transformationssamband, geodetiska datum och referenssystem fördefinierade. I en fristående modul, TRIAD, kan man dessutom kompensera för deformationer, spänningar, i frånsystemet vid skapandet av ett transformationssamband. Denna modul utvecklades för att i första hand användas vid transformation av lokalt och regionalt bestämda triangelpunkter för förtätning av rikets triangelnät.

Programvaran testades i examensarbetet till att istället transformera kommunala kartdata. Transformationsprogrammet GTRANS och dess modul TRIAD beskrivs utförligt i Bilaga 5.

### **2.3.3 Privata aktörer**

Det finns många aktörer på marknaden med inriktning mot mätning, beräkning och kartering. Mättnings- och beräkningskonsulter, program- och instrumentleverantörer, stora som små, är aktiva i hela landet, främst på lokal, kommunal nivå. Men då efterfrågan på metoder och lösningar för upprätande eller byte av koordinatsystem av naturliga skäl inte är så omfattande, är idag utbudet av dessa mycket begränsat. Vid en rundringning till ett antal leverantörer av beräkningsprogram var i samtliga fall svaret att deras program inte var anpassade till så ovanliga verksamheter som att modellera deformationer vid byte av koordinatsystem. I ett försök att finna befintliga metoder inom den kommersiella sektorn kontaktades dock det norska företaget Norkart. De har i ett försök tillsammans en norsk kommun utvecklat en programvara, NYTDAT, som använts just till att föra över kommunens karta vid övergång från ett lokalt system till det nationella EUREF89. Tanken var att programmet skulle testas och utvärderades i examensarbetet. Tyvärr kunde inte transformation av kartdata genomföras som planerat i examensarbetet, så programmet kommer bara att diskuteras utifrån dess uppbyggnad och funktion.

## **2.4 Frågeformulär riktad till kommuner**

Detta examensarbete berör till stor del kommunala angelägenheter. Det är inom den kommunala verksamheten behovet av kunskap och erfarenheter inom det berörda området finns. Det är också de mycket skilda förutsättningarna och förhållandena i kommunerna som sätter upp villkoren för hur olika metoder kan utvecklas och användas. Det är därför naturligt att i ett sådant läge skaffa sig en överblick över de lokala systemen och näten, deras kondition och användning.

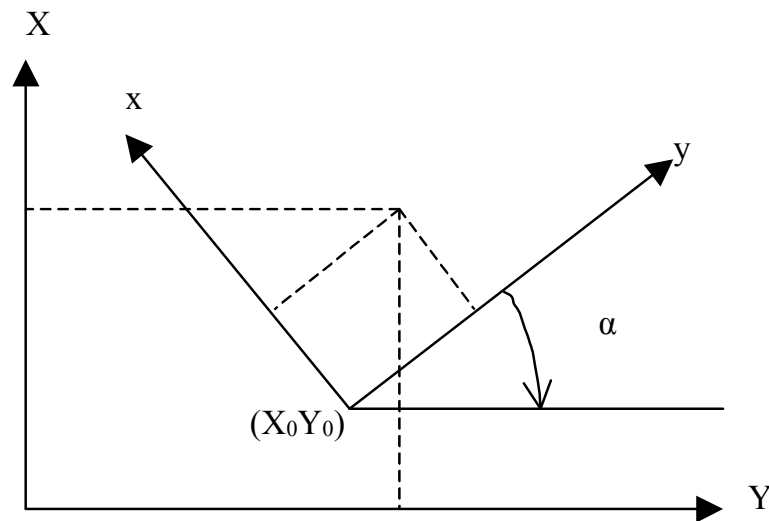
Med detta som bakgrund togs ett frågeformulär fram; se Bilaga 7. Formuläret riktade sig till mät- och kartansvarig person för respektive kommun i landet och innehöll 20 frågor med anknytning till lokala stornät och koordinatsystem. Syftet med frågeformuläret var flera, bland annat att ge en översikt av:

- Vilka system som används lokalt, och i vilken tillämpning.
- Hur kvaliteten och tillgängligheten hos olika system upplevs.
- I vilken omfattning satellitteknik används, och vilka krav tekniken anses ställa på stornätet.
- Hur överföring av kartdata kan ske i de fall det är eller har varit aktuellt.

Syftet var dessutom till viss del att väcka intresset för dessa frågor bland berörda personer i de kommunala organisationerna. Att skapa en kontakt med ansvariga personer gav också dem en möjlighet att i sin tur ge förslag och påverka examensarbetets utformning efter deras önskemål.

## **3 Beskrivning av transformation med inpassning i planet**

Ett centralt begrepp i detta examensarbete är inpassning i plan. Då samband skall erhållas mellan olika plana koordinatsystem tillämpas vanligen en plan likformig inpassning i ett givet projektionsplan, även kallad Helmert-inpassning. Förutsättningarna skall vara två skilda, rätvinkliga högerhandssystem, XY och xy. X och Y har samma skala, x och y har också samma skala, men XY har en annan skala än xy. Mellan systemen föreligger skalfaktorn m. Figur 1 beskriver förhållandet mellan de bägge systemen.



Figur 1. Likformig transformation i planet (Helmert)

$$X = X_0 + y \cdot m \cdot \sin \alpha + x \cdot m \cdot \cos \alpha$$

$$Y = Y_0 + y \cdot m \cdot \cos \alpha - x \cdot m \cdot \sin \alpha$$

Genom Helmert-inpassningen skapas ett transformationssamband mellan systemen, där koefficienterna för en linjär transformation med translation  $(X_0, Y_0)$ , skalning ( $m$ ) och rotation ( $\alpha$ ) bestäms med minstakvadratmetoden, så att avvikelserna i passpunkterna minimeras. Avvikelserna kallas för "restvektorerna" eller "restfelen" i punkterna. För en transformation av punkter, från det ena systemet till det andra, utförs sedan Helmertransformationen som har bestämts.

## 4 Metoder i jämförelse

Efter genomgång av insamlat material och insamlad information formade sig ett antal alternativa tillvägagångssätt vid överföring av kartdata. Ett par i grunden olika metoder var representerade, och utöver dessa ett antal varianter av metoderna.

Följande metoder kom att jämföras:

### 4.1 Inpassning av passpunkter med restfelsinterpolation i TRIAD

Ett antal punkter,  $s$   $k$  passpunkter, är bestämda i bägge koordinatsystemen. Kartdata med koordinater i det gamla systemet transformeras efter en inpassning i planet där parametrarna är gemensamma för hela området, men med tillägg i varje överförd punkt i form av restfel från inpassningen. Dessa restfel beräknas med utgångspunkt från trianglar som i TRIAD skapas mellan passpunkterna. Restfelen i varje godtycklig punkt i den digitalt lagrade kartan erhålls genom interpolation av restfelen i tre närliggande passpunkter. För ytterligare upplysningar om GTRANS och TRIAD, se Bilaga 5.

### 4.2 Inpassning av fiktiva punkter i ett rutnät med restfelsinterpolation i TRIAD

Restfelsinterpolation i TRIAD föregående av ett utjämnande steg i form av ett applicerat rutnät med fiktiva punkter, bestämda i tillsystemet. I stället för att utföra en inpassning i planet med samtliga

passpunkter i det aktuella området, utförs ett antal lokala inpassningar runt fiktiva punkter i ett rutnät, en inpassning för varje punkt i rutnätet. Resultatet är ett rutnät vars punkter har koordinater i de bägge systemen. Nu utförs en inpassning med dessa punkter som passpunkter. De restfel som erhålls kommer att ha en annan karaktär än de som erhållits efter inpassning av de ursprungliga passpunkterna. Rutnätet trianguleras sedan på samma sätt som i föregående fallet i TRIAD.

### **4.3 Inpassning av passpunkter utan hänsyn till restfel**

Denna metod innebär helt enkelt att ett samband som gäller för hela området erhålls genom en Helmertinpassning i planet. Samtliga kartdetaljer transformeras med samma parametrar, ingen hänsyn tas till de deformationer som förekommer i frånsystemet. Att välja detta enkla tillvägagångssätt är fullt tänkbart och det är därför av intresse att jämföra resultat av detta förfarande med resultat av metoder där deformationer modelleras.

### **4.4 Transformation med NYTDAT**

I stället för att bestämma parametrar för en Helmertinpassning i planet för hela området och sedan korrigera överföringen av data med interpolerade restfel, bestäms i den här metoden ett transformations samband för varje kartdetalj som skall överföras. Vid varje tillfälle en punkt ska ges koordinater i det nya systemet används en algoritm som söker upp närliggande passpunkter efter vissa bestämda kriterier. Genom de utvalda passpunkterna kan så en Helmertinpassning i planet utföras och kartdetaljen transformeras direkt till det nya systemet. Metoden har vissa likheter med det förfarings sätt där de fiktiva punkterna i ett rutnät ges transformationsparametrar, men här utförs alltså dessa transformationer för var och en av samtliga kartdetaljer.

### **4.5 Förfiningar av metoder**

Intentionen i examensarbetet har inte varit att försöka finna en optimal metod som löser alla problem. Detta är dessutom knappast möjligt då det finns väldigt många faktorer och förutsättningar som skiljer sig mellan varje praktiskt genomförande av byte/upprätning av koordinatsystem. Men för att erhålla en mer omfattande kunskap om metodernas egenskaper och möjligheter samt för att belysa svagheter och styrkor hos dem, har en del justeringar och förändringar av metoderna genomförts.

### **4.6 Variation av yttre förutsättningar**

En nog så viktig sak är dessutom att testa metoderna under vitt skilda yttre förutsättningar. Karaktären hos de geografiska data som bestämmer förutsättningarna i ett specifikt område kan vara helt avgörande för en metods eventuella framgång. Exempel på förutsättningar som varierar kan vara:

- Tätheten hos passpunkterna, dvs de punkter som representerar sambandet mellan det gamla och det nya koordinatsystemet.
- Noggrannheten hos de metoder med vilka passpunkternas nya koordinater är inmätta och beräknade.
- Kvaliteten, homogeniteten, i det nya systemet.
- Kvaliteten i det gamla koordinatsystemet, storleken och modellerbarheten av de deformationer som finns.

Dessa varierande förutsättningar kommer också i den mån de inte studeras utförligt vid testkörningarna av de olika metoderna att diskuteras längre fram i denna rapport. Ytterligare exempel på förutsättningar och faktorer som kommer att diskuteras är ekonomiska resurser och praktiska möjligheter.

## 5 Data

### 5.1 Behov

För att kunna utföra jämförelser av resultaten från olika metoder är det nödvändigt att ha tillgång till lämpliga data. Data innebär i det här fallet punkter med bestämda koordinater i ett eller flera koordinatsystem. Dessa data används vid de olika transformationerna var för sig varefter en relevant jämförelse av utfallet kan utföras. Om data av varierande karaktär finns tillgängligt kan de dessutom användas för att bedöma hur resultatet av en metod varierar med olika förutsättningar.

De data som har använts är av två slag. Till att börja med bygger metoderna på att det finns möjlighet att bestämma ett samband mellan två olika system. Sambanden kan bestämmas på olika sätt, men ett gemensamt krav är att det finns punkter med koordinater bestämda i de bägge systemen, så kallade passpunkter. Det är dessa passpunkter som definierar förutsättningarna för överföring av kartdata. Vidare behövs, för att erhålla ett för en jämförelse nödvändigt resultat, ett antal kartdata med koordinater i det gamla systemet som transformeras till det nya systemet.

För att kunna jämföra metoderna på ett realistiskt sätt var det önskvärt att de data som användes var hämtade från verkliga mätningar i befintliga lokala stornät och koordinatsystem och därmed kunna vara representativa för olika kommuners förhållanden.

### 5.2 Tillgängliga koordinatdata

Vid jämförelser och tester av metoder användes data i form av koordinatbestämda punkter hämtade från Falu kommun och Helsingborgs kommun. För mer information om dessa kommuner och en beskrivning av punktmaterialet, se Bilaga 3 respektive Bilaga 4. De dataset som användes visas i Tabell 1. Utöver dessa koordinatdata används vid olika försök fabricerade koordinatdata i form av rutnät, gitter. Dessa punkter är jämt fördelade över önskat område och ersätter kartdetaljer när effekter av en transformation skall studeras.

KOMMUN	KOORDINATFIL	BESKRIVNING	ANTAL PUNKTER
Helsingborg	Helsingborg, hela	Samtliga anslutnings- och brukspunkter i Helsingborgs kommun, koordinater i Helsingborgs lokala.	Ca 9000
	Passpunkter RT 90	Passpunkter i RT 90 5 gon V. Ursprunget är GPS-nätet Skan 95, inpassade till RT 90.	130
	Passpunkter Helsingborg	Passpunkter från Skan 95 i Helsingborgs lokala.	130
	Kontroll RT 90	Ett antal brukspunkter inmätta med RTK-teknik. Omräknade till RT 90 5 gon V.	318
	Kontroll Helsingborg	RTK-mätta punkterna i Helsingborgs lokala	318
Falun	Passpunkter RT R10	Nyberäknade passpunkter i RT R10 2.5 gon V.	554
	Passpunkter Falun	Passpunkter i Falu lokala	554

Tabell 1. Sammanställning av de dataset som använts i examensarbetet.

## 6 Genomförande och resultat av testade metoder

### 6.1 Inpassning av passpunkter utan hänsyn till restfel

Som tidigare nämnts är detta kanske det allra enklaste sättet att genomföra överföring av kartdata vid byte av koordinatsystem. Metoden avser framtagandet av ett samband efter en likformig inpassning i planet, en Helmertinpassning. Genom att sedan föra över alla kartdata med det fastställda sambandet tar man inte någon hänsyn till eventuella brister i stornätet, ingen hänsyn tas till de deformationer som finns.

När olika sätt att föra över kartdata ska jämföras är det intressant att i olika sammanhang se hur resultatet av den här metoden skiljer sig från resultatet av andra metoder. Genom denna metods enkelhet kan ett sådant resultat anses ge ett mått på eventuella effekter av en annan metod. Av den anledningen kommer inte resultat av den här metoden att behandlas mer under denna rubrik. Resultat av metoden kommer istället att relateras till vid genomgång av resultat från andra metoder. Metoden kommer också, liksom övriga metoder, att värderas och bedömas i en avslutande diskussion.

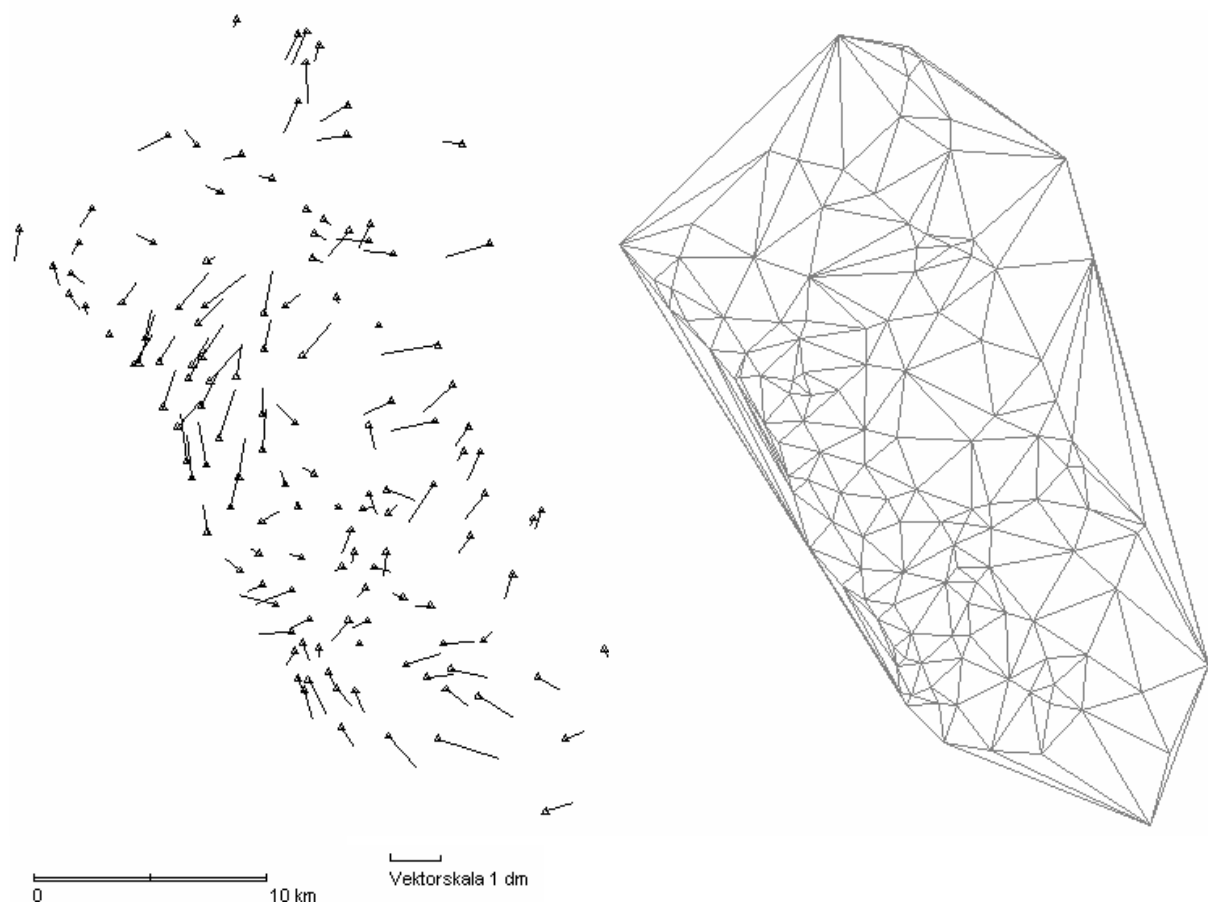
### 6.2 Inpassning av passpunkter med restfelsinterpolation i TRIAD

#### 6.2.1 Bakgrund till metoden

En viktig del i examensarbetet var att undersöka möjligheterna att använda GTRANS trianguleringsmodul TRIAD i arbetet med att föra över kartdetaljer vid ett byte av koordinatsystem. Ordet *triangulering* används i GTRANS för att beskriva förfarandet att med hjälp av en bestämd algoritm knyta samman ett antal punkter så att det bildas ett nätverk av trianglar. Ordet har i det här sammanhanget alltså inget att göra med det geodetiska begreppet triangulering som används vid mätning, beräkning och utjämning av geodetiska nät. I den här rapporten kommer ordet triangulering uteslutande att ha betydelsen nätverk av trianglar skapade med programmet GTRANS och modulen TRIAD. Programmet som är utvecklat av Lantmäteriet är tänkt att kunna användas för transformationer i plana nät med en hög noggrannhet mellan närliggande punkter och en jämn fördelning av punkterna. Den höga noggrannheten mellan närliggande punkter gör att då de används som passpunkter föreligger stark korrelation mellan närliggande punkters restfel. Denna korrelation är en bra förutsättning vid en linjär interpolation då restfelet i en godtycklig punkt skall beräknas. Den goda fördelningen av passpunkter leder också till en god geometri vid trianguleringen, där den optimala triangeln är en liksidig triangel. De på förhand tänkbara problemkällorna med metoden var alltså eventuella brister i noggrannheten mellan närliggande punkter och fördelningen av punkterna.

#### 6.2.2 Triangulering med data från Helsingborg

Metoden har testats i Helsingborgs kommun i syfte att genomföra ett byte av koordinatsystem. För information om Helsingborgs kommun, se Bilaga 3. 130 punkter i ett GPS-mätt nät med kända koordinater i Helsingborgs lokala system samt RT 90 har använts vid inpassningen. Passpunkterna är fördelade över hela kommunen. Till vänster i Figur 2 visas dessa passpunkter med respektive restfelsvektor. Det framgår tydligt att restfelen är korrelerade med sin närmsta omgivning. Grundmedelfelet vid inpassningen är 45 mm och det största restfelet är 136 mm. Vridning och skalning vid inpassningen är 2,930 gon respektive 1,000. Till höger visas den triangulering som bildats för interpolation av restfelen i passpunkterna. Trianglarna som har skapats av TRIAD har överlag en ganska god geometri, d v s trianglarnas sidor är ungefär lika långa. Undantag finns dock, och de finns framför allt vid områdets randpunkter, i kommunens ytterområde. Problem vid ytterområdena vid triangulering diskuteras mer i ett senare avsnitt.



Figur 2. Passpunkter med restfelsvektorer i Helsingborg. Triangulering utifrån dessa passpunkter.

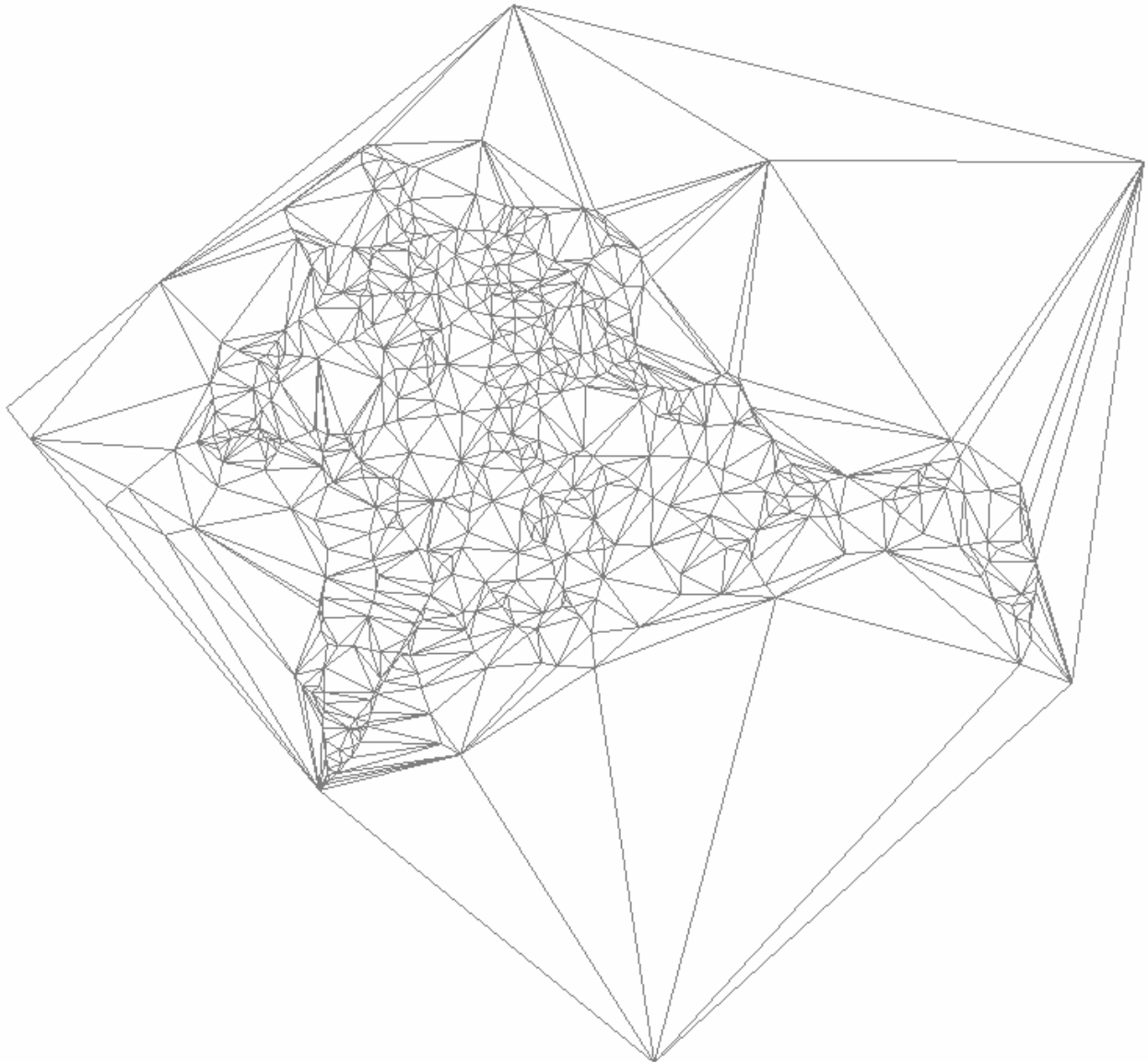
### 6.2.3 Triangulering med data från Falun

På samma sätt som i Helsingborgs kommun görs nu en inpassning av punkter från Falu kommun. Även här har passpunkter i två system tagits fram, Falu lokala och RT R10 2,5 gon V. För information om Falu kommun, se Bilaga 4. Till skillnad från Helsingborg så är det i Falun bara Falu tätort som skall transformeras över till ett nytt system. Passpunkterna ligger relativt tätt, 554 stycken i tätorten. I Figur 3 visas restvektorerna som resultat av inpassningen, i Figur 4 den triangulering som skapats utifrån passpunkterna. Grundmedelfelet vid inpassningen är 29 mm och det största restfelet är 152 mm.



*Figur 3. Passpunkter med restfelsesvektorer i Falun.*





*Figur 4. Triangulering utifrån passpunkter med restfelsvektorer i Falun.*

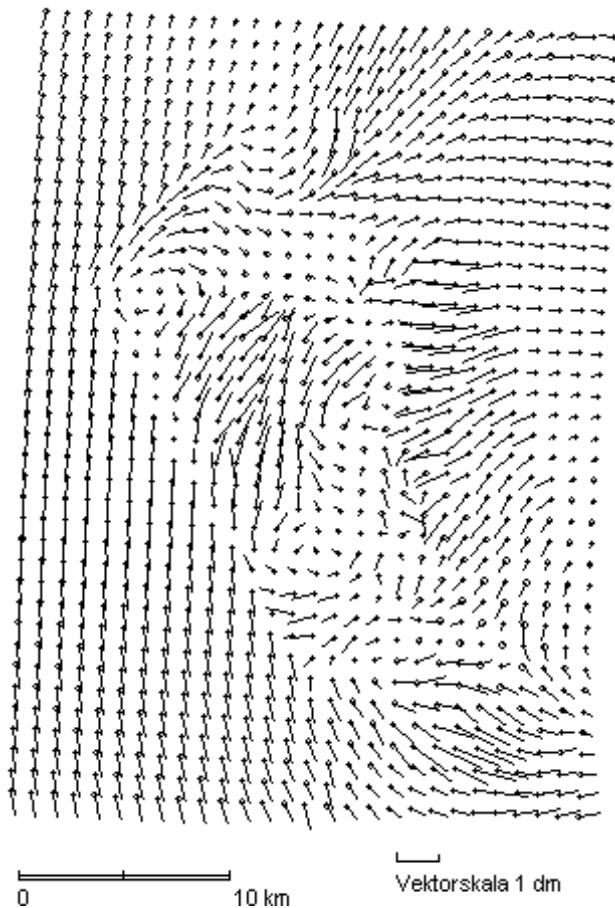
I Figur 3 kan man se att korrelationen mellan närliggande passpunkter i Falu tätort inte är lika entydig som i Helsingborgs kommun. Mellan vissa punkter kan man se tydliga mönster av korrelation, framför allt mellan punkter som är inmätta i ett polygontåg. Men mitt bland dessa mönster förekommer stora motsättningar, punkter med låg inbördes noggrannhet. I dessa områden kan effekten av restfelsinterpolering med TRIAD ifrågasättas. Vidare ger den oregelbundna geometrin hos passpunkterna upphov till en sämre geometri hos trianglarna vid trianguleringen än i Helsingborgs fall. Intrycket vid en jämförelse av data från de två kommunerna är således att förutsättningarna för restfelsinterpolering är bättre i Helsingborg.

#### ***6.2.4 Resultat av transformation från triangulering med data från Helsingborg***

Efter att ha bildat en triangulering i TRIAD m h a inpassning av ett antal passpunkter, är nästa steg att utnyttja det skapade sambandet för transformation, överföring, av kartdata från det gamla koordinatsystemet till det nya. Här används data från Helsingborg för att undersöka hur GTRANS och TRIAD transformerar kartdetaljer med restfelsinpassning. De 130 passpunkterna från trianguleringen ovan samt det transformations samband som är skapat utnyttjas. För att erhålla punkter som ska representera kartdetaljer vid försöken med transformation, har ett gitter, rutnät, av punkter skapats med koordinater i Helsingborgs lokala system. Det är ett enkelt sätt att snabbt skapa sig påhittade punkter,

jämt fördelade över försöksområdet, som ersätter riktiga punkter i form av kartdetaljer. Gittret har en punkttäthet på 1000 m och täcker hela kommunen samt en bit av dess omgivning.

Gittret transformerades med det framtagna transformationssambandet och gavs i varje punkt tillägg i form av interpolerade restfel från trianguleringen. För att erhålla en jämförelse till resultatet av transformationen med TRIAD genomfördes en motsvarande transformation, fast denna gång utan TRIAD, d v s transformationssambandet användes efter inpassning utan hänsyn till restfel. Genom att sedan jämföra resultaten från de bägge transformationerna kan effekterna av trianguleringen studeras. Ett sätt att åskådliggöra skillnaderna mellan resultaten är att för varje punkt i gittret beräkna koordinatdifferensen. Dessa differenser kan sedan representeras av vektorer som visar differensen till storlek och riktning. Figur 5 visar gittrets differenser i form av vektorer. Varje vektor kan då sägas representera den aktuella punktens (kartdetaljens) påverkan av restfelsinterpolationen i TRIAD. Som jämförelse till differenserna hos de transformerade punkterna visas i Figur 6 trianguleringen av området med passpunkternas restfel utritade. Då de bägge figurerna jämförs kan man se likheterna mellan passpunkternas restfel i Figur 6 och de från interpolation därav skapade differenserna i Figur 5.

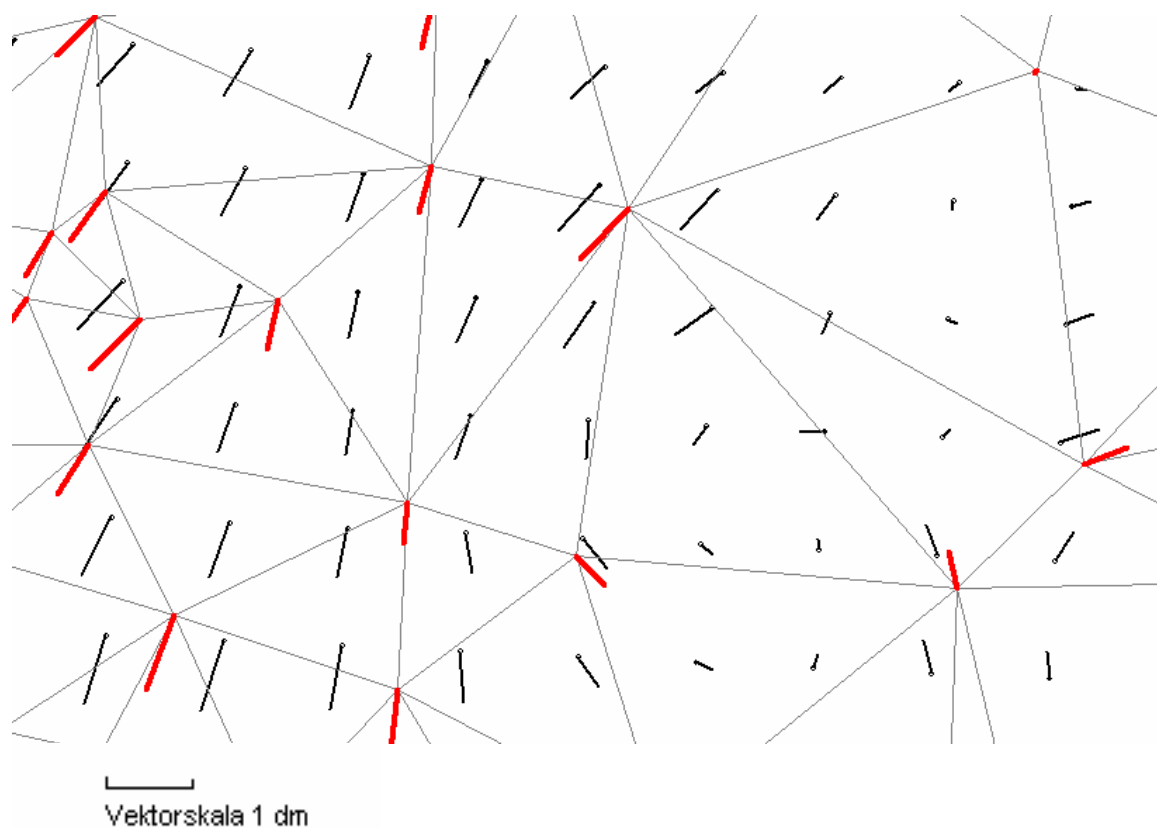


*Figur 5. Gitter av punkter med vektorer. Vektorerna representerar differensen mellan resultatet av två olika transformationer, med och utan restfelsinterpolation.*



*Figur 6. Triangulering av passpunkter i Helsingborg.*

Sambandet blir kanske än tydligare i Figur 7 där ett urklipp av respektive figurer ovan är sammanlagd till en figur. Nu framgår tydligt differensvektorernas påverkan av de lite tjockare restfelsvektorerna från passpunkterna i trianguleringen.



Figur 7. Del av triangulerat område i Helsingborg. Vektorer i ett gitter har ett tydligt samband med vektorer i trianguleringens passpunkter.

I det ovan beskrivna sättet att visa på effekterna av transformation med GTRANS och TRIAD, jämförs resultatet med motsvarande transformation utan interpolering av restfel, d v s en inpassning med ett gemensamt samband för hela området. Ett alternativt sätt att kontrollera resultatet av en transformation är att mäta in de transformerade punkterna i fält. De transformerade punkterna jämförs alltså inte med samma punkter transformerade på ett annat sätt, utan med samma punkter inmätta i det nya systemet. I Helsingborgs kommun har ett antal brukspunkter spridda över kommunen mätts in i detta syfte. Tanken var att erhålla ett slags ”facit”, en kontroll över hur väl de transformerade koordinaterna stämmer i fält. Punkterna mäts in med GPS-utrustning med RTK-teknik (real time kinematic). Utrustningen är av märket Trimble och den mätmetod som används ger en förväntad noggrannhet i mätresultatet på någon centimeter. Därtill kommer en viss osäkerhet i transformationen när programvaran räknar om tredimensionella koordinater i ett satellitbaserat system till plana koordinater i RT 90.

GPS-mätningarna pågick under tiden för examensarbetet och de punkter som hittills var mätta, 318 stycken, kunde användas här. Punkterna behandlades på liknande sätt som de tidigare transformationerna, d v s differenser studerades mellan transformerade koordinater och mätta koordinater. Figur 8 visar resultatet av beräknade koordinatdifferenser i de 318 mätta punkterna. Vektorerna representerar differensen mellan de mätta koordinaterna och de transformerade, där transformationerna är utförda med restfelsinterpolation i TRIAD. RMS i differenserna är 20 mm i x-led och 23 mm i y-led, största radiella avvikelsen är 80 mm. De flesta differenser är i samma storleksordning som det förväntade felet i GPS-mätningarna, varför det är svårt att dra några slutsatser utifrån dessa differenser. För att erhålla ytterligare en jämförelse med de RTK-mätta punkterna gjordes även en inpassning av de mätta koordinaterna med de transformerade. Differenserna mellan koordinaterna minimeras nu m h a MK-metoden (minstakvadratmetoden). Resultatet visas i Figur 9. RMS är nu 20 mm i x-led och 22 mm i y-led, den största radiella avvikelsen är 75 mm. Vid en jämförelse av de två figurerna ser man att skillnaden mellan rena koordinatdifferenser och inpassning

av koordinater är små. Det finns alltså ingen synbar systematik i differenserna eftersom en inpassning endast ger en marginell minskning av differensernas storlek. Intrycket är att de deformationer som finns kvar i koordinatsystemet efter transformation med restfelsinpassning är så små att de inte är påvisbara med den aktuella noggrannheten hos GPS-mätningarna.

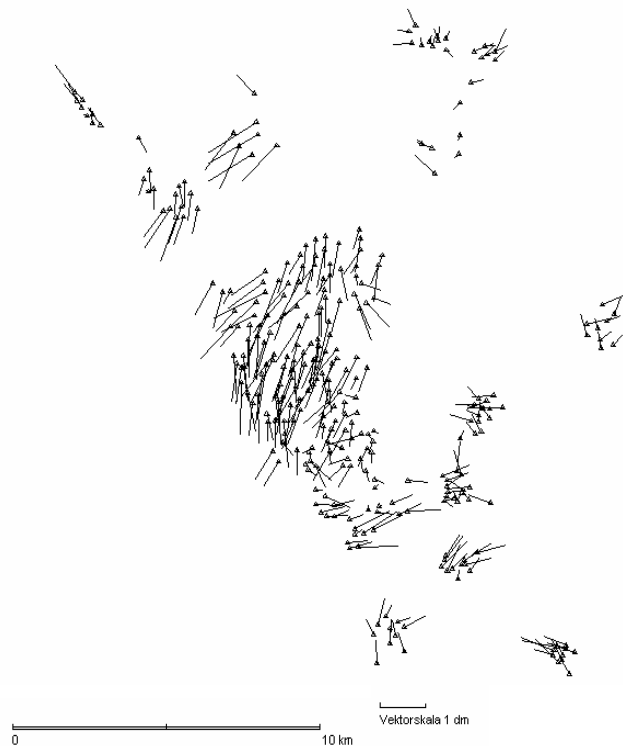


*Figur 8. Koordinatdifferenser mellan mätta koordinater och transformerade koordinater i Helsingborg.*



*Figur 9. Inpassning av mätta koordinater och transformerade koordinater i Helsingborg.*

Ett annat sätt att utnyttja GPS-mätningarna till kontroll av transformation är att använda de mätta koordinaterna i en jämförelse med resultat från en vanlig Helmerttransformation, d v s inpassning i planet utan korrigering för restfel. I Figur 10 kan man se att differenserna ökar då deformationerna inte modelleras av TRIAD, skillnaderna är större mellan mätta och transformerade koordinater. RMS är nu 54 mm i x-led och 36 mm i y-led, den största radiella avvikelsen är 129 mm. Nu kan man också tydligt se korrelation mellan närliggande vektorer. Differenserna är nu sannolikt till större del ett resultat av deformationer än av fel i GPS-mätningen.



Figur 10. Koordinatdifferenser mellan mätta koordinater och transformerade koordinater i Helsingborg. Transformation utan TRIAD.

## 6.3 Inpassning av fiktiva punkter i ett rutnät med restfelsinterpolation i TRIAD

### 6.3.1 Bakgrund till metoden

Bakgrunden till metoden med ett rutnät av punkter som används till passpunkter är det byte av koordinatsystem som genomförs i Falun. Man har inom Falu kommun gjort försök med restfelsinterpolation i TRIAD men inte varit tillfredställd med resultatet. Invändningen har varit att passpunkternas restfel har för stor inverkan på närliggande punkter som skall transformeras.

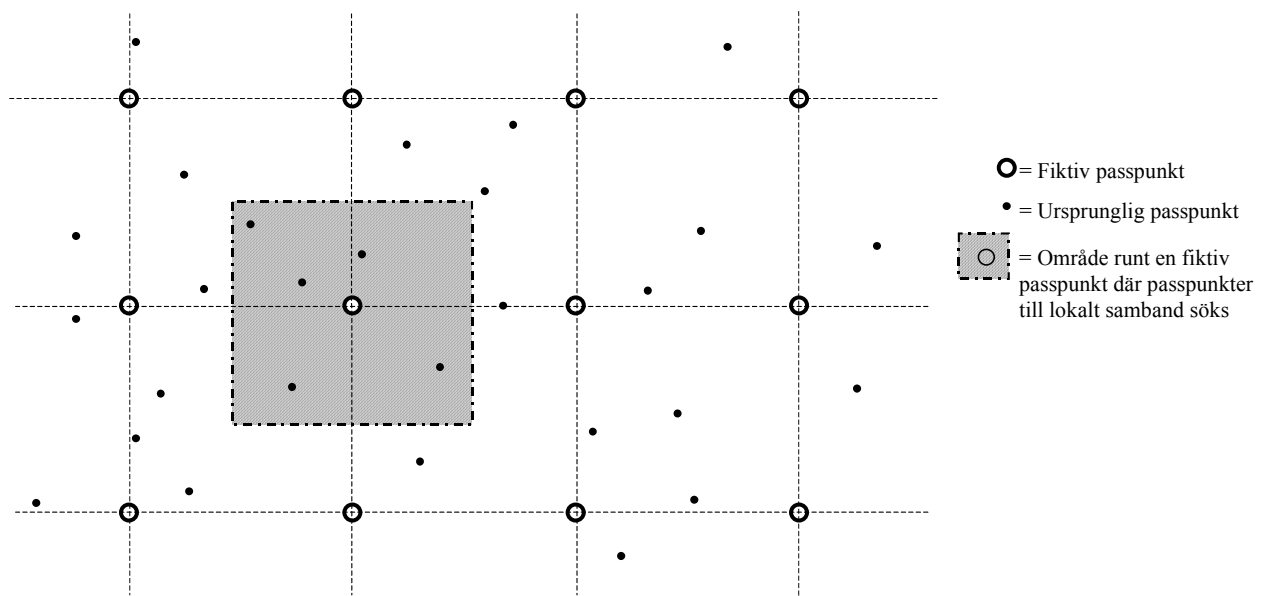
Faluns lokala system är behäftat med relativt stora deformationer. Passpunkterna i det område som skall transformeras har delvis en dålig noggrannhet mellan närliggande punkter, d v s närliggande punkters restfel har ofta avvikande storlek och riktning. Risken man ser är att kartdetaljer ges ett interpolerat restfel från passpunkter vars restfel inte är relevanta. En önskan fanns därför att kunna erhålla ett interpolerat restfel härrörande från passpunkter i ett något större område så enskilda passpunkters restfel inte blir lika dominerande. En alternativ metod togs fram; ett rutnät av nya passpunkter skapas. Rutnätspunkterna ges lämpliga koordinater i det nya systemet, det koordinatsystem som kartdetaljer skall föras över till, varefter rutnätspunkternas koordinater i det gamla systemet skapas genom ett samband efter inpassning. Detta samband skapas unikt för varje enskild punkt i rutnätet och punkterna som används för inpassning är ett kringliggande urval av de egentliga passpunkterna. När så de nya ”fiktiva” passpunkterna har erhållit koordinater i bägge systemen, kan de i sin tur användas för inpassning med restfelsinterpolation i TRIAD.

### 6.3.2 Beräkningsprogram för skapandet av fiktiva punkter i rutnät

För att åstadkomma fiktiva passpunkter måste punkterna ges koordinater i de bägge koordinatsystemen. Till att börja med skapas koordinaterna i det nya systemet, tillsystemet. Detta låter

sig enkelt göras, en koordinatfil med löpnummer som punktidentitet kan exempelvis skapas i GTRANS. Punkterna representerar då ett rutnät i det nya systemet. Då det punktavstånd som är valt i rutnätet har inverkan på det kommande resultatet, är det naturligt att låta punktavståndet i rutnätet vara en varierbar parameter när metoden testas.

Nästa steg är att bestämma de fiktiva punkternas koordinater i det gamla systemet. Ett unikt samband skall skapas för varje enskild fiktiv punkt. Detta samband erhålls genom en lokal inpassning av ett urval av de omkringliggande passpunkterna. Här måste återigen en parameter bestämmas; i hur stort område runt fiktiva punkten skall passpunkter användas till den lokala inpassningen? Som metoden är formulerad är detta område en kvadrat med fiktiva punkten i mitten, se Figur 11. När väl storleken på denna kvadrat är definierad finns all information som behövs för att finna de aktuella passpunkterna till respektive fiktiv punkt samt att efter en inpassning i planet finna de samband som leder till att de fiktiva punkternas koordinater i det gamla systemet kan erhållas.



Figur 11. Det skuggade området runt en fiktiv passpunkt är det område där ursprungliga passpunkter söks till ett lokalt samband.

Förfarandet ovan är i teorin mycket enkelt, men i praktiken blir det ganska många beräkningar. För att på ett rationellt sätt kunna utföra tester med varierande parametrar och data, skapades därför ett enkelt beräkningsprogram i detta syfte. Programmet skrevs i programspråket Fortran, en beskrivning av dess uppbyggnad finns i Bilaga 6. Det man behöver för att köra programmet är tre koordinatfiler. Dessa innehåller koordinater för:

- fiktiva punkter i det nya systemet
- passpunkter i det nya systemet
- passpunkter i det gamla systemet

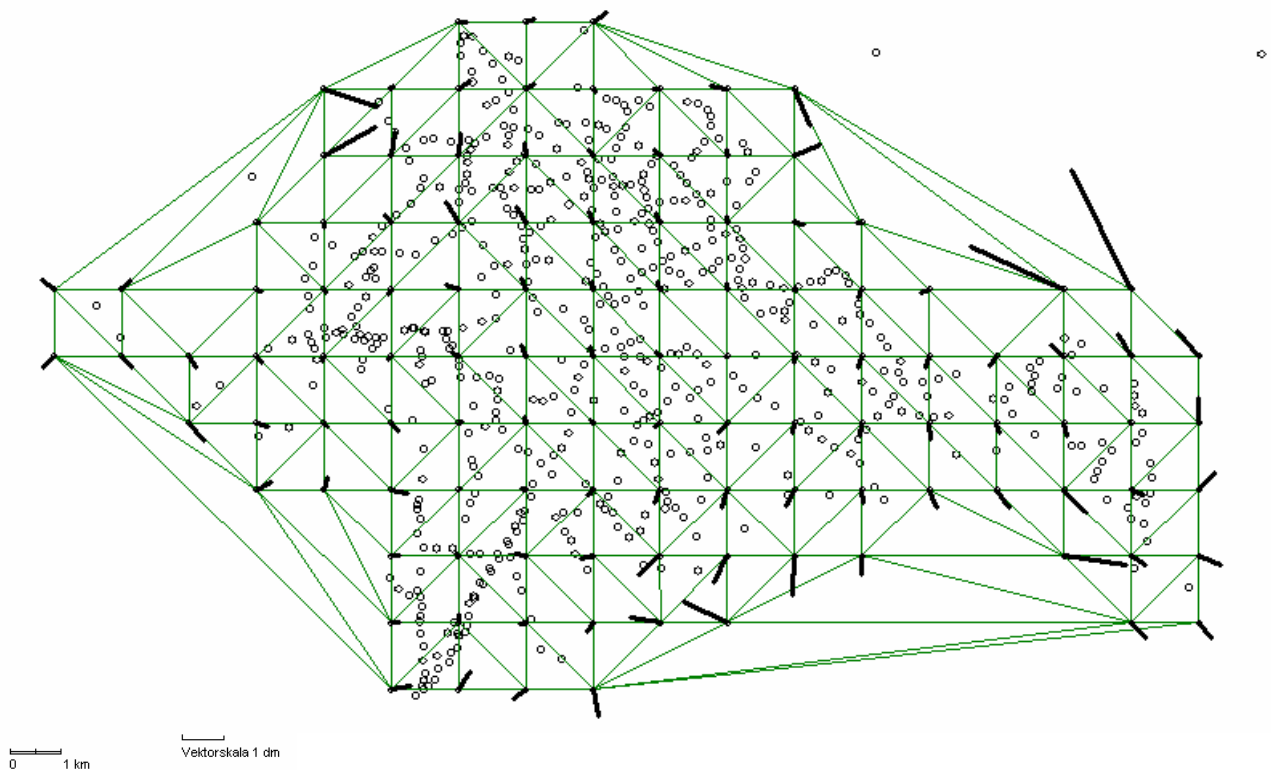
Resultatet är en koordinatfil med de fiktiva punkternas koordinater i det gamla systemet, samt en informationsfil med statistik. Under körningen anger man dessutom storleken på den kvadrat som avgör vilka passpunkter som används till de lokala inpassningarna.

### 6.3.3 Resultat av trianguleringar med olika rutnät i Falun

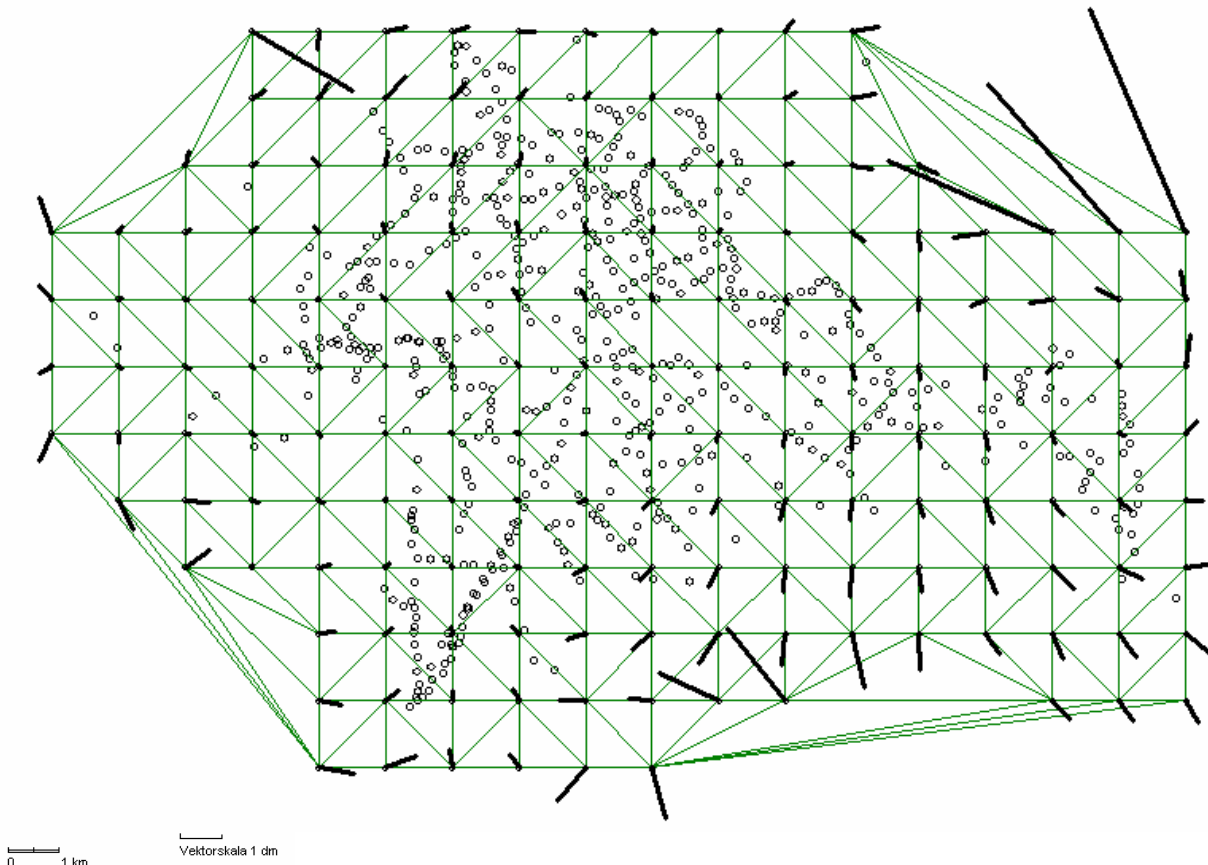
Det som kan varieras i metoden med fiktiva punkter i ett rutnät är punkttätheten i rutnätet och storleken på det område runt en fiktiv punkt där passpunkter söks för transformation av punkten. Dessutom utgör naturligtvis de data som används en viktig förutsättning för utfallet av metoden.

I de beräkningar som gjorts i Falun har en punkttäthet på 1 km samt ett passpunktområde på 2x2 km runt fiktiva punkten använts. De fiktiva punkter som kunde bestämmas i de bägge systemen användes sedan till inpassning i GTRANS. I examensarbetet har storlek på rutnät och passpunktsområde varierats vid olika försök och resultaten jämförts. Med de tillgängliga data från Falu kommun redovisas här trianguleringar av rutnät i 9 olika kombinationer, se Figur 12.1 – Figur 12.9.

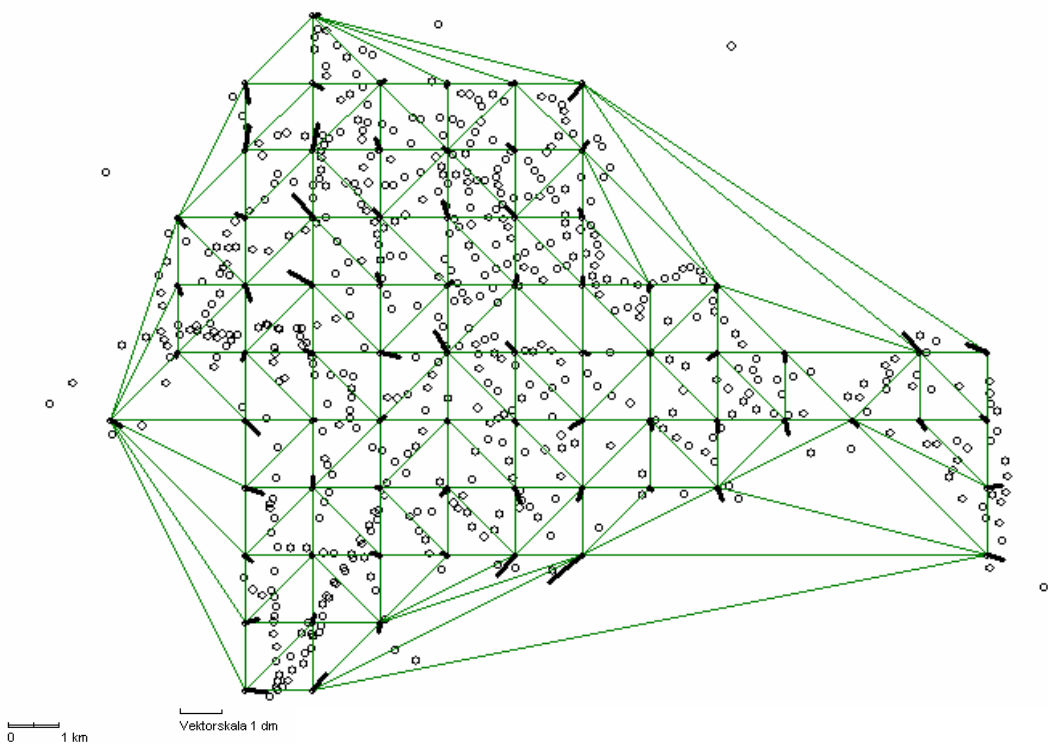
Trianguleringarna bygger på de rutnätspunkter som kunnat bestämmas i de bägge systemen i de olika fallen. Vid varje rutnätspunkt syns också inpassningens restfel i form av en felvektor.



Figur 12.1. Triangulering av fiktivt rutnät i Falun. Avstånd mellan punkter i rutnät: 1000m. Storlek på område för sökning av passpunkter runt fiktiv punkt: 2000x2000 m. Grundmedelfelet vid inpassningen är 41 mm och det största restfelet är 317 mm.

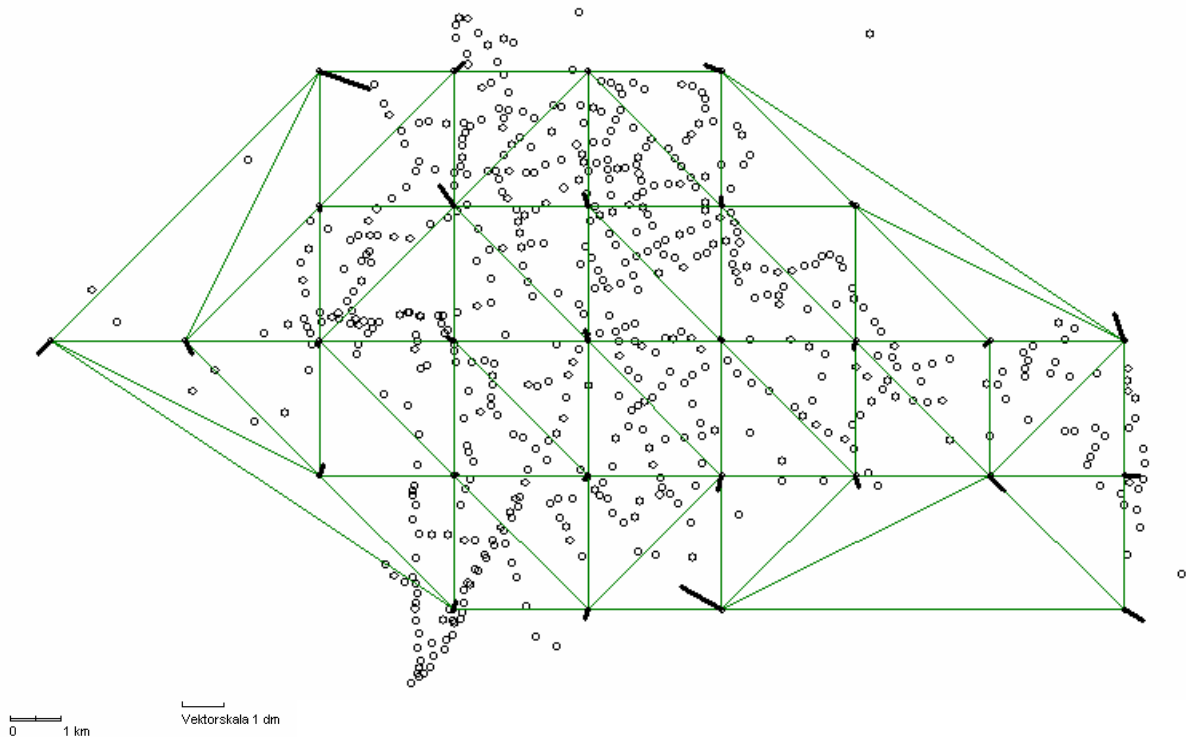


Figur 12.2. Rutnät: 1000 m. Passpunktområde: 4000x4000 m. Grundmedelfel vid inpassning: 60 mm. Största restfelet: 581 mm.

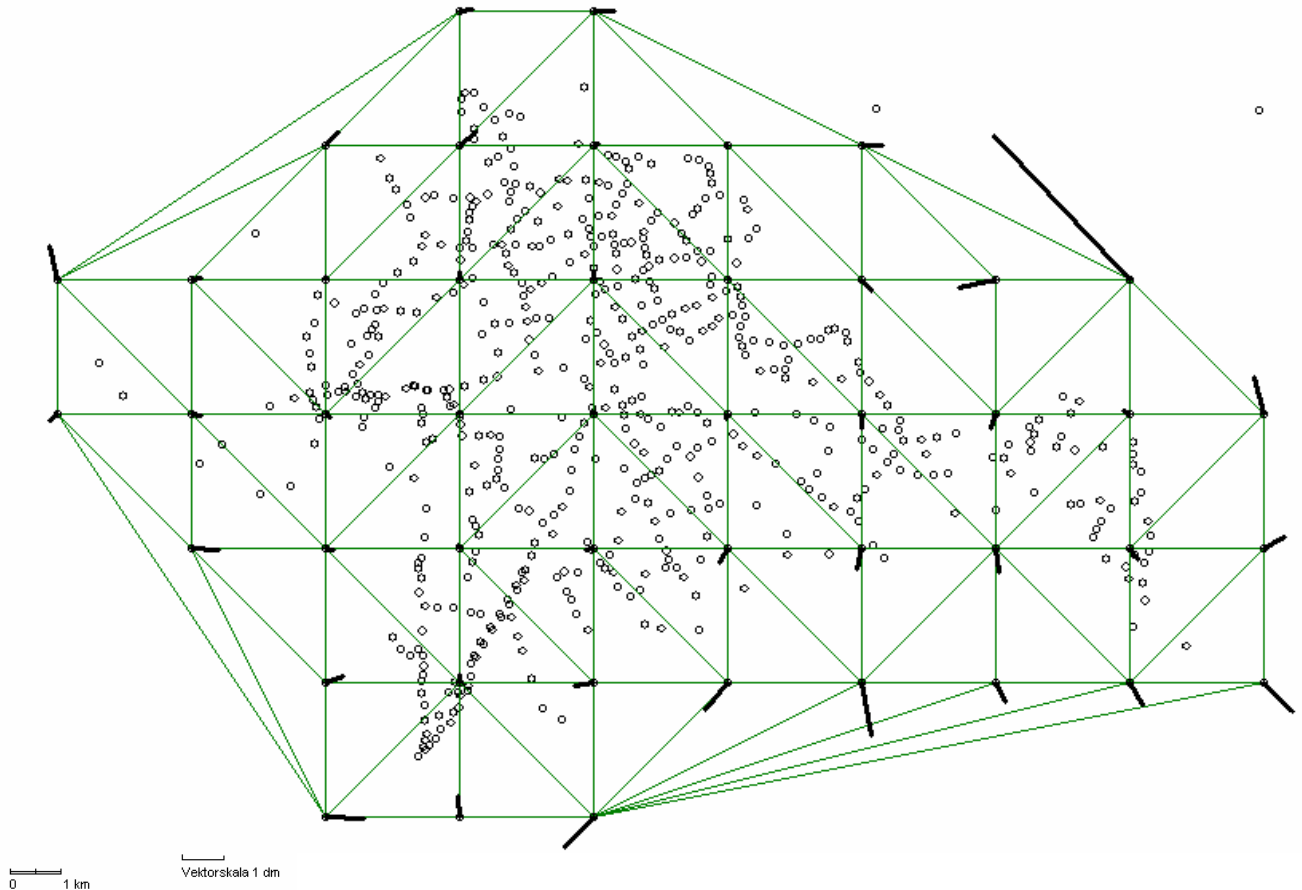




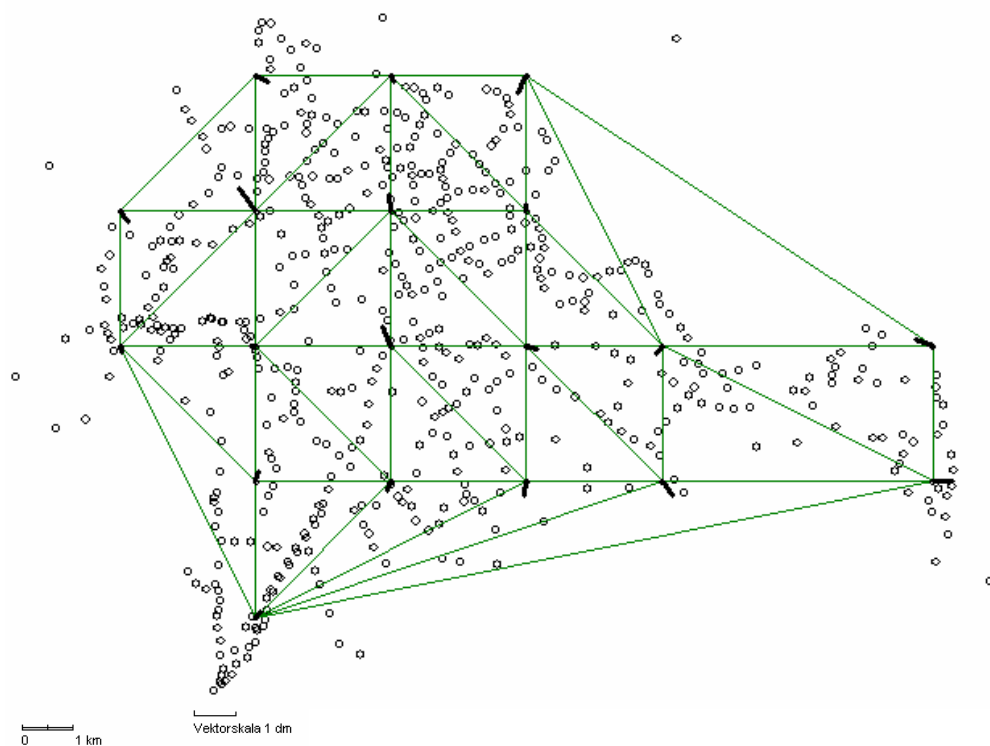
Figur 12.3. Rutnät: 1000 m. Passpunktområde: 1000x1000 m. Grundmedelfel vid inpassning: 25 mm. Största restfelet: 100 mm.



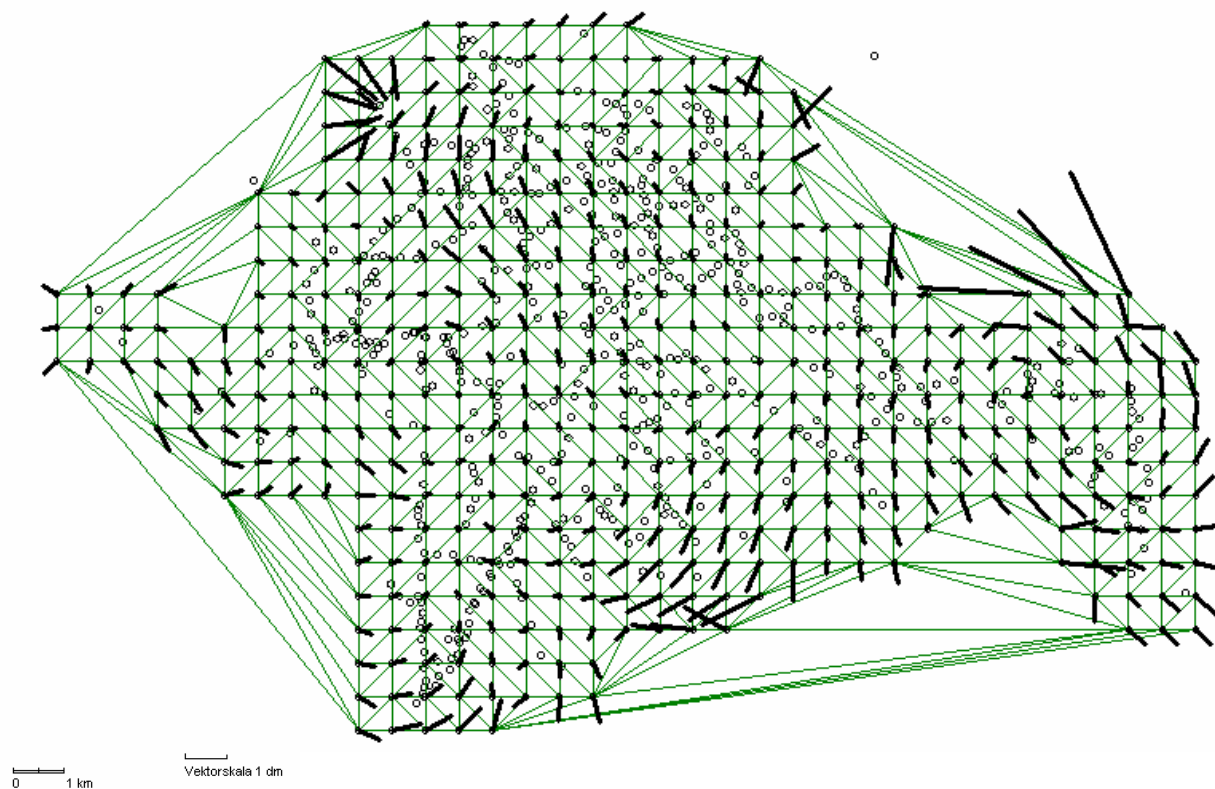
Figur 12.4. Rutnät: 2000 m. Passpunktområde: 2000x2000 m. Grundmedelfel vid inpassning: 33 mm. Största restfelet: 128 mm.



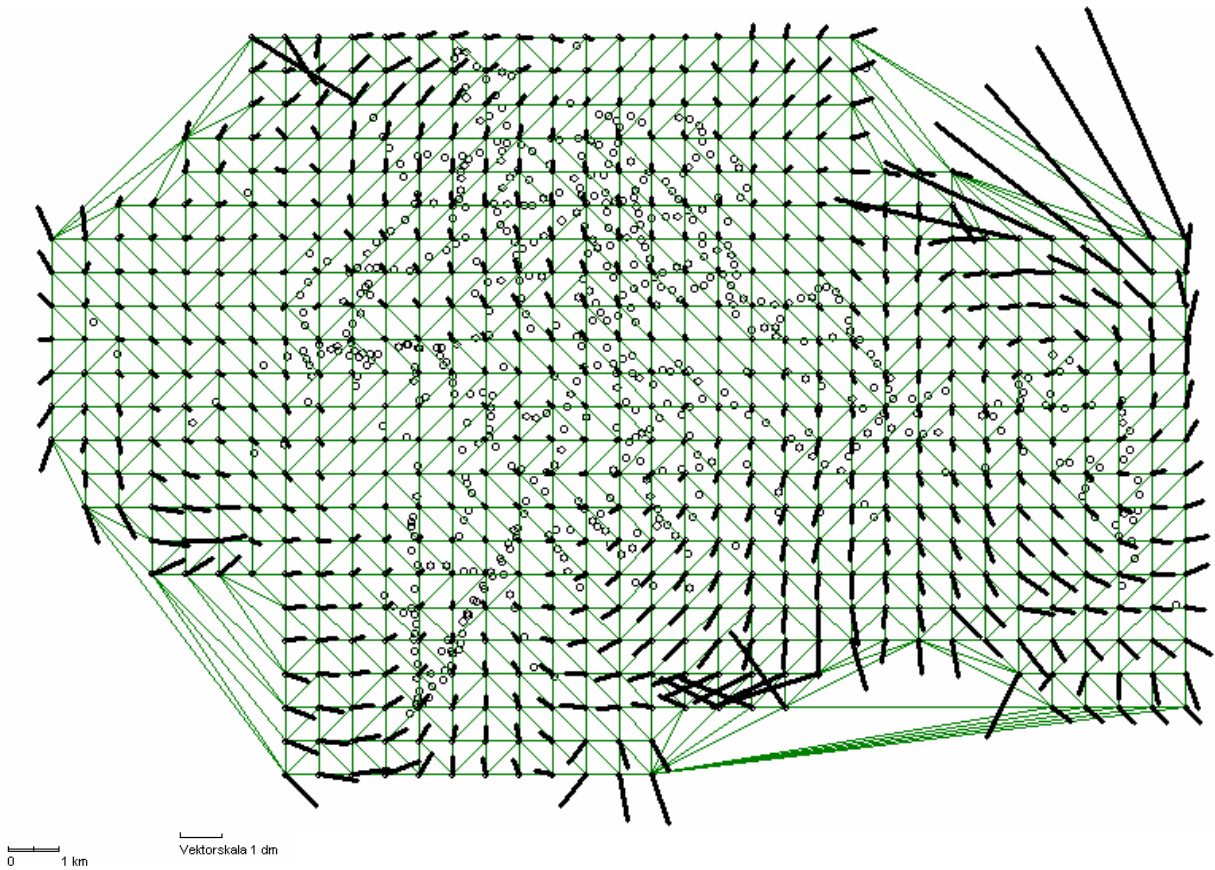
Figur 12.5. Rutnät: 2000 m. Passpunktområde: 4000x4000 m. Grundmedelfel vid inpassning: 63 mm. Största restfelet: 472 mm.



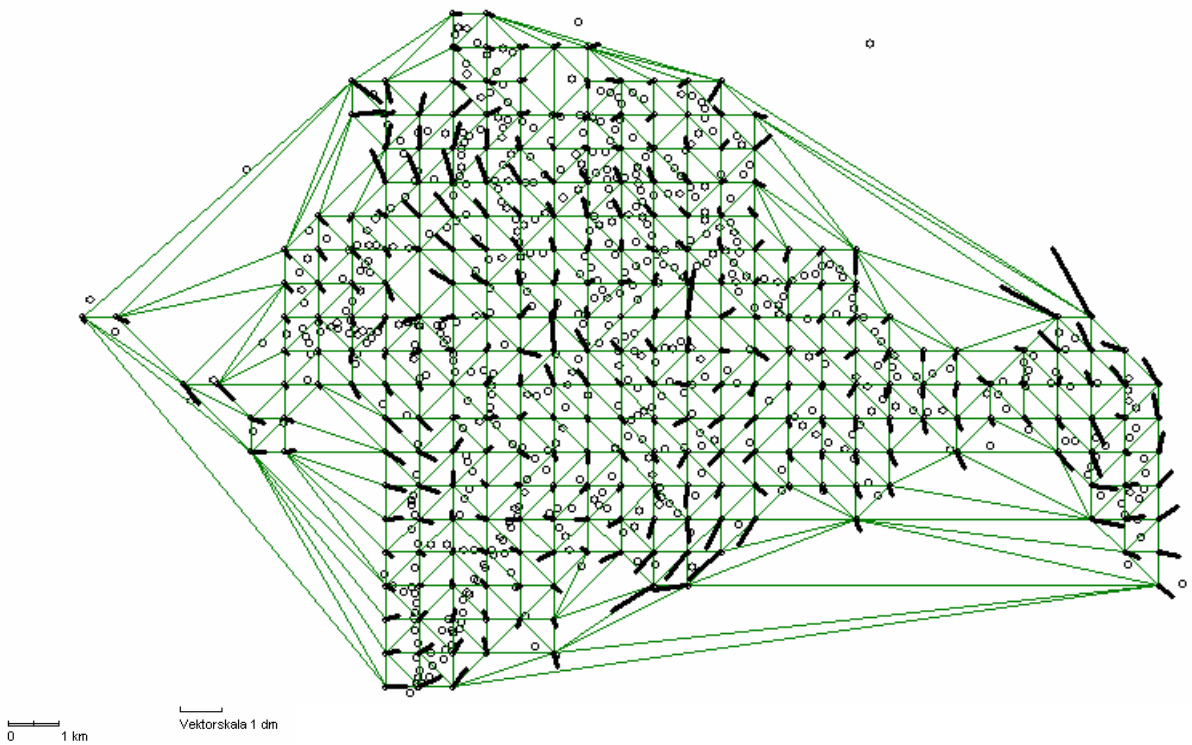
Figur 12.6. Rutnät: 2000 m. Passpunktområde: 1000x1000 m. Grundmedelfel vid inpassning: 26 mm. Största restfelet: 67 mm.



Figur 12.7. Rutnät: 500 m. Passpunktområde: 2000x2000 m. Grundmedelfel vid inpassning: 35 mm. Största restfelet: 322 mm.



Figur 12.8. Rutnät: 500 m. Passpunktområde: 4000x4000 m. Grundmedelfel vid inpassning: 47 mm. Största restfelet: 596 mm.



Figur 12.9. Rutnät: 500 m. Passpunktområde: 1000x1000 m. Grundmedelfel vid inpassning: 28 mm. Största restfelet: 187 mm.

### **6.3.4 Kommentarer till resultat av trianguleringar med olika rutnät i Falun**

Här följer kommentarer till en del iakttagelser som gjorts från resultatet av de nio trianguleringarna. Det är i huvudsak skillnader i resultat som diskuteras. Den egentliga ”riktigheten” i de enskilda restfelsvektorerna diskuteras i avsnitt 7. Problem med stora restfel i ytterområdena diskuteras i avsnitt 6.5.

För att erhålla en visuell koppling mellan rutnätet och de egentliga passpunkterna har passpunkterna lagts in som bakgrund i figurerna, de svarta små cirklarna. Generellt är restfelen i de fiktiva punkterna större i ytterområdena, de delar som är representerade av endast ett fåtal passpunkter. Intressantare kan dock vara restfelen i de mer centrala delarna, där tillgången till passpunkter är större. Här kan man skönja en del variationer mellan de olika figurerna.

I Figur 12.1 har parametrarna som diskuterats i Falu kommun använts. Rutnätet är valt med 1 km intervall och området för passpunkter begränsas till de fyra närliggande ”rutorna” (2x2 km). De fiktiva punkterna har erhållit sina fränkoordinater genom inpassning av i snitt några tiotal passpunkter, som mest ca 50 passpunkter.

I Figur 12.2 och Figur 12.3 är rutnätet detsamma, men området för passpunkter har ökats (4x4 km), respektive minskats (1x1 km). Antalet bestämda rutnätspunkter ökar något i Figur 12.2 medan de i Figur 12.3 minskar så att passpunkter på flera ställen hamnar utanför rutnätsområdet. Det är med andra ord svårare att bestämma fiktiva punkter i ytterområdena när området för inpassning minskas. Teoretiskt behövs minst två passpunkter i området för att en inpassning skall kunna utföras.

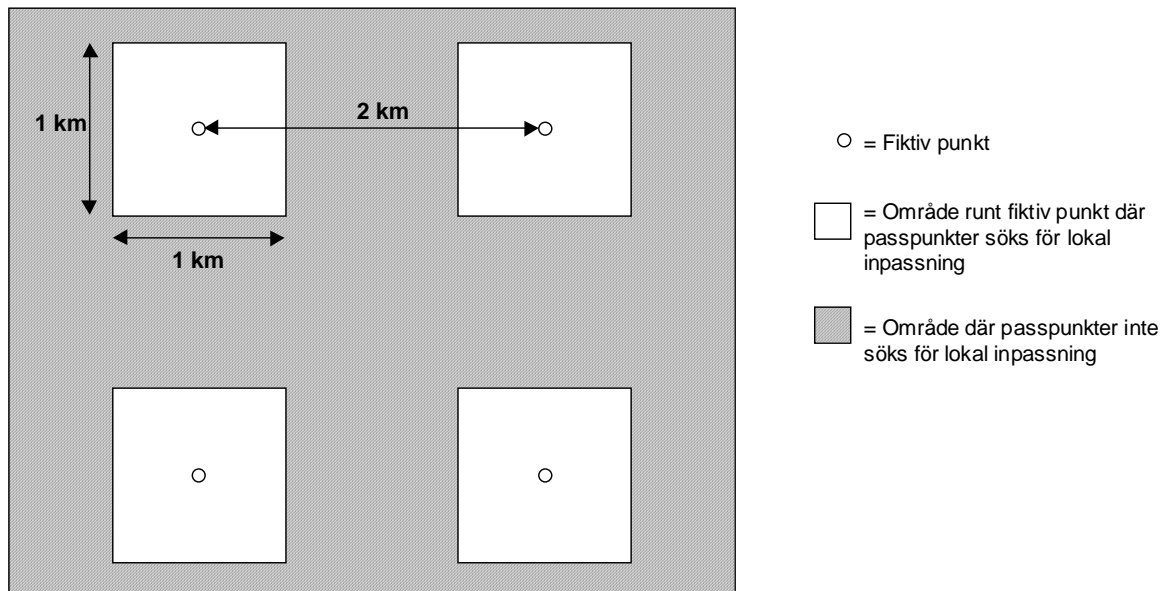
Vidare kan man också tydligt se att korrelationen mellan närliggande fiktiva punkters restfelsvektorer ökar i takt med att passpunktområdena för fiktiva punkter ökar i storlek. Detta gäller både för täta och glesa rutnät, men blir tydligare ju större överlappningen blir mellan olika passpunktområden. Då områdena överlappar varandra är varje passpunkt delaktig i flera lokala inpassningar. Eftersom närliggande fiktiva punkter erhåller inpassningssamband genom delvis samma passpunkter är det naturligt att deras restfel vid inpassningen av hela rutnätet blir korrelerade. Detta är tydligast i Figur 12.8 där de fiktiva punkterna sitter tätt, med ett avstånd på 500 m, samtidigt som passpunkter letas i ett stort område runt varje fiktiv punkt, 4x4 km.

I Figur 12.3, Figur 12.4 och Figur 12.6 är inte passpunktområdena överlappande. Passpunkterna förekommer inte i inpassning av fler än en fiktiv punkt. Den eventuella korrelation som finns mellan de närliggande rutnätspunkterna beror här alltså inte på att de delar på passpunkter. Snarare beror den på den ”naturliga” korrelation som ofta finns mellan närliggande punkter i lokala stornät. I de nämnda figurerna är intrycket att korrelationen mellan restfelsvektorerna är låg. Det stöds av det tidigare konstaterandet att korrelationen mellan passpunkterna i Falu kommun är varierande i området. Mönster av tydlig korrelation blandas med tvära motsättningar.

Vid jämförelse av resultat med olika täthet på rutnät men med samma storlek på passpunktområde kan man konstatera att den information i form av restfelsvektorer som finns i det glesa nätet också finns i det täta nätet. Skillnaden är att det i det täta nätet finns ytterligare information, restfelen i de rutnätspunkter som inte finns representerade i det glesa nätet. Då rutnäten används för restfelsinterpolation i TRIAD ger då ett tätare rutnät en mer lokal nyans, trianglarna i trianguleringen blir helt enkelt mindre. Men storleken på den här lokala nyansen är helt beroende av storleken på passpunktområdet. Om ett stort passpunktområde används uppstår stor korrelation mellan restfel i närliggande rutnätspunkter. Skillnaderna mellan att använda triangulering med täta eller glesa rutnät, d v s små eller stora trianglar, blir då små i den slutliga transformationen av kartdata.

Då ett litet passpunktområde används blir däremot restfelen i rutnätspunkterna av mer lokal karaktär. Detta framgår exempelvis i Figur 12.3 där restfelen synbart har en låg korrelation. Om då ett glest rutnät används, jämför med Figur 12.6, så kommer efter interpolation inte de restfel som finns kvar att ge en god representation av restfelen från de borttagna rutnätspunkterna. Med andra ord borde

skillnaden mellan glasa och täta rutnät bli större då restfelen i rutnätpunkterna är av mer lokal karaktär, dvs passpunktområdena är mindre. De parametrar som är valda i Figur 12.6 kommer att leda till att ett stort antal av passpunkterna i området inte kommer att användas till inpassning. I Figur 13 skissas passpunktområdena för fiktiva punkter när parametrarna från Figur 12.6 används. I det streckade området kommer passpunkter inte att användas till lokala inpassningar för fiktiva punkter.



Figur 13. I det sträckade området används inte ursprungliga passpunkter till lokala inpassningar. Exemplet i figuren relaterar till de parametrar som används i Figur 12.6.

I bildtexterna till trianguleringarna i Figur 12.1 – Figur 12.9 är grundmedelfelen och de maximala restfelen vid inpassning givna. Studerar man inpassningarnas grundmedelfel i de nio olika trianguleringarna ser man att det är större då passpunktområdena runt de fiktiva punkterna är större. Även de maximala restfelen är då större. Det kan sannolikt förklaras med att betydligt fler fiktiva punkter kan erhålla samband i ytterområdena där tillgången till ursprungliga passpunkter är liten. Då sambanden ofta håller en lägre kvalitet i ytterområdena blir också restfelen vid den efterföljande inpassningen större. I figurerna kan man se att de största restfelen vid inpassningen av de fiktiva punkterna i regel finns i utkanterna av trianguleringen.

### 6.3.5 Resultat av transformation genom trianguleringar med olika rutnät i Falun

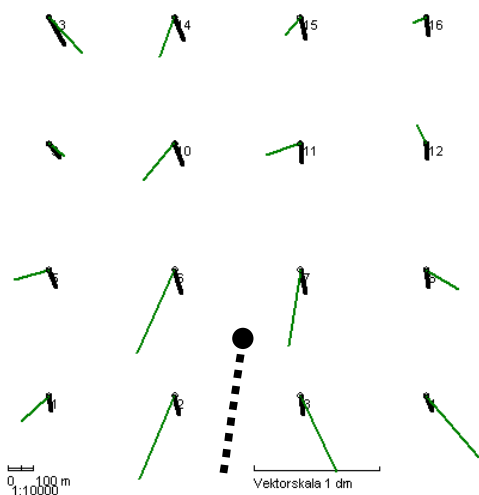
I den föregående diskussionen behandlades resultaten av trianguleringar med olika rutnät av fiktiva punkter. Restfelsvektorerna i dessa fiktiva passpunkter jämfördes och kommenterades. Då en triangulering ska användas till transformation av kartdata används restfelen i passpunkterna vid interpolation av restfel i de transformerade punkterna. För att se hur kartdetaljer, punkter, påverkas vid transformation med de olika trianguleringarna med fiktiva punkter i rutnät, genomförs nio transformationer av ett antal utvalda punkter, en transformation vardera för de nio trianguleringarna som skapades med data från Falun.

Resultatet av transformationerna måste sedan jämföras på ett lämpligt sätt. Det sätt som är valt här är att beräkna och plotta koordinatdifferenser mellan olika transformationer, se Figur 14.1 – Figur 14.9.

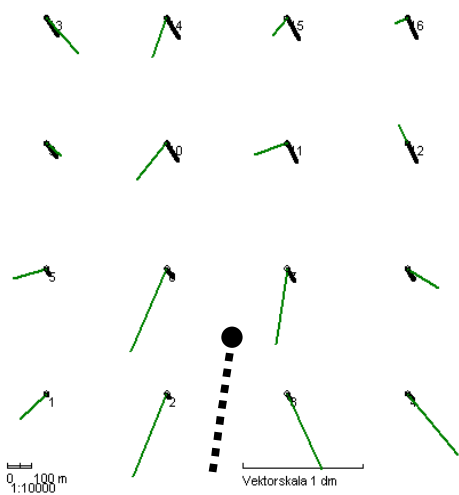
Differenserna åskådliggörs med vektorer som visar differensens storlek och riktning. De jämförelser som redovisas här är för var och en av de nio triangulationerna differenser mellan resultat efter genomförd transformation med aktuell triangulation och transformation med en Helmertinpassning utan restfelsinterpolering. Dessa differenser är i figurerna representerade av tjocka vektorer. Som jämförelse är dessutom i varje bild plottade differenser mellan transformation genom restfelsinterpolation av de ursprungliga passpunkterna och transformation med en Helmertinpassning utan restfelsinterpolering, i figurerna de tunnare vektorerna.

För att erhålla punkter som ska representera kartdetaljer vid försöken med transformation, har ett gitter, rutnät, av punkter skapats med koordinater i Falu lokala. Detta gitter av punkter ska naturligtvis inte förknippas med de rutnät av fiktiva punkter som använts som passpunkter vid triangulering. Det är bara ett enkelt sätt att snabbt skapa sig påhittade punkter, jämt fördelade över försöksområdet, som ersätter riktiga punkter i form av kartdetaljer. I denna jämförelse, som grundar sig på de nio olika trianguleringarna av fiktiva punkter i Falun, är endast ett litet område innehållande 16 transformerade punkter redovisat. Detta i ett försök att göra plottarna mer begripliga och lättare att tolka. Det valda området ligger centralt i Falu tätort, och de 16 punkterna har ett inbördes avstånd på 500 meter. Området är inte slumpmässigt valt, inom området finns en passpunkt som varit föremål för en del diskussion i Falu kommun. Punkten, en stompunkt på en kulle, har ett relativt stort restfel vid inpassning av de ursprungliga passpunkterna. Samtidigt anses punkten inte ha använts vid inmätning i närområdet. Denna situation kan alltså ses som ett argument när synpunkter framförts att passpunkter med stora restfel ger för stor inverkan på interpolerade restfel hos närliggande kartdetaljer vid transformation med restfelsinterpolation i TRIAD. Detta var ju som tidigare nämnts en av anledningarna till att den alternativa metoden med triangulering av fiktiva passpunkter togs fram.

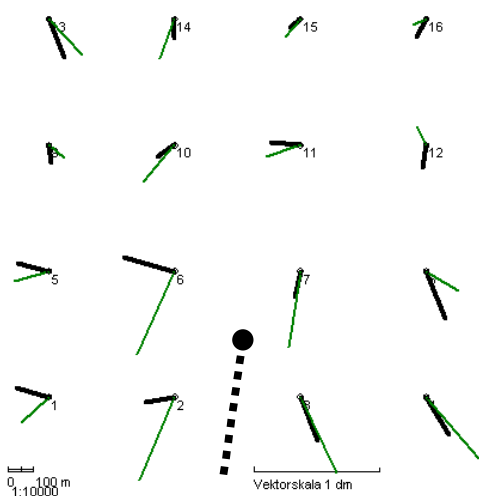
Figur 14.1 – Figur 14.9 visar differenser, i form av vektorer, vid transformation av de 16 påhittade punkterna. I varje figur har transformationsparametrar använts från triangulering visad i motsvarande Figur 12.1 – Figur 12.9, se även bildtexten. I samtliga nio figurer är dessutom passpunkten, stompunkten på en kulle, med det relativt stora restfelet inlagd. Restfelet i passpunkten är plottad med en streckad vektor. Skalan på denna vektor är densamma som skalan på koordinatdifferenserna.



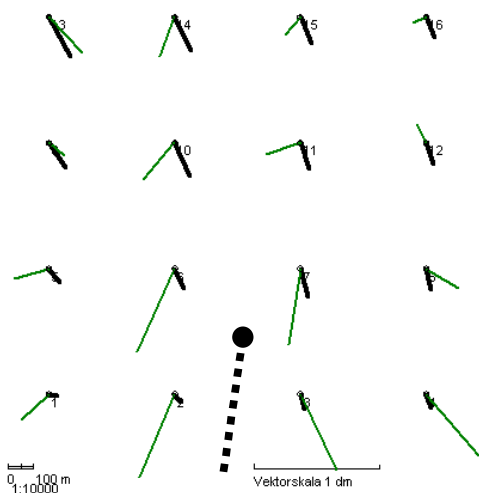
Figur 14.1. Koordinatdifferenser i 16 påhittade punkter i Falun. Vektorerna vid punkterna representerar koordinatdifferenser när resultatet från olika transformationer jämförs. Två olika differenser jämförs. De breda vektorerna avser differenser mellan transformation med fiktiva punkter i ett rutnät enligt Figur 12.1 och transformation med Helmertinpassning utan triangulering. De parametrar som används vid transformation enligt Figur 12.1 är ett rutnät 1000 m och ett passpunktområde 2000x2000 m. Den smalare vektorn används som jämförelse och representerar koordinatdifferenser mellan transformation med triangulering av de ursprungliga passpunkterna och en transformation med Helmertinpassning utan triangulering.



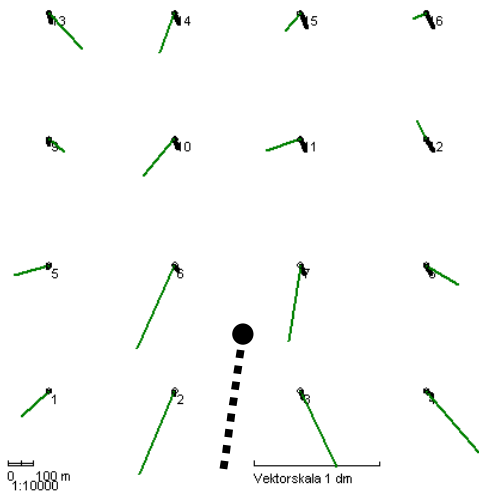
Figur 14.2. Breda vektorer är koordinatdifferenser mellan resultat efter transformation enligt Figur 12.2, rutnät 1000 m samt passpunktområde 4000x4000 m, och transformation med Helmertinpassning utan triangulering. Smala vektorer visar differenser vid transformation med och utan triangulering.



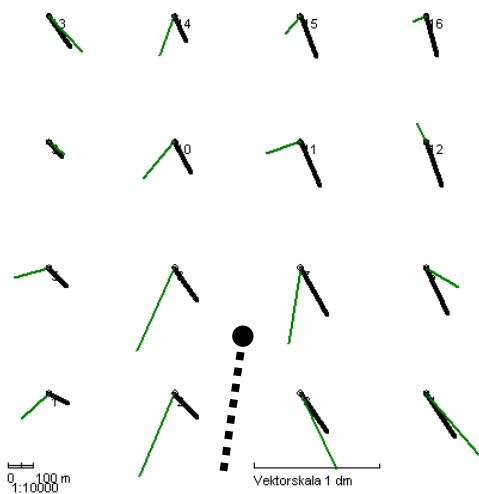
Figur 14.3. Breda vektorer är koordinatdifferenser mellan resultat efter transformation enligt Figur 12.3, rutnät 1000 m samt passpunktområde 1000x1000 m, och transformation med Helmertinpassning utan triangulering. Smala vektorer visar differenser vid transformation med och utan triangulering.



Figur 14.4. Breda vektorer är koordinatdifferenser mellan resultat efter transformation enligt Figur 12.4, rutnät 2000 m samt passpunktområde 2000x2000 m, och transformation med Helmertinpassning utan triangulering. Smala vektorer visar differenser vid transformation med och utan triangulering.

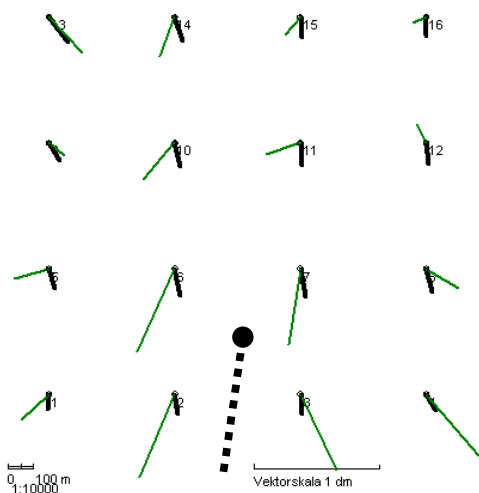


Figur 14.5. Breda vektorer är koordinatdifferenser mellan resultat efter transformation enligt Figur 12.5, rutnät 2000 m samt passpunktområde 4000x4000 m, och transformation med Helmertinpassning utan triangulering. Smala vektorer visar differenser vid transformation med och utan triangulering.

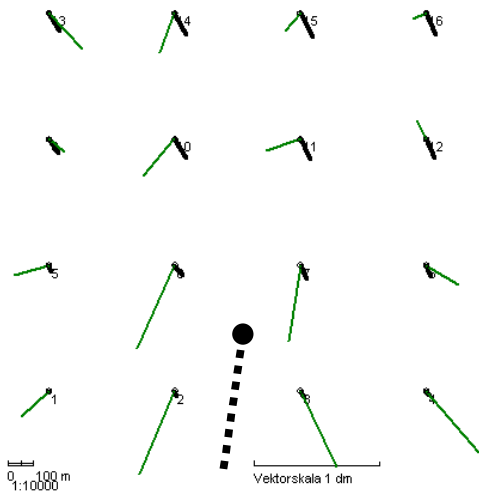


Figur 14.6. Breda vektorer är koordinatdifferenser mellan resultat efter transformation enligt Figur 12.6, rutnät 2000 m samt passpunktområde 1000x1000 m, och transformation med Helmertinpassning utan triangulering. Smala vektorer visar differenser vid transformation med och utan triangulering.

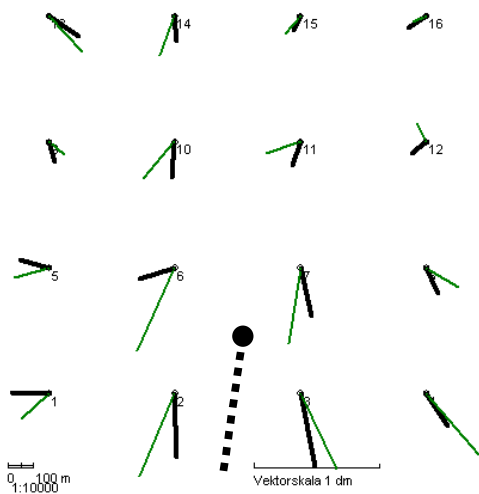




Figur 14.7. Breda vektorer är koordinatdifferenser mellan resultat efter transformation enligt Figur 12.7, rutnät 500 m samt passpunktområde 2000x2000 m, och transformation med Helmertinpassning utan triangulering. Smala vektorer visar differenser vid transformation med och utan triangulering.



Figur 14.8. Breda vektorer är koordinatdifferenser mellan resultat efter transformation enligt Figur 12.8, rutnät 500 m samt passpunktområde 4000x4000 m, och transformation med Helmertinpassning utan triangulering. Smala vektorer visar differenser vid transformation med och utan triangulering.



Figur 14.9. Breda vektorer är koordinatdifferenser mellan resultat efter transformation enligt Figur 12.9, rutnät 500 m samt passpunktområde 1000x1000 m, och transformation med Helmertinpassning utan triangulering. Smala vektorer visar differenser vid transformation med och utan triangulering.

### **6.3.6 Kommentarer till resultat av transformation genom trianguleringar med olika rutnät i Falun**

De nio plottarna i Figur 14.1 – Figur 14.9 visar resultatet efter olika transformationer. Transformationerna grundar sig på de nio triangulationerna i Figur 12.1 – Figur 12.9. Därför kommer kommentarerna av resultaten av de olika transformationerna att i viss mån anknyta till kommentarerna av motsvarande trianguleringar.

I samtliga figurer är effekterna av interpolering av ursprungliga passpunkter i TRIAD plottad, de smala vektorerna. Vektorerna visar effekterna av transformation med TRIAD jämfört med en Helmertinpassning utan restfelsinterpolation. Resultat av Helmertinpassning utan restfelsinterpolation kan i många fall vara lämpliga till jämförelse då metoden inte modellerar lokala deformationer. Vektorernas storlek och riktning i detta fall visar alltså effekterna av restfelsinterpolation. Att närliggande passpunkter inte är helt korrelerade framgår av att vektorerna varierar en del i de 16 punkterna.

De tjockare vektorerna visar effekterna av transformation med respektive triangulering av fiktivt rutnät. Även dessa transformationer grundar sig på restfelsinterpolation med TRIAD, men efter inpassning av fiktiva passpunkter. Även dessa resultat är relaterade till resultat efter Helmertinpassning utan restfelsinterpolation.

Det framgår tydligt att resultat av fiktiva passpunkter skiljer sig från resultat av ursprungliga passpunkter i detta område. I samtliga figurer ger de tjocka vektorerna ett annat mönster än de smala. En tydlig tendens är att vektorerna blir kortare i de figurer där passpunktområdena blir större. Detta är logiskt, extremfallet är ju att passpunktområdena är hela Falu tätort. Då ska ju resultatet bli detsamma som det efter Helmertinpassning utan restfelsinterpolation. Och är resultaten desamma så blir det ingen koordinatdifferens och heller ingen vektor. På motsvarande sätt erhålls en kraftigare modellering av deformationer när passpunktområdet minskas, dock inte med samma resultat som i fallet med triangulering av ursprungliga passpunkter.

På samma sätt som vektorerna ökar i storlek (deformationerna modelleras kraftigare) när passpunktområdena blir mindre, så ser vektorernas korrelation ut att öka när punkttätheten i de fiktiva rutnäten minskas. När rutnätet blir glesare skulle alltså de interpolerade restfelen i de transformerade punkterna ha hög korrelation, restfelen blir likartade mellan närliggande punkter. Jämförs vektorerna i Figur 14.6 (täthet i rutnät 2000 m) med Figur 14.3 (1000 m) respektive Figur 14.9 (500 m) ser man att vektorerna i Figur 14.6 (gleset rutnät) är av liknande storlek och riktning, medan vektorerna i de andra två figurerna (tätare rutnät) är betydligt mindre korrelerade.

Utöver de tunna och tjocka vektorerna är i varje figur en streckad vektor plottad. Den vektorn representerar restfelet i en passpunkt vid inpassning av ursprungliga passpunkter. Då just denna punkt har befarats ge en för stor inverkan på transformationen av närliggande kartdetaljer kan det vara intressant att studera hur resultaten har utfallit i de påhittade transformerade punkterna som ligger i dess närhet. I figurerna får man intrycket att de smala vektorerna, de från triangulering av de ursprungliga passpunkterna, enligt resonemanget ovan är starkt påverkade av den streckade vektorn. De närliggande punkternas vektorer påvisar korrelation med den streckade vektorn både beträffande storlek och riktning medan punkterna längre ifrån påverkas i mindre omfattning.

Genom att studera de breda vektorerna i de olika figurerna kan en bedömning göras av i vilken mån transformationerna med fiktiva passpunkter påverkas av punkten med det streckade restfelet. Man ser direkt att då passpunktområdet är stort, se exempelvis Figur 14.2, blir effekten av detta enskilda restfel bland ursprungliga passpunkter mycket liten eller ingen alls. Effekten ökar dock i takt med att passpunktområdet minskas. I de tre figurerna med minsta passpunktområdena, Figur 14.3, Figur 14.6 och Figur 14.9, kan det emellertid konstateras att vektorerna aldrig blir lika korrelerade till den streckade vektorn som fallet är med de tunna vektorerna. Vidare har som tidigare nämnts tätheten av punkter i de fiktiva rutnäten stor betydelse för orienteringen av restfelen. Riktningen hos de vektorer

som närmast omger den streckade vektorn varierar markant då de tre sistnämnda figurerna jämförs. Detta resultat följer det tidigare resonemanget att ett gles rutnät av fiktiva passpunkter leder till stora trianglar i trianguleringen. Stora trianglar leder i sin tur till att närliggande transformerade kartdetaljer får ett liknande tillskott av restfel vid transformationen. I Figur 14.6 framgår att det lilla passpunktområdet, 1000X1000 m, ger stora tillskott i form av restfel i det transformerade resultatet (stora vektorer), men att lokala deformationer ändå kan sägas modelleras dåligt (likt storlek och riktning hos vektorerna) då restfelen interpoleras från stora trianglar där informationen om deformationer blir gles.

## 6.4 Transformation med NYTDAT

Det norska företaget Norkart AS har i samarbete med norska kommunen Stavanger utvecklat ett transformationsprogram kallat NYTDAT. Metoden för transformation bygger på att varje kartdetalj som skall föras över till ett nytt koordinatsystem erhåller ett eget transformationssamband. Det skapas alltså ett samband för varje unik punkt i området. Metoden har i examensarbetet inte kunnat utnyttjas för transformation av kartdata, men metoden kommer här att beskrivas och kommenteras.

Ett problem man ställs inför när man skall modellera deformationer vid transformation av kartdetaljer är att eventuella fel, deformationer, vid lägesangivelserna hos kartpunkter till stor del beror av befintliga deformationer i de stompunkter detaljerna är inmätta från. Man bör alltså för att erhålla en god modellering av kartdetaljernas deformation känna till vilka punkter de är inmätta ifrån. Det kan emellertid vara svårt, eller kanske omöjligt, att avgöra vilken eller vilka passpunkter som vid en transformation av karta skall ha stort inflytande på hur en viss kartdetalj transformeras. I NYTDAT har man valt att låta ett antal passpunkter i kartdetaljens närmsta omgivning gemensamt, med en Helmertinpassning, modellera deformationen i en viss punkt. En ny lokal inpassning görs sedan för varje kartdetalj som skall transformeras. I stället för att modellera deformationer genom att efter att ha skapat ett samband över hela området interpolera fram tillskott från närliggande restfel vid inpassning, skapas här alltså istället för varje punkt en egen inpassning grundad på ett mindre antal närliggande passpunkter.

Då det inte är möjligt att ta reda på exakt vilken eller vilka passpunkter som borde ha den största inverkan på transformationen av en viss punkt, har en algoritm skapats som har till syfte att, efter vissa bestämda kriterier, finna lämpliga passpunkter för inpassning i ett område runt kartdetaljen. Algoritmen är avancerad och erbjuder många olika parametrar som användaren själv kan ange efter egna önskemål. Algoritmen söker passpunkter i en viss radie runt punkten som skall transformeras. För varje kvadrant (4 stycken) runt punkten måste ett minimalt antal passpunkter finnas. Sökradien fördubblas i respektive kvadrant tills erforderligt antal passpunkter är funna. Sökningen fortsätter sedan i alla kvadranter för att erhålla ett antal passpunkter som är satt som maxvärde. Då passpunkter är funna utförs en sökning av eventuella grova fel som kan leda till att passpunkter utesluts. En analys av yttre tillförlitlighet kan också utföras för att bestämma hur mycket ett upptäckt grovt fel kan påverka beräknade koordinater.

Metoden har i samband med utvecklingen av programmet använts vid norska kommunen Stavangers övergång till det rikstäckande koordinatsystemet EUREF89. Samma program har dessutom nyligen använts vid transformation i norska kommunen Ski. Även här gällde det en övergång från ett lokalt system till EUREF89.

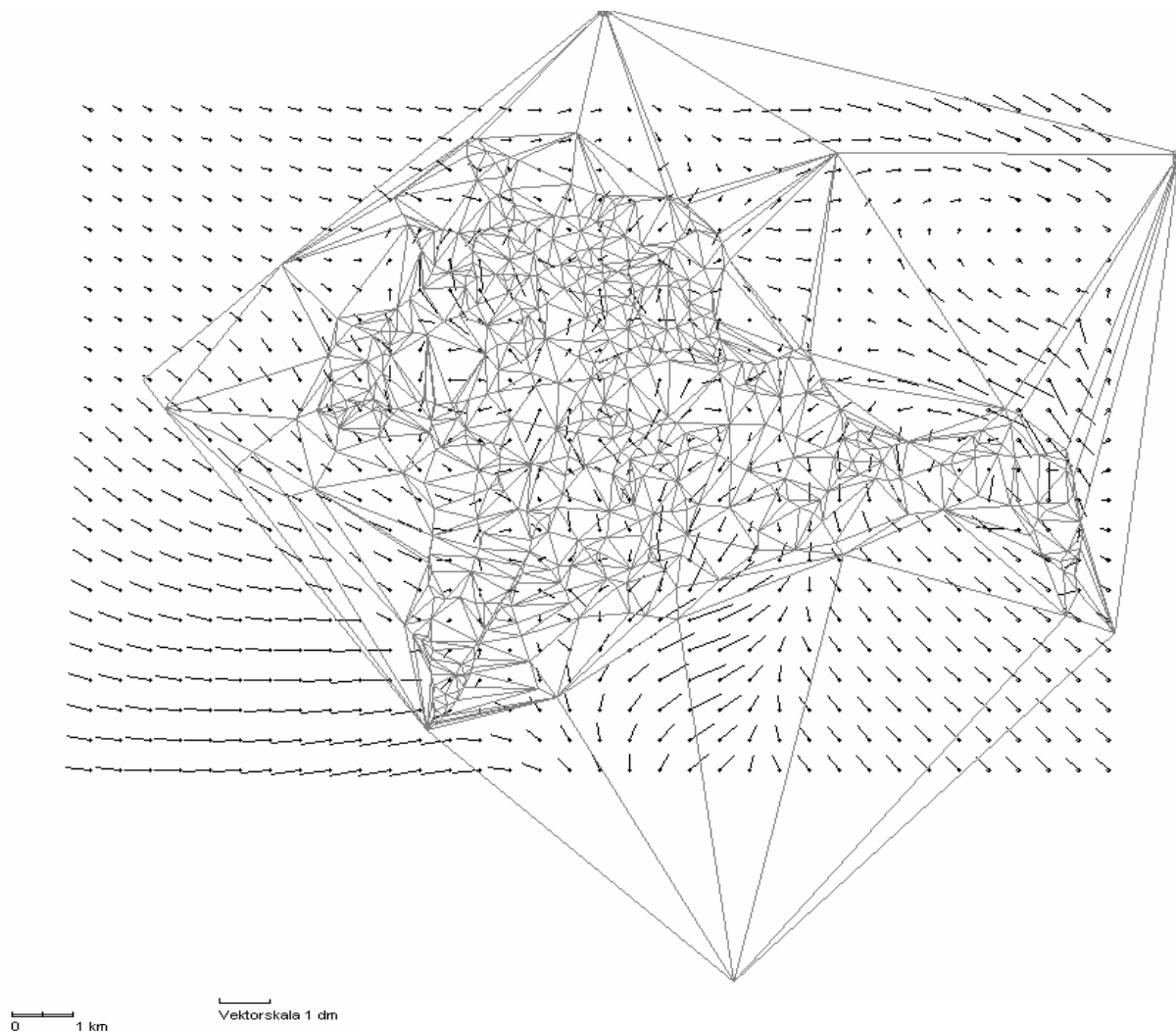
En fördel med metoden, jämfört med att göra en inpassning av ett större antal passpunkter, är att varje transformerad kartdetalj kan få ett unikt urval av passpunkter. En annan fördel är det stora utbudet av parametrar som kan bestämmas, samt möjligheterna till olika tester av resultatet. Hur bra resultatet blir i jämförelse med t ex metoden med restfelsinterpolation i TRIAD är svårt att avgöra då inga jämförande transformationer kunnat utföras i examensarbetet. För fördjupad analys av programvaran NYTDAT och av utförda transformationer i norska kommuner hänvisas därför till tillverkaren Norkart AS och till kommunerna Stavanger och Ski.

## 6.5 Effekter i ytterområdena vid interpolering med TRIAD

### 6.5.1 Beskrivning av effekter i ytterområden

Det har i tidigare avsnitt nämnts att det vid triangulering och restfelsinterpolation ofta blir stora restfelstillskott i transformationsområdets ytterområden. Passpunkternas inpassningsfel är ofta både stora och avvikande i dessa ytterområden. Detta återspeglas också i resultatet då kartdetaljers koordinater transformeras under inverkan av dessa inpassningsfel. Dessutom kan algoritmen i TRIAD ge upphov till märkliga effekter då punkter utanför trianguleringen transformeras. Orsaken är att restfel i de punkterna extrapoleras från passpunkter i trianguleringens hölje, rand. De märkliga effekterna kommer sig då ofta av en kombination av att restfel extrapoleras från randpunkter samt att dessa randpunkter i sig kan ha stora inpassningsfel. För beskrivning av hur TRIAD fungerar, se även Bilaga 5.

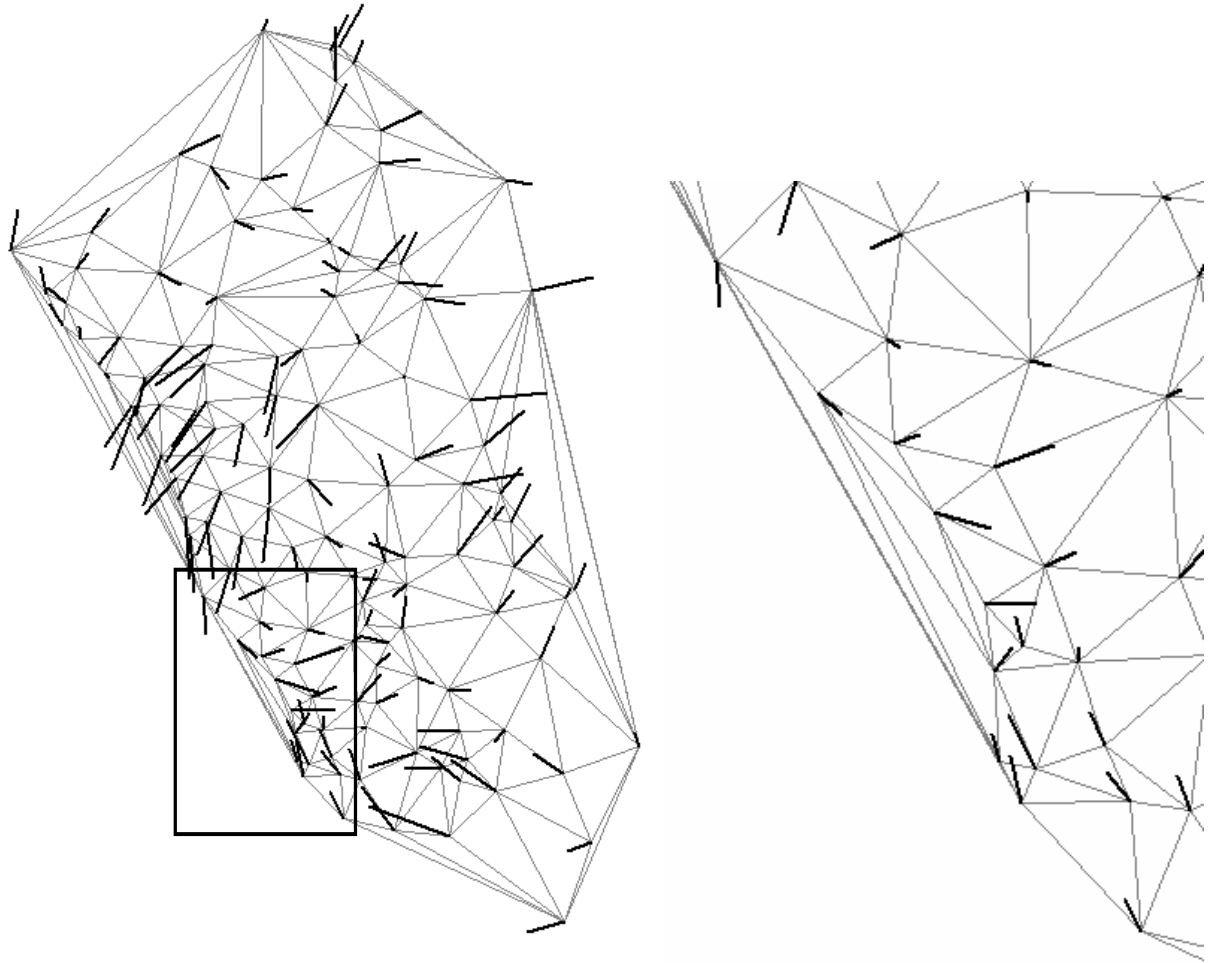
I Figur 15 är en triangulering plottad tillsammans med vektorer i ett gitter av transformerade punkter. Trianguleringen bygger på passpunkterna från Falun och vektorerna är differenser mellan resultat av transformation med och utan restfelsinterpolation i TRIAD. Figuren är tänkt att illustrera hur vektorerna, som representerar effekten av interpolerade restfel, bildar tydliga mönster i ytterområdena. I de större trianglarna kan man tydligt se hur hela triangelns område får restfel formade av endast tre passpunkter. I Faluns fall innebär det att deformationer i tätortens ytterområde riskerar att bli sämre modellerade än de där passpunkterna ligger tätare. Om man vidare studerar vektorerna utanför det triangulerade området ser man att även dessa modelleras dåligt. Här extrapoleras restfelen, varje vektor får helt enkelt sitt värde genom att punkten projiceras (rätvinkligt) in mot närmsta linje, sida, mellan två passpunkter där linjär interpolation sker utifrån de bägge passpunkterna. Vektorernas storlek avtar alltså inte med avståndet från det triangulerade området, de behåller både storlek och riktning i en rät linje från sidan i närmsta triangel.



*Figur 15. Triangulering från inpassning i Falun plottad tillsammans med vektorer i ett gitter av transformerade punkter.*

### **6.5.2 Försök med utanföriggande punkter vid triangulering**

Ett problem som ofta uppstår när restfel skall interpoleras i en triangulering av passpunkter är att trianglar får en för ändamålet dålig geometri. Den ideala triangeln är liksidig, men då fördelningen av passpunkter ofta är något ojämn så blir trianglarna mer eller mindre tillplattade. Detta fenomen är ofta extra märkbart vid trianguleringens rad, ytterkant. Figur 16 föreställer en triangulering av passpunkterna i Helsingborg. Trots att fördelningen av passpunkter är relativt jämn uppstår problemen i randområdet. Runt om det triangulerade området är de flesta trianglar rejält tillplattade.



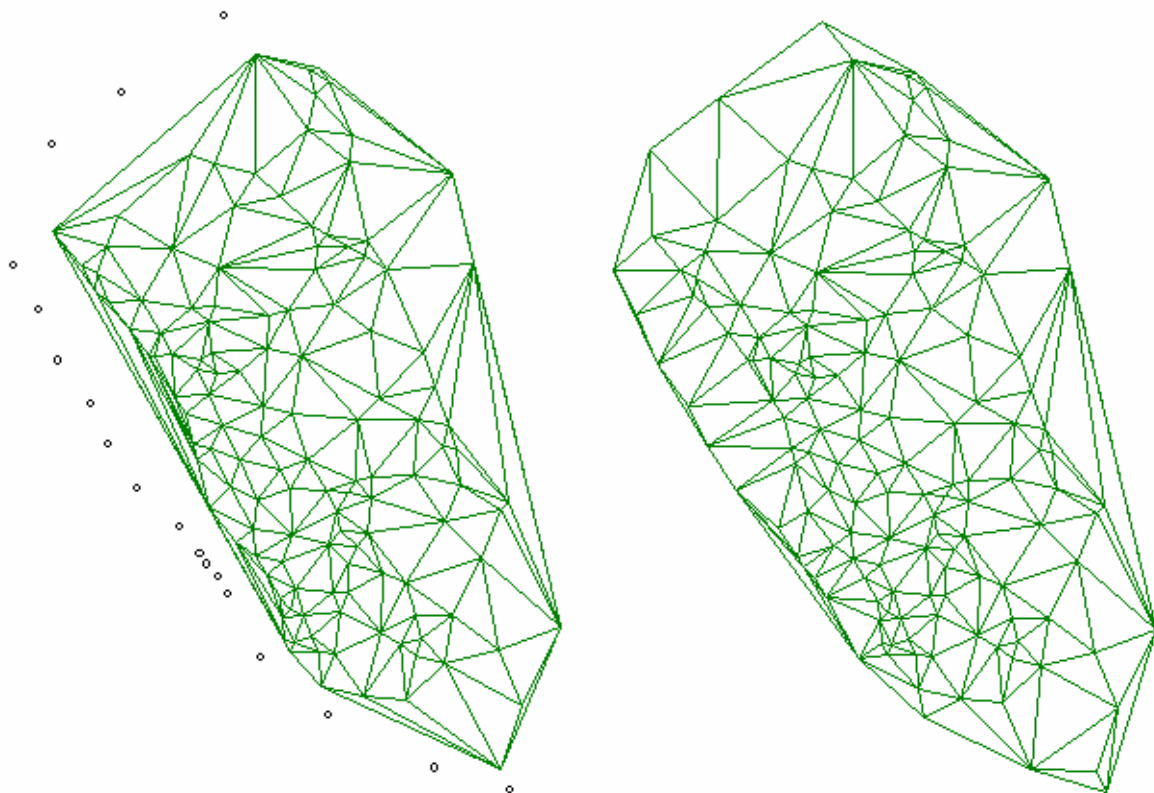
*Figur 16. Triangulering av passpunkter i Helsingborg.*

*Figur 17. Triangulering av passpunkter i Helsingborg, del av området i Figur 16.*

Ett rimligt sätt att undvika transformationer i tillplattade trianglar är att använda passpunkter som ligger en bit utanför det område som ska transformeras. Men det kan finnas olika skäl till att det är svårt att genomföra i praktiken. I fallet Helsingborg finns ett uppenbart hinder; kommunens västra sida gränsar mot Öresund. Det är därför inte möjligt att anlägga passpunkter längre ut än till strandremsan. I Figur 16 ser man effekterna av att passpunkterna ligger tätt efter strandlinjen. I Figur 17 är den del av Figur 16 som är markerad med en ruta uppförstorad.

I Helsingborgs kommun har en idé presenterats som går ut på att fiktiva, påhittade, punkter placeras utanför det område som är triangulerat. En ny triangulering utförs där de fiktiva punkterna även de används som passpunkter. Tanken är att de inte ska påverka inpassningen, deras restfel ska bli noll. Men de nya trianglar som bildas ska användas till interpolation precis som de gamla.

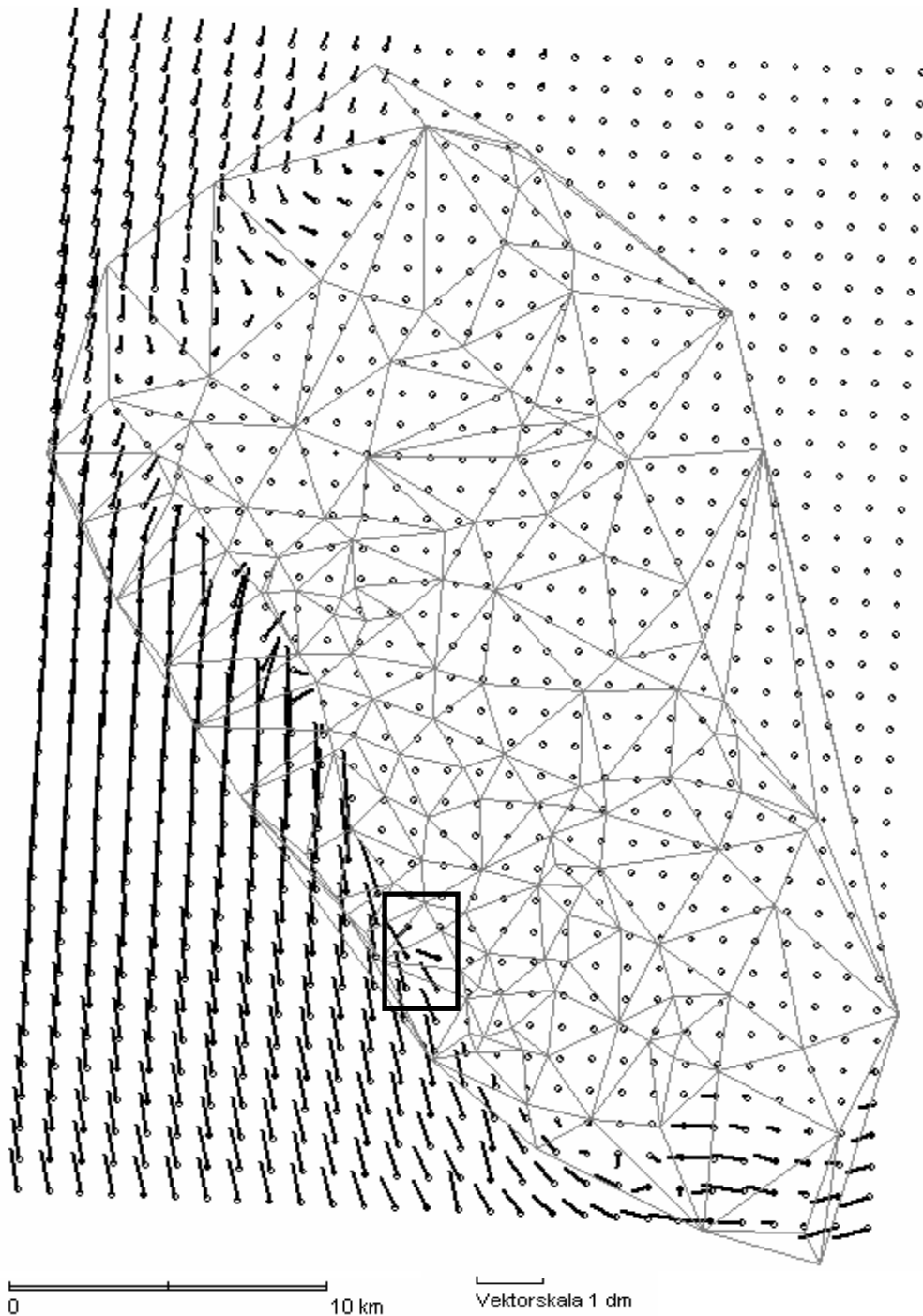
Idén har testats och utvärderats i examensarbetet. Den vanliga proceduren vid triangulering i TRIAD har använts men de nya passpunkterna är inkluderade i koordinatfilerna vid inpassning. De nya passpunkternas koordinater har först bestämts i till-systemet. I GTRANS finns ett grafiskt verktyg GPLOT där positioner kan markeras med lämplig triangulering som bakgrundsbild. Ett antal positioner för nya punkter utanför trianguleringen valdes och koordinaterna i RT 90 noterades. Punkterna gavs sedan ett id-nummer och skrevs in i K-filen med passpunkternas koordinater i till-systemet. För att sedan erhålla motsvarande koordinater i från-systemet på ett sådant sätt att en ny inpassning inte ska förändra fördelningen av restfel, transformerades helt enkelt de nya koordinaterna till från-systemet m h a inversen av transformationssambandet från den gamla inpassningen. Resultatet skrivs in i K-filen med från-koordinater och en ny inpassning med ett utökat antal punkter kan slutligen genomföras. I Figur 18 visas den ursprungliga trianguleringen tillsammans med trianguleringen av den nya inpassningen. Vid den ursprungliga trianguleringen är de nya punkterna markerade.



Figur 18. Ursprunglig triangulering i Helsingborg tillsammans med ny triangulering efter inpassning med extra punkter.

De extra punkterna valdes med varierande avstånd från de ursprungliga och med varierande inbördes avstånd, detta för att se hur trianguleringen påverkas av dessa avstånd. Figuren visar att de tillplattade trianglarna i randområdet har ersatts av relativt bra trianglar där nya punkter är placerade. Trianglarna är snarare något tillspetsade med riktning ut från området. Detta borde dock ha mindre betydelse vid interpolation då de nya punkterna saknar restfel. I sydväst har nya tillplattade trianglar bildats i ett område. De ligger dock utanför transformationsområdet och ska därför inte påverka resultatet.

I det här läget är det intressant att se hur den nya trianguleringen påverkar resultatet vid en transformation med TRIAD. För att visa eventuella skillnader i sådana resultat plottas i Figur 19 koordinatdifferenser, i form av vektorer, mellan resultatet av de bägge transformationerna. De punkter som transformerats är ett gitter av punkter som ska representera kartdetaljer.

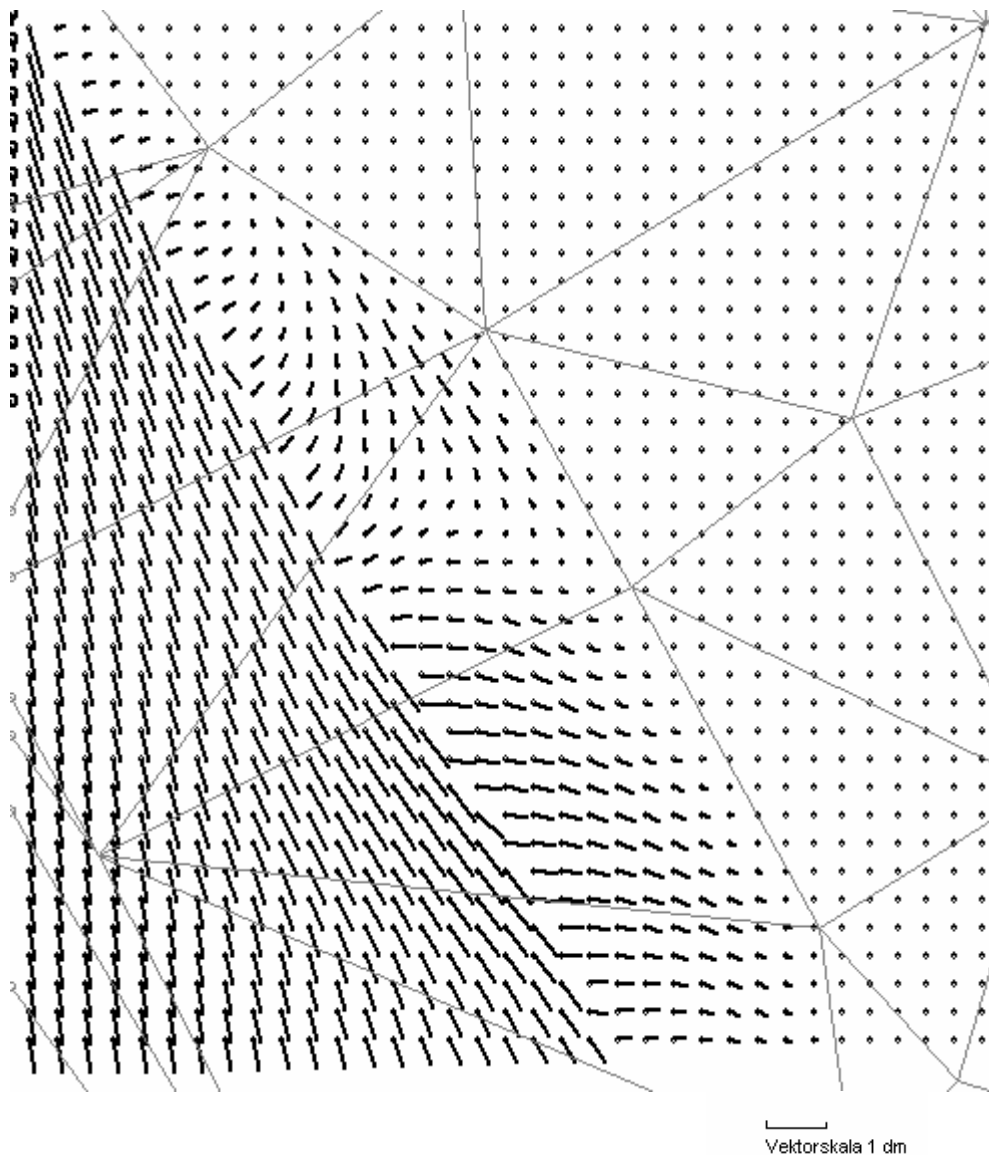




Figur 19. Koordinatdifferenser mellan resultatet av transformation med och utan extra passpunkter i trianguleringen.

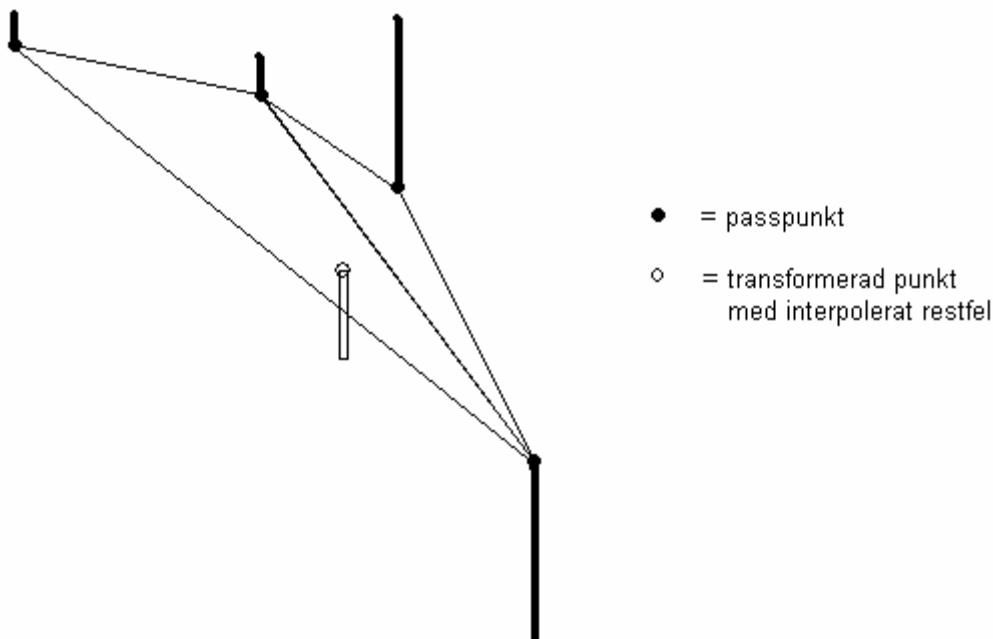
Bilden skall tolkas på så sätt att storleken på en vektor avgör hur mycket resultaten av transformationerna skiljer sig för den punkten. En stor vektor innebär att triangulering med extra punkter har en stor inverkan på en transformation, liten eller ingen vektor innebär att transformationen påverkas mindre av de extra punkterna. I figuren saknas differenser inom trianguleringen, vilket är rimligt då de extra passpunkterna befinner sig runt ena kanten. I närheten av de extra punkterna händer det något. Här har nya trianglar bildats i den nya trianguleringen och resultatet av transformation är därför förändrat. Av figuren framgår en förändring av resultatet i områdena rakt utanför de nya passpunkterna. Detta är en följd av det tidigare resonemanget att TRIAD vid transformation extrapolerar restfel vinkelrät ut från närmsta triangelsida. Då de nya trianglarna i randområdet bygger på omslutningen av fiktiva passpunkter utan restfel kommer alla transformerade punkter utanför trianguleringen att tilldelas restfelet noll. En effekt av förfarandet med extra passpunkter utanför de riktiga passpunkterna är alltså att inget tillägg av restfel sker vid transformation av utanförliggande punkter.

Det intressantaste i detta försök är att se hur kartdetaljer transformeras i randområdet, i det här fallet vid strandlinjen. I Figur 20 har samma transformation genomförts men i ett mindre område och med ett tätare gitter av punkter. Det mindre området i Figur 20 är markerat med en rektangel i Figur 19.



Figur 20. Koordinatdifferenser mellan resultatet av transformation med och utan extra passpunkter i trianguleringen. Området är ett delområde av det i Figur 19.

Även i Figur 20 ligger den nya trianguleringen som bakgrund. I samtliga nybildade trianglar har en förändring av det transformerade resultatet skett. Förändringen är noll i de linjer som binder ihop de yttersta riktiga passpunkterna, för att sedan öka i transformerade punkter som ligger närmare de nya passpunkterna. Man kan alltså konstatera en liten förändring av det transformerade resultatet då området vid strandlinjen studeras. Om de nya resultaten är närmare "sanningen" är naturligtvis svårt att avgöra, men rimligen borde trianglar som har spetsen utåt från området utgöra bättre förutsättningar än trianglar som är "tillplattade" utefter passpunkterna i randen. För att illustrera detta resonemang är en enkel figur ritad, Figur 21, där en tänkbar situation, möjligen något överdriven, med en tillplattad triangel är konstruerad.



Figur 21. Exempel på en situation där ett genom interpolation erhållet restfel i en godtycklig punkt tydligt avviker från restfelet i den närmaste intilliggande passpunkten.

I figuren har en tänkt kartdetalj erhållit ett restfel interpolerat från tre passpunkter i den tillplattade triangeln. Det interpolerade restfelet skiljer sig avsevärt från restfelet i den mest närliggande passpunkten, som dock inte påverkar interpolationen. I detta exempel skulle den transformerade punkten kunna erhålla ett bättre anpassat restfel om det funnits extra punkter utanför området, ner till vänster i figuren. Figuren illustrerar på ett bra sätt bristerna med att utföra interpolering av restfel utifrån tre punkter som tillsammans bildar en triangel.

## 7 Diskussion

I det här examensarbetet har olika metoder att föra över kartdata vid byte av koordinatsystem testats och jämförts. De olika momenten är beskrivna i rapporten. En diskussion runt resultat och effekter av olika försök har förts i texten parallellt med de olika försöken. Här kommer en sammanfattning av olika resultat och slutsatser att följa, kompletterad med en utvidgad diskussion.

## 7.1 Transformationsprogrammet GTRANS

Denna programvara är central i examensarbetet. De metoder som kom att testas var i huvudsak olika förfaranden där Lantmäteriets transformationsprogram GTRANS användes. Programmets funktion, då främst programmodulen TRIAD, beskrivs i Bilaga 5, och resultat av försök med GTRANS och kommentarer till dessa förekommer på flera ställen i rapporten.

## 7.2 Presentation av resultat genom jämförelse med mätta koordinater

En frågeställning man ställs inför då effekter av olika försök skall bedömas är hur man skall åskådliggöra dessa. Hur skall man visa effekter av en transformation och hur skall man avgöra om den är bra? När man diskuterar modellering av deformationer i ett stornät finns ingen ”sanning” att jämföra med. Det går inte att utföra olika transformationer och sedan räkna ut i vilken de transformerade koordinatvärdena kommer närmst de riktiga koordinatvärdena. Man får istället utifrån olika jämförelser göra en bedömning av hur väl en metod eller ett försök lyckas modellera befintliga deformationer.

Ett försök har gjorts att i någon mening skapa ett facit för studier av resultat av transformationer. Det är de brukspunkter som har mätts in med RTK-teknik (GPS) i Helsingborgs kommun. Genom att jämföra transformerade koordinater på dessa punkter (de är kända i Helsingborgs lokala) med de mätta koordinatvärdena så skulle ett kvitto på resultatet av transformationen kunna ges. Försök med dessa inmätta värden beskrivs i avsnitt 6.2.4. Resultaten av försöken visar att transformation med restfelsinterpolation i GTRANS ger ett resultat av koordinatvärden i Helsingborg som ligger nära mätta värden. Men det visar också att effekter av och egenskaper i transformationen är svåra att bedöma när skillnaderna i koordinatvärdena är små. Problemet är att det finns olika fel i de mätta värdena som gör det svårt att definiera brister i transformationsförfarandet. I visst avseende kan det dock vara viktigare att få beskedet att avvikelserna är små, än att få en beskrivning hur de fel som finns kvar är fördelade.

## 7.3 Presentation av resultat genom jämförelse mellan alternativa metoder.

Om resultatet av en transformation inte kan jämföras med någon sorts ”sanna” koordinatvärden får man gå en annan väg. Ett sätt är att jämföra resultatet av en transformation med resultatet av en annan transformation. Man får då inget direkt mått på hur nära sanningen man kommer, men väl en jämförelse där relativa egenskaper olika metoder emellan kan studeras. I examensarbetet har detta sätt att bedöma olika resultat använts genomgående vid flera olika försök.

Ofta har transformation med en vanlig plan likformig inpassning, en s k Helmertinpassning, använts som jämförelse till en annan transformation. En transformation med en sådan inpassning kan sägas vara den enklaste formen att föra över data mellan två olika koordinatsystem. Inga modelleringar av lokala deformationer görs i det fallet. Om det resultatet sedan jämförs med resultatet av en transformation där deformationer på något sätt är modellerade, kan man ur avvikelserna på koordinatvärdena göra en bedömning av hur metoderna skiljer sig åt. På det här sättet har exempelvis effekter av restfelsinterpolation i GTRANS studerats på de för ändamålet tillgängliga data. I avsnitt 6.2.4 beskrivs hur ett gitter av påhittade punkter med koordinater i Helsingborgs lokala har transformerats, med och utan restfelsinterpolation, för att sedan jämföras i en plott där skillnaden mellan de nya värdena i respektive punkt åskådliggörs med en vektor, se Figur 5.

Koordinatskillnader mellan resultat av olika transformationer har också studerats då metoden med fiktiva punkter i ett rutnät utvärderats, se avsnitt 6.3. Då har exempelvis resulterade koordinatvärden vid transformation med olika varianter på rutnät jämförts med en vanlig Helmerttransformation. Resultat i form av vektorer plottas i Figur 14.1 – Figur 14.9. Genom att jämföra vektorerna mellan de olika figurerna kan man analysera utfallet av varje uppsättning parametrar i metoden med fiktiva punkter i ett rutnät.

I Figur 19, avsnitt 6.5, används koordinatvektorer för att jämföra två transformerade resultat där transformationsmetoden är densamma, restfelsinterpolation i GTRANS, men där uppsättningen av passpunkter skiljer mellan de två utförda transformationerna. I det här fallet syftar alltså inte de plottade vektorerna till att visa på skillnader i transformationsmetoder, utan på effekterna av att innan trianguleringen av området lägga till ett antal passpunkter till de ursprungliga.

## 7.4 Begränsning av fel i modellering av deformation

Ovan fördes en diskussion om svårigheterna i att bedöma om en metod att transformera kartdata gör det på ett riktigt sätt. Hur kan man avgöra om eventuella deformationer modelleras på rätt sätt? Vad är rätt? Svaret är förmodligen att det inte finns något sätt som är helt rätt. Eller snarare, att det är svårt att ta reda på exakt hur eventuella deformationer i ett stornät är fördelade.

Ett sätt att bedöma en metod är att inte koncentrera sig på hur nära sanningen ett resultat av en transformation är, utan att försöka bedöma hur stora fel som kan uppstå i modelleringen. Med andra ord, hur beter sig metoden i dess mest ogynnsamma förhållanden.

Jämförelserna med RTK-mätta punkter och transformerade punkter i Helsingborg är ett sätt att bilda sig en uppfattning om hur stora ”felen” i en transformation kan bli. Då differenserna i de 318 mätta punkterna beräknas är den största radiella avvikelsen 80 mm. Detta kan då användas som ett riktvärde för hur stora avvikelser metoden kan ge i området. Här tillkommer dock en osäkerhet, bland annat i själva mätmetoden för de mätta koordinaterna. Dessutom är samtliga mätta punkter markerade brukspunkter och det är inte säkert att resultatet blir det samma om exempelvis gränspunkter skulle mätas in.

Metoden med fiktiva passpunkter i ett rutnät kom till i syfte just att begränsa risken att deformationer blir felaktigt modellerade. Stora korrekationer i form av restfelstillägg vid transformation reduceras för att eliminera risken att ett stort tillägg felaktigt görs vid transformation av en kartdetalj. Man väljer alltså att avsiktligt trubba av modelleringen för att på så sätt ta bort risken för stora fel i modelleringen. Effekterna av metoden varierar dock när olika parametrar ändras vid transformation. Dessutom påverkas metodens utfall av karaktären hos de befintliga passpunkterna i området. I examensarbetet har med Faluns passpunkter som data olika parametrar använts och resultaten jämförts.

## 7.5 Betydelsen av trianglarnas utformning vid triangulering och interpolation av restfel.

I avsnitt 6.5 diskuteras effekterna av att trianguleringen varierar vid Helmerttransformation med restfelsinterpolation i TRIAD. Genom att ändra på trianglarnas utseende utan att ändra på restfelen i de punkter de byggs upp av (nya punkter har lagts till, men dessa saknar restfel) har resultatet av två olika transformationer kunnat jämföras. Eftersom de transformerade punkterna är ett tätt rutnät av punkter kan systematiska mönster inom trianglarna studeras. I Figur 20 visas resultatet av differenser mellan två transformationer där vektorerna i punkterna motsvarar differensen i respektive punkt. I den högra delen av figuren är trianglarna desamma vid de bägge transformationerna. Resultatet av de två transformationerna blir då identiskt och inga differensvektorer uppstår. I det vänstra området har nya trianglar bildats och här kan man se hur vektorer bildas och ger upphov till olika mönster. Det är den nya trianguleringen som är utritad i figuren. Ett tydligt trendbrott i vektorernas mönster uppstår tvärs igenom flera trianglar i figurens vänstra del. Detta trendbrott följer sidan i en av trianglarna i den tidigare trianguleringen. Triangeln ifråga var avlång i sin utbredning och diskussionen i avsnitt 6.5 behandlade bland annat effekterna av sådana trianglar. Vi kan alltså med hjälp av resultatet i Figur 20 konstatera att trianglarnas utformning och placering i trianguleringen har betydelse för resultatet. I ogynnsamma fall blir utfallet av en transformation av en punkt i hög grad beroende av i vilken av två närliggande trianglar punkten befinner sig. Här bör man dock påminna sig om att storleken på dessa eventuella skillnader i resultaten är direkt beroende av storleken på restfelen i de inblandade

passpunkterna. I områden där restfelen i passpunkterna är små, alternativt att de är väl korrelerade, blir betydelsen av en ogynnsam triangulering begränsad.

## **7.6 Behov av fortsatta undersökningar**

I examensarbetet behandlas förfaranden och problemställningar vid byte eller upprätning av ett koordinatsystem. Några olika metoder att reducera deformationer vid överförandet av kartdata till ett nytt koordinatsystem har undersökts och utvärderats. Resultatet av arbetet kan vara lämpligt som underlag då diskussioner om ett byte av koordinatsystem förs inom exempelvis en kommun. Förutsättningarna skiljer sig dock mycket mellan olika kommuner och det är många fler aspekter som påverkar ett byte av koordinatsystem än de som diskuteras i det här examensarbetet. Ekonomiska resurser styr i stor utsträckning hur arbetet med att byta koordinatsystem genomförs. Tekniska och praktiska förutsättningar unika för varje kommun utgör naturligtvis också en viktig förutsättning för valet av tillvägagångssätt.

Ett stort antal kommuner i Sverige står inför någon form av åtgärder när det gäller de stornät och koordinatsystem som kommunens geografiska information är knuten till. Detta för att anpassa sig till ny teknik och de ökade kraven på kännedom om kvalitet hos geografiska data och de ökade kraven på möjligheten till utbyte av dessa. Att många kommuner befinner sig i ett nära förestående av ett byte av koordinatsystem framgår bland annat av svaren i den enkätundersökning som utförts i samband med examensarbetet. Det finns emellertid inga klara riktlinjer för hur en kommun ska gå till väga i detta arbete och erfarenheterna är fortfarande begränsade på området. Det finns alltså all anledning till fortsatta insatser i arbetet med att jämföra och bedöma olika sätt att föra över kartdata till nya koordinatsystem.

Exempelvis borde helt andra metoder än de som behandlats i det här examensarbetet kunna undersökas. Metoden som utnyttjas i programmet NYDAT från Norkart AS har beskrivits i examensarbetet och skulle kunna testas och utvärderas på ett liknande sätt som programmet GTRANS. Ett område som inte diskuterats i det här examensarbetet är deformationer av geometriska objekt vid ett byte av koordinatsystem. Det kunde vara intressant att undersöka hur objekt i kartan kan bibehålla sina geometriska egenskaper efter en transformation.

## **8 Genomförande och resultat av frågeformulär**

Som tidigare nämnts togs ett frågeformulär fram i syfte att ge en överblick av och svar på frågor relaterade till koordinatsystem i landets kommuner. Formuläret ställdes ut till mät- och kartansvariga personer i kommunerna och bifogas i sin helhet med 20 frågor i Bilaga 7.

### **8.1 Tillvägagångssätt**

Olika sätt att nå ut med enkäten övervägdes. Sverige består av 289 kommuner, och det inses lätt att det kan bli en väldigt tidsödande uppgift att söka rätt på, ta kontakt med, invänta svar från och framför allt att sammanställa svar från dessa kommuner. Då denna enkätundersökning var tänkt som ett komplement till examensarbetets huvudsakliga inriktning var det önskvärt att den genomfördes på ett någorlunda effektivt sätt. Samtidigt fanns ett intresse av en stor svarsfrekvens och ett svarsmaterial av hög kvalitet. Lösningen blev att enkäten besvarades genom att fylla i ett formulär på en webbsida.

För att göra kontakten med berörda personer effektiv användes e-post för korrespondens. Information om enkäten skickades ut till personer i ca 220 kommuner (av totalt 289). Bland de 220 kommunerna var samtliga stora och medelstora representerade. I e-postmeddelandet framgick bakgrunden till enkäten samt en adress till en webbplats där ett formulär var utlagt. Enkäten besvarades genom att den berörda personen besvarade frågor samt kryssade för svarsalternativ i formuläret och avslutade med att

bekräfta svaren genom att trycka på en knapp som genom ett e-postprogram skickar svaren till en e-postadress. Det aktuella e-postmeddelandet är strukturerat så att det enkelt kan läggas in som en rad i ett kalkylblad i Excel, där varje svar hamnar i en kolumn för respektive fråga.

Totalt är svar från 83 kommuner mottagna och utvärderade. Vissa svårigheter fanns att lyckas nå rätt personer i kommunerna för deltagande i undersökningen. Vidare meddelade många personer olika förhinder från att delta. Mot denna bakgrund kan ändå svar från 83 kommuner anses vara en relativt god svarsfrekvens, och en del av det positiva utfallet kan nog förklaras med att enkäten besvarades på en webbsida. Om en berörd person är uppkopplad mot nätet är det bara att klicka på bifogad webbadress och på ett ögonblick ligger ett formulär utrullat på skärmen. Efter att ha svarat på frågorna bekräftas svaren och saken är klar. Besvarandet förenklas ytterligare av att de flesta frågor hade både förberedda svarsalternativ och plats för egna kommentarer. Det var alltså möjligt att besvara formuläret relativt snabbt genom att i huvudsak bara kryssa för lämpliga svarsalternativ.

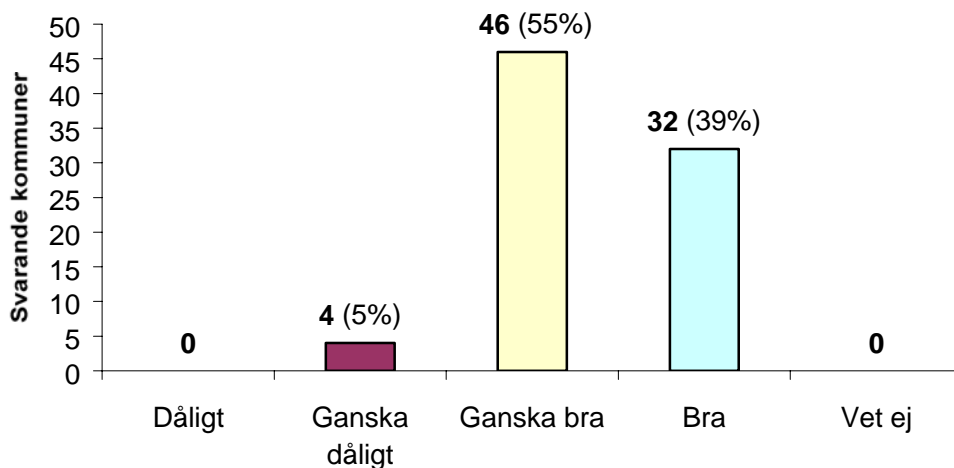
## **8.2 Sammanställning och utvärdering av svaren i enkäten**

Frågorna i enkäten var av två skilda slag, eller snarare, de flesta frågorna medgav svar på två olika sätt. Dels genom val av förberedda svarsalternativ, dels genom möjlighet till egna kommentarer. Fördelen med färdiga svarsalternativ är, förutom att de är enkla att besvara, att de är betydligt enklare att sammanställa och använda i statistik än svar som är egenkomponerade. Därför kan presentationen av svaren på de flesta frågor delas upp i en del med statistik över svarsalternativen och en del med kommentarer till frågan. I sammanställningen nedan blandas svaren på frågorna med statistik och en diskussion runt svaren. Frågorna behandlas ungefär i den ordning som de var uppställda i enkäten.

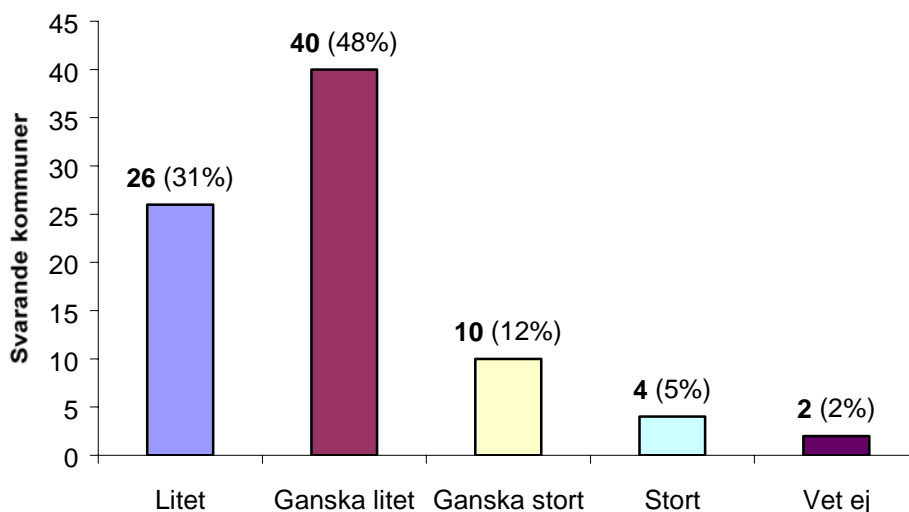
Av de ca 220 kommuner där ansvarig person kontaktades via e-post, inkom svar från 83 kommuner. 83 av totalt 289 kommuner kan anses utgöra en tillräckligt stor andel svar för att kunna utföra statistiska tester. I utvärderingen av svaren används ibland procenttal för att beskriva olika fördelningar, och dessa procenttal kan i många fall vara representativa för alla kommuner i landet. Dock bör det faktum beaktas att de små kommunerna är underrepresenterade i statistiken vilket skulle kunna göra viss statistik något missvisande.

I fråga nr 3 och nr 4 i enkäten efterfrågades de koordinat- och höjdsystem som finns respektive används i kommunen. Svaren var som väntat mycket varierande till sitt innehåll och en mängd olika lokala system anges. I 51 kommuner (61%) anges system med lokala namn. Av dessa används enligt samma källor 48 stycken (58% av samtliga kommuner) i dagsläget. Vidare uppges regionsystem till Rikets Triangelnät finnas i 48 kommuner (58%), 39 (47%) av dem uppges användas idag. Lokala system kan alltså anses vara relativt vanligt förekommande och där de finns används de i stor utsträckning. Rikets Triangelnät RT 90 uppgavs bara finnas i 33 (40%) kommuner. Sättet på vilket frågorna om befintliga koordinatsystem besvarades varierade från kommun till kommun, det kan vara en bidragande orsak till att inte RT 90 nämns i fler kommuner. Endast i 18 (22%) kommuner används RT 90. Eller om man så vill, endast 55 % av de kommuner som har uppgett att RT 90 finns representerat använder detta system idag.

**Fråga 5. Anser Ni att kommunens stamnät är i gott skick med avseende på homogenitet och noggrannhet?**



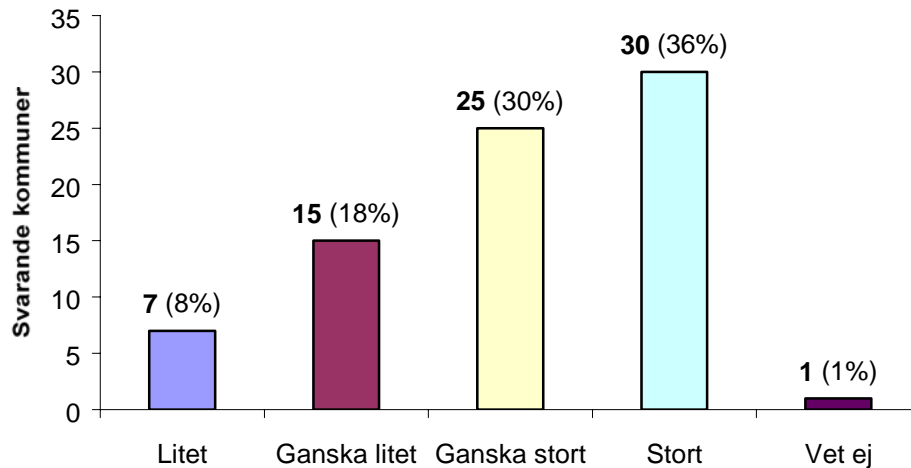
**Fråga 6. Finns behov/efterfrågan på stamnät med bättre homogenitet/noggrannhet än det befintliga?**



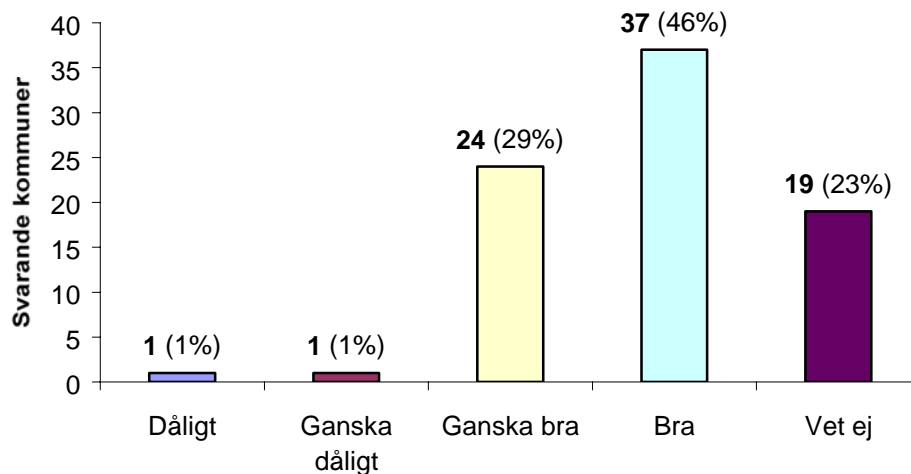
Av svaren på fråga 5 och fråga 6 framgår att de flesta kommuner är nöjda med kvaliteten på de lokala stamnäten. 94% av de tillfrågade ansåg att stamnätet är i bra eller ganska bra skick, 80% ansåg att det finns ett litet eller ganska litet behov av ett stamnät med en bättre kvalitet. Av kommentarerna att döma så varierar stamnätens karaktär mycket mellan olika kommuner. Ofta är det också stora lokala skillnader i utbredning och kvalitet mellan tätort och landsbygd. Några personer uppger att närnoggrannheten är hög medan homogeniteten (i hela nätet) är låg. Det låga intresset för ett bättre stamnät förklaras ofta med att det duger till den traditionella teknik som används idag. En del kommentarer antyder dock att GPS-teknik kommer att ställa större krav på befintliga stamnät. Några ser ett behov av bättre homogenitet i tätorter och vid byggarbetsplatser. Då få har besvarat fråga 5 och

fråga 6 med alternativet ”vet ej” ser de flesta ut att ha en uppfattning situationen, men många har velat kommentera svaren.

### Fråga 7. Finns behov/efterfrågan av att kunna relatera Er lägesbundna information till rikets koordinat- och höjdsystem?



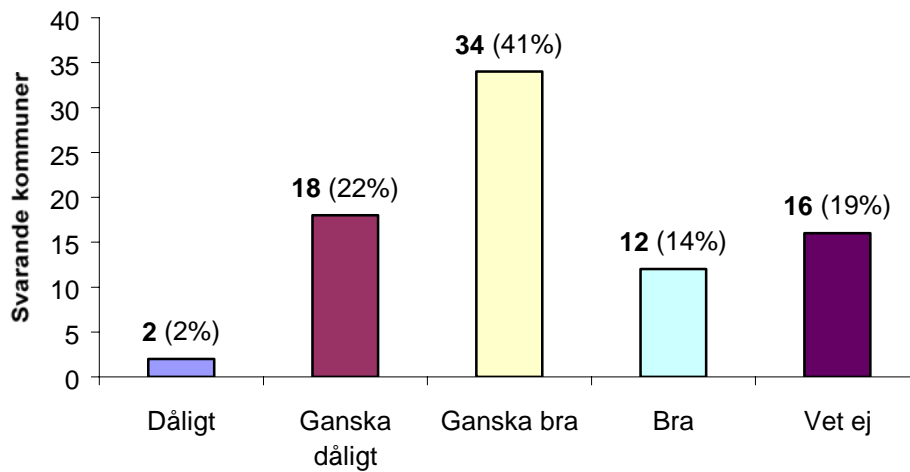
### Fråga 8. Om Ni har erfarenhet av arbete i eller anslutning till riksnäten, hur bedömer Ni dessa näts kvalitet?



Svaren på fråga 7 är spridda men med en tydlig övervikt mot att behovet är stort. Det framgår av kommentarerna att efterfrågan inom kommunen är stor på geografisk information med koordinater i ett regionalt eller nationellt system, i första hand RT 90. Många anser även att nationella system är en viktig förutsättning för kommunens arbete med och införande av GIS.

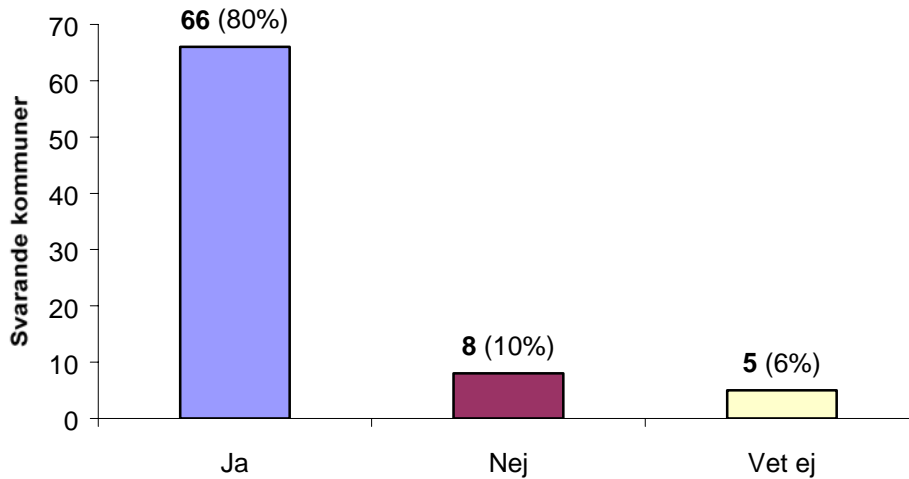


**Fråga 9. Om Ni har erfarenhet av arbete i eller i anslutning till riksnäten, hur bedömer Ni dessa näts tillgänglighet?**

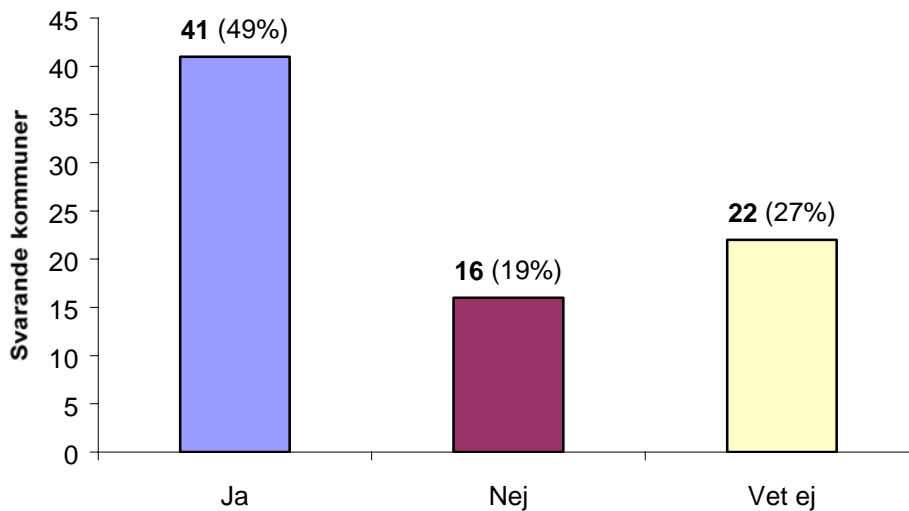


Fråga 8 och fråga 9 berör bedömningen av riksnäten med avseende på kvalitet respektive tillgänglighet. Kvaliteten ansågs över lag som bra eller ganska bra. Tillgängligheten fick ett mera spritt omdöme, men det var fler som ansåg att den var bra än som ansåg den var dålig. Anmärkningsvärt är att det i bägge frågorna är många som visade osäkerhet genom att svara att de inte vet, 23% respektive 19%. Osäkerheten om kvaliteten visade sig också genom att få valde att kommentera svaret, och bland de kommentarer som gjordes uppgavs ofta att man saknade kunskap eller en hänvisning till att en konsult ansvarade för mätningar och beräkningar. Fler valde att kommentera tillgängligheten till punkter med koordinater i riksnäten. Här skiljer sig förutsättningarna markant mellan olika kommuner. Tillgängligheten beror till stor del av om RIX 95-mätningar och beräkningar utförts i kommunen. 95-punkter anses ofta glest placerade och ligga något otillgängligt till, men det uppfattas naturligt då de är anpassade till mätning med satellit teknik. Gamla ”triangel punkter” ansågs i vissa områden ligga otillgängligt till.

**Fråga 10. Har transformationssamband tagits fram mellan lokala system och rikets koordinat- och höjdsystem?**

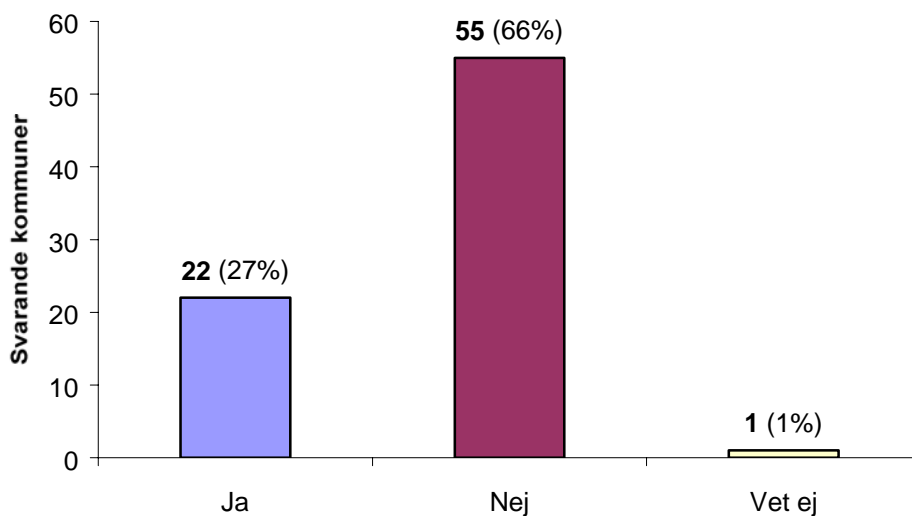


**Fråga 11. Ger dessa transformationssamband en godtagbar noggrannhet över hela kommunen?**

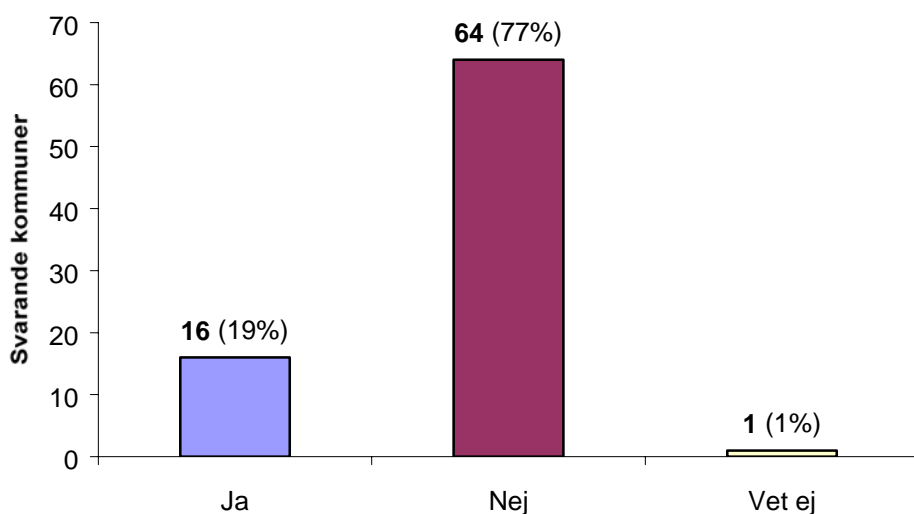


Svaren i fråga 10 visar att det i de allra flesta fall finns ett transformationssamband mellan det lokala systemet och något nationellt system. I vissa kommuner är dock inte sambanden fullständiga, antingen gäller de inte alla system eller så gäller de inte inom hela kommunen. I de fall där samband saknas uppges i en del kommentarer att samband inte behövs eller att samband kommer att beräknas vid kommande RIX 95-beräkningar. Enligt svaren i fråga 11 är 49% av de svarande nöjda med de befintliga transformationssambanden. Nästan lika många, 46%, är dock osäkra eller anser att sambanden har för dålig noggrannhet över kommunen. Av de som svarade ”nej” eller ”vet ej” på fråga 10 har alla utom en svarat ”nej” eller ”vet ej” även på fråga 11.

### Fråga 12. Har ett byte av koordinatsystem nyligen genomförts?



### Fråga 13. Finns planer på att genomföra ett byte av koordinatsystem?

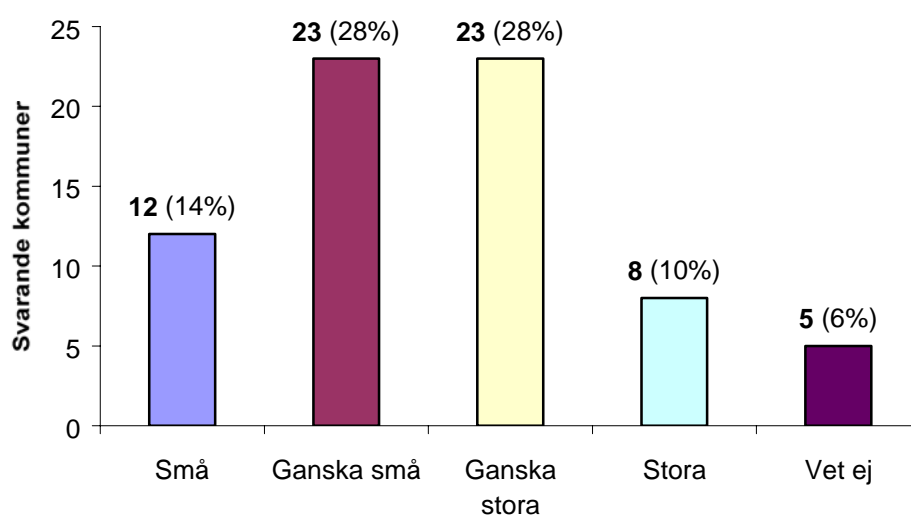


Enligt svaren i fråga 12 har byte av koordinatsystem nyligen genomförts i 22 (27%) av kommunerna och många byten har avslutats i den senare delen av 90-talet. Ofta har det varit frågan om att slå ihop system i mindre områden med tätortens koordinatsystem. Här, liksom i tidigare frågor, förekommer kommentarer om behovet av koordinater i RT 90 eller liknande koordinatsystem vid införande av den kommunala kartan i ett GIS. Ytterligare 16 (19%) kommuner planerar ett framtida byte av koordinatsystem. Några arbetar redan med byten och planerar att genomföra det inom snar framtid, men många ger uttryck för en osäkerhet i fråga om tidpunkt. Kommentarererna ger tillsammans ett

splittrat intryck, exempel på kommentarer är: ”Vi avvaktar RIX 95-mätningar”, ”Behovet att lämna det lokala systemet ökar varje år”, ”På diskussionsstadiet”, ”Ekonomiska resurser saknas”, ”Saknas anledning”.

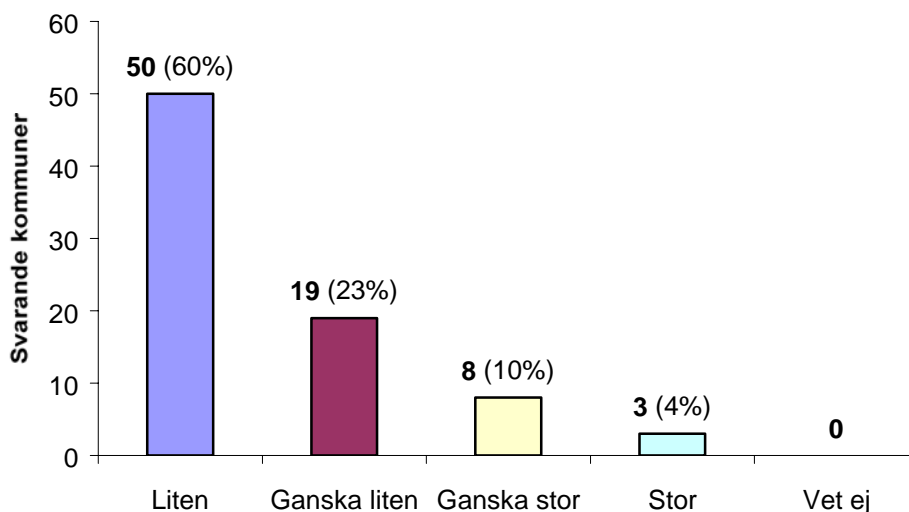
Bland de byten av koordinatsystem som skett eller planeras att ske gäller det i många fall byte från ett lokalt system, alternativt ett regionsystem, till RT 90 eller motsvarande nationellt system. Det förekommer även att bytet sker till ett regionsystem till RT 90, alternativt till ett annat regionsystem, exempelvis ST 90 (Stockholms Trakten). I några fall gäller bytet från ett lokalt system till ett annat lokalt system i syfte att erhålla ett enhetligt system över hela kommunen. Överräkningar såsom byte av medelmeridian och förskjutning av koordinatsystemets origo har också förekommit.

### Fråga 15. Vilka resurser/kunskaper har kommunen för att genomföra ett byte av koordinatsystem?

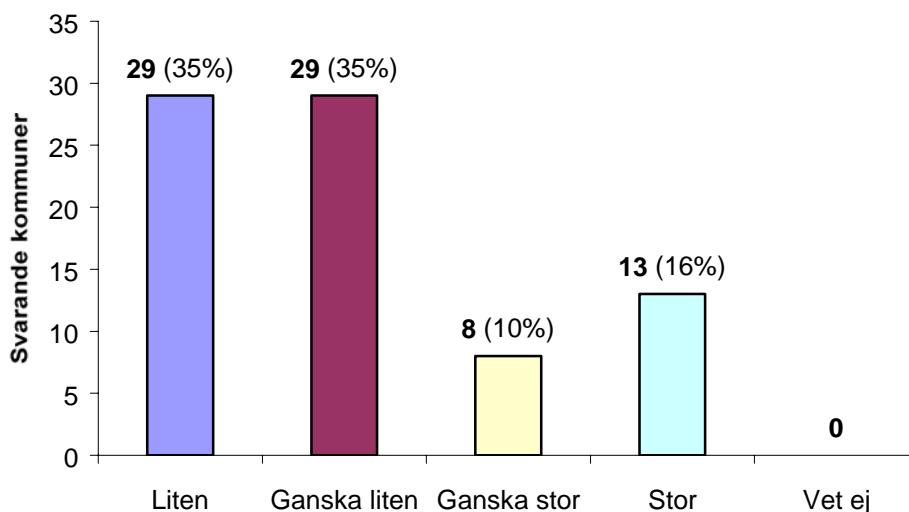


Resurser och kunskap till att genomföra ett byte av koordinatsystem varierar mycket mellan olika kommuner. Svaren var också jämt fördelade över kommuner med olika storlek, det fanns alltså bland svaren inget stöd för att större kommuner skulle ha större kunskap och resurser än mindre kommuner. Det skall dock nämnas att mindre kommuner är något underrepresenterade i statistiken. Det är också så att många mindre kommuner anlitar konsult för hela mätverksamheten och på så vis kan sägas ha kompetens i frågan. Av de kommuner som nyligen genomfört ett byte av koordinatsystem har i många fall externa konsulter använts, exempelvis Lantmäteriverket. Om bara de svar på fråga 10 jämförs som kommer från kommuner där byte av koordinatsystem nyligen skett eller kommer att ske, blir utfallet liknande det i Fråga 10. Med undantaget att andelen ”små” är något mindre i detta urval av kommuner är intrycket att kunskapen om byte av system inte skiljer sig nämnvärt hos detta urval jämfört med hela urvalet.

**Fråga 16. I vilken omfattning sker i kommunen detaljmätning med satellitteknik (GPS)?**

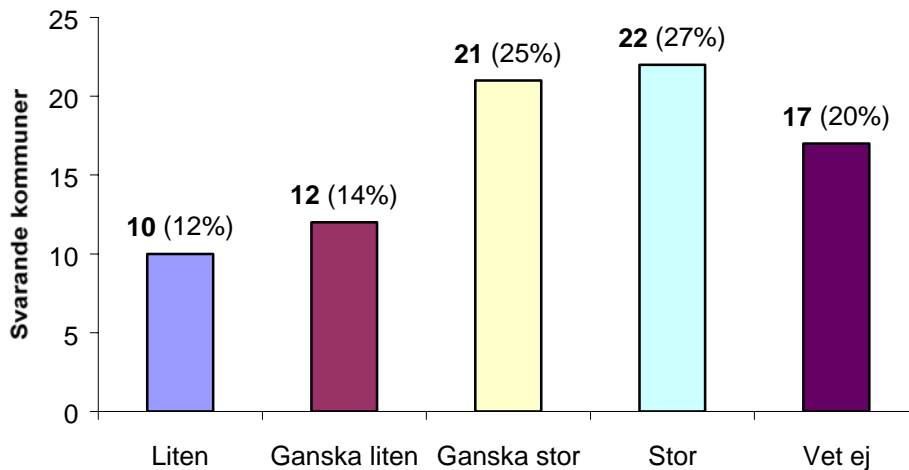


**Fråga 17. I vilken omfattning sker i kommunen stommätning med satellitteknik (GPS)?**



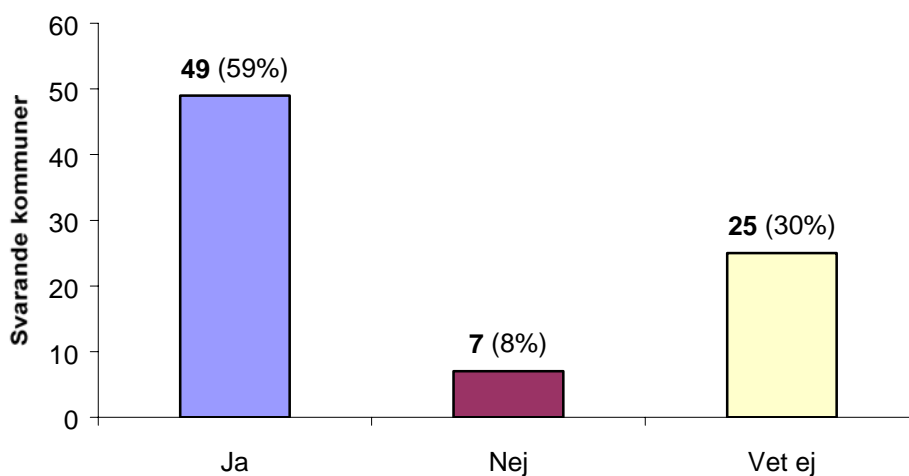
Svaren i fråga 16 och fråga 17 tyder på att satellitteknik, i huvudsak GPS, idag används i mycket begränsad utsträckning i kommunerna. Hela 69 (83%) av de svarande uppger att satellitteknik endast i liten eller ganska liten omfattning används vid detaljmätning. Utnyttjandet av satellitteknik vid stommätning är något mer utbrett, 21 (25%) kommuner svarar att tekniken utnyttjas i stor eller ganska stor utsträckning. Intrycket av kommentarerna är att många kommuner saknar en fungerande verksamhet för mätning med GPS-teknik, men att många kommuner är i arbete med att införa tekniken eller planerar att införa den på sikt. I de kommuner där det idag förekommer någon form av stommätning, exempelvis för upprätning eller byte av koordinatsystem, är satellittekniken dominerande.

**Fråga 18. I vilken omfattning kommer i kommunen satellitteknik att användas inom överskådlig framtid?**



Det är en splittrad bild av hur satellitteknik kommer att användas i kommunerna och i vilken omfattning. Det övervägande antalet tror att tekniken kommer att användas i stor eller ganska stor utsträckning, men meningarna går isär och en stor del (20%) svara att de inte vet. Trots en tro på satellitteknikens ökade betydelse görs en del ifrågasättande i de svarandes kommentarer. Många anser att tekniken är för dyr. Vidare anses dess begränsningar i tätbebyggda områden med skydd mot satelliterna vara ett hinder för utnyttjandet av tekniken. Många förväntar sig också att tekniken framöver blir mer rationell.

**Fråga 19. Är stornätet i tillräckligt gott skick med avseende på homogenitet/noggrannhet för mätning med satellitteknik?**



Fråga 19 är en intressant fråga ur examensarbetets perspektiv. Svaren kan spegla de bedömningar som görs huruvida om stornäten duger för mätning med den numera allt vanligare satellittekniken.

Utslaget är att de flesta, 49 (59%) svarande, anser att homogeniteten och noggrannheten i stornätet är tillräckligt hög. 25 (30%) svarar att de inte vet, medan endast 7 (8%) svarar nej på frågan. Man kan dra slutsatsen att de flesta anser att stornäten duger. Men kommentarerna visar också att det finns en stor osäkerhet i frågan. Ofta antas kvaliteten på stornätet vara godtagbar i ”viktiga” områden i kommunen, exempelvis större tätorter och byggarbetsplatser. Det antas också att kvaliteten kan vara ojämn och att mätpunkter kan behöva väljas med omsorg. Dessutom visar kommentarer som ”Hoppas det!” och ”Har inte kontrollerat” att det finns ett behov av ökad kunskap om det lokala stornätet. Några svaranden berör också problemet att noggrannheten kan vara bra, men att homogeniteten, noggrannheten över större avstånd, är sämre.

Vid sista frågan, fråga 20, fanns möjlighet till ytterligare kommentarer rörande frågorna i formuläret. Det var bara ett fåtal som valde att skriva en kommentar på den här platsen, de flesta hänvisade till kommentarer skrivna i anslutning till respektive fråga. Svaren under fråga 20 innehöll i regel kompletterande information om förhållanden i kommunen och dess arbete med MBK-frågor.

Syftet med enkäten var dels få en överblick av kommunernas koordinatsystem och deras kart- och mätverksamhet, dels att väcka intresse för och öka berörda parter kunskap i frågor som berör kommunernas roll i ett samhälle med ökande krav på kvalitet i geografisk information. Resultatet av undersökningen ger en del intressanta svar som kan komma till användning i olika sammanhang. Det kan också användas som ett inlägg i diskussioner om framtida nationella referenssystem.

## 9 Slutsatser

Här följer några slutsatser som kan dras efter undersökningarna och försöken i examensarbetet:

- Transformation med interpolering av restfel i TRIAD enligt avsnitt 6.2 är ett enkelt sätt att modellera deformationer. Metoden ger intryck av att fungera bra i de fall noggrannheten är stor mellan närliggande passpunkter. I de fall där inpassningsvektorerna skiljer sig mycket ifrån närliggande passpunkters inpassningsvektorer riskerar man att erhålla en sämre modellering.
- Att kombinera transformation med interpolering av restfel i TRIAD med att först skapa en uppsättning fiktiva passpunkter enligt avsnitt 6.3 är ett sätt att minimera risken för en felaktig modellering i de fall där inpassningsvektorerna skiljer sig mycket ifrån närliggande passpunkter.
- Metoder som bygger på interpolering av restfel från passpunkter som bildar trianglar i en triangulering, exempelvis trianguleringen i TRIAD, har den nackdelen att de tre passpunkter som är aktuella för en interpolation av restfel inte säkert är de passpunkter som bäst representerar deformationen i den aktuella kartdetaljen som skall transformeras. Detta blir extra tydligt i randområden eller områden där fördelningen av passpunkter är ojämn.
- De stora skillnaderna mellan förutsättningar i olika kommuner gör att metoder att behandla och mäta deformationer måste anpassas till de unika förutsättningarna som råder i det aktuella området.

Vidare kan några slutsatser dras från utvärderingen av svaren från enkäten. I sin helhet gav enkätsvaren ett fylligt resultat. Den relativt stora svarsfrekvensen gör att utfallet av olika svarsalternativ i frågorna kan bedömas vara ganska säkert. De många kommentarerna till svaren bidrar också till förståelse för varför kommunerna svarat som de gjort i respektive fråga. Många av de svarande har visat stort intresse för enkätundersökningen vilket tyder på att frågorna berör ett område som är aktuellt och viktigt för många kommuner. I ett försök att sammanställa några sammanfattande tendenser från resultatet av undersökningen har följande punkter identifierats:

- Förutsättningar för mät- och kartverksamhet varierar mycket mellan olika kommuner. Kommunstorlek, ekonomi, mätteknisk historik inom kommunen och befintlig kart- och mätverksamhet i närliggande kommuner är några faktorer som är viktiga.
- I kommunerna används ofta olika lokala koordinatsystem, men även regionala och kommunala koordinatsystem förekommer. Ibland används flera olika koordinatsystem. Antalet befintliga lokala koordinatsystem är stort.
- Tillgången till koordinater i regionala eller nationella koordinatsystem anses överlag viktigt för ett ökat utbyte av geografisk information och för införandet av GIS i kommunerna.
- Användningen av satellitteknik i den kommunala mätverksamheten ökar och kommer att bli allt viktigare inom den närmaste framtiden. Många anser också att stornäten idag håller en tillräckligt hög noggrannhet för mätning med satellitteknik. Här går emellertid meningarna isär något, och resultatet av enkäten visar att det ofta finns en osäkerhet om de lokala koordinatsystemens noggrannhet.



## 10 Litteratur

Andersson B, Engberg L, Persson C-G, Sundstrand G, 1986: Plana Stomnät – checklista för planering och genomförande av stommättningsprojekt, LMV-rapport 1986:9. Lantmäteriet, Gävle

Engberg E L, 1994: ST-90 – förbättrat referensnät i Stor-Stockholm, Stor-Stockholms kartgrupp.

Engebretsen S, 1999: Övergång til EUREF89 i Ski kommune. Geodesi- og hydrigrafidagene 1999

Hovberg M, 1997: Studium av norrköpings kommuns projekt för upprättande av transformationssamband med hjälp av GPS-teknik. Institutionen för teknik, Högskolan Gävle-Sandviken, Gävle.

Johansson R, Åsberg E, 1998: Mätning och beräkning av 1:a ordningens polygonnät i Falu tätort. Mät&karta, Falun.

Johnson M, 1994: Regionalt studium av riksnäten med GPS, LMV-rapport 1994:14. Lantmäteriet, Gävle.

Karlsson B, Löfqvist R, 1987: Koordinatsystemsbyte i kommunala nät, LMV-rapport 1987:12. Lantmäteriet, Gävle.

Kvarnström L, 1996: GPS-anslutning av kommunalt stomnät. SKMF, MätKart 96

Lantmäteriet, 1994: RIX 95, en utredning om förtätning av de geodetiska riksnäten och anslutning av lokala stomnät, LMV-rapport 1994:24. Lantmäteriet, Gävle

Norin D, 1999: Undersökning av lokala deformationer i referenssystemet ST 74 i Bromma, reviderad upplaga. Stadsbyggnadskontoret, Stockholm.

Norkart AS: Brukerbeskrivelse V/G-Kart

Reit B-G, 1994: SWEREF 93-ett nytt svenskt referenssystem. Lantmäteriet, Gävle.

Samrådsgruppen för RIX 95: RIX 95 – en nationell satsning

Sjölin J, Norrköpings kommuns GPS-anpassade referensnät i RT 90. SKMF, MätKart 99

## Bilaga 1. Beskrivning av projekt RIX 95

Texten i beskrivningen är baserad på: Andersson B, 1999: RIX 95-projektet. SKMF MätKart 99.

RIX 95 är ett nationellt projekt som syftar till att skapa goda samband mellan lokala (kommunala) och nationella/globala referenssystem, för att underlätta utbyte av geografisk information och rationell användning av GPS-teknik. Intressenterna i projektet är Lantmäteriet, Sjöfartsverket, Vägverket, Banverket, Försvaret, Telia AB samt landets kommuner genom Svenska Kommunförbundet.

I RIX 95 ansluts existerande lokala referenssystem till de nationella referenssystemen SWEREF 93 och RT 90/RH 70. Konkret innebär det att riksnätet i plan förtätas med GPS-teknik, så att vissa ”strategiska” punkter i de lokala stornäten kommer att ingå i det förtätade riksnätet. På så sätt skapas anslutningar till RT 90. Ett urval av riksnätspunkter i höjd (från den pågående riksavvägningen) tas också in i nätet, vilket ger anslutningar till RH 70. Vissa punkter i nätet (s k SWEREF-punkter) bestäms relativt omkringliggande SWEPOS-stationer (SWEPOS är ett nationellt nät av fasta referensstationer för GPS), för att få anslutning till SWEREF 93. Dessutom tillskapas helt nya punkter, där det finns eller förväntas behov. Resultatet blir ett nät där flertalet punkter är lättillgängliga och väl lämpade för GPS-mätning. Nätet utjämnas i SWEREF 93, RT 90 och RH 70. Slutligen beräknas lokala transformationssamband från lokala system till RT 90 och SWEREF 93.

Punktavstånden i det med hjälp av RIX 95 förtätade riksnätet blir mellan ca 5 km och 15 km i hela landet, med det mindre avståndet i tätorter. Dessa punkter ger kommunerna en grund för att utvärdera geometrin i de kommunala näten. Från punkterna kan man sedan gå vidare och bestämma fler punkter i näten och kartlägga deformationerna på den nivå man anser rimlig.

RIX 95-projektet är en ambitiös satsning på att bringa reda i problematiken med olika referenssystem. Det är en nödvändighet om man ska kunna genomföra de idéer som finns om utbyte/samutnyttjande av lägesbundna data, registrering vid källan, etc. Det är också en förutsättning för att man ska kunna tillgodogöra sig de möjligheter som GPS-tekniken öppnar, nu när referensstationsnät och infrastruktur för datadistribution börjar bli verklighet.

## Bilaga 2. Byte av koordinatsystem i Norrköping kommun

Här följer en beskrivning av det arbete i Norrköping kommun som delvis har gjorts i syfte att byta koordinatsystem. Bakgrunden till bytet samt resultatet av arbetet presenteras. Texten är baserad på: Samuelsson B och Sjölin J, 1999: Norrköpings Kommuns GPS-anpassade referensnät i RT 90. SKMF MätKart 99.

### Bakgrund

Inom Norrköpings kommun förekommer två geodetiska referenssystem. Ett lokalt system, Norrköping lokala, och ett regionsystem, RT R07. De två systemen delar upp kommunen i en västra och en östra del. Huvudorten Norrköping tillhör den västra delen, så även de flesta andra tätorter inom kommunen, vilket innebär att 80-90% av stamnäts- och kartinformation finns där.

I början på 90-talet märkte stadsingenjörskontoret en ökad efterfrågan på koordinatinformation i ett gemensamt koordinatsystem, RT 90. Kontoret såg vissa svårigheter att få sälja kartor och mätpunkter om man ej kunde erbjuda köparna data i ett enhetligt system med känd kvalitet.

1995 köptes GPS-utrustning in till kontoret och man insåg snart behovet av ett särskilt nät anpassat för GPS-tekniken. Dessa två problem förenades och sammanfattades i två utvecklingsprojekt under 1996. Projektet fick namnen :

*Utformning av stamnät anpassad för GPS-tekniken*  
*Skapa transformations samband mellan kommunens lokala koordinatsystem och RT 90.*

### Planering

Under våren 1996 utfördes fältrekonosering av kommunens huvudtriangelnät och befintliga riksnätspunkter. I samband med detta planerades och rekognoserades punkter lämpliga för GPS mätning till det nya referensnätet. Projekt växte och kontoret anlätade nu en konsult. Kringliggande kommuner erbjöds också att delta i projektet, men det var ingen kommun som vid detta tillfälle valde att gå med i projektet.

I januari 1997 träffade kommunen representanter för RIX 95 projektet. RIX 95 ansvariga hade då tidigare lagt mätningarna i Norrköping för att samordna kommunens projekt med RIX 95 projektet. Kommunen hade då rekognoserat och markerat färdigt. Man kom överens om att samtliga av kommunen rekognoserade punkter blir RIX 95 punkter, totalt 67 stycken. Kommunen medverkar vid mätningen, utför precisionsavvägning av referenspunkter jämt fördelat över kommunen och upprättar punktskissunderlag.

Kontoret tog beslut om att utöka referensnätet med ytterligare ca 100 punkter för att erhålla ett ännu bättre underlag för kontroll av befintligt stamnät. De adderade punkterna planerades i och kring kommunens tätorter där tätheten av både karta och stamnät är som störst. Dessa ytterligare punkter medför ännu högre kontroll och kvalitet vid upprättandet av transformations samband mellan befintliga koordinatsystem och RT 90. Detta referensnät planerades i samråd med kommunens konsult och mättes i sin helhet av stadsingenjörskontoret, helt oberoende av RIX 95 mätningen.

### Genomförande

Mätning och beräkning av RIX 95 utfördes av Lantmäteriet och kommunen gemensamt, medan det egna GPS-nätet mättes av kommunens mätlag och beräknades med hjälp av konsulten. Baslinjeberäkningen i det egna referensnätet utgick från en punkt känd i SWEREF 93. Tre nät utjämnades åt kommunen, ett kommunnät och stadsnät i SWEREF 93 och ett slutligt referensnät i RT 90/RH 70.

Kommunnätet täcker som det låter hela kommunen, 30 punkter inom Norrköpings tätort är borttagna. Kommunnätet utjämnades med tre SWEREF 93 punkter som fasta i plan. Nätet innehåller 140 punkter och 680 baslinjer (7 baslinjer ströks vid utjämnningen).

Stadsnätet består av 30 punkter och har utjämnats i anslutning mot kommunnätet. Stadsnätet är uppbyggt av 260 baslinjer mellan de 30 punkterna. 4 baslinjer ströks vid utjämnningen.

RT 90/RH 70 utjämnningen beräknades med slutgiltiga RT 90/RH 70 koordinater på RIX 95 punkterna (67 stycken) inom kommunen som fasta i plan och höjd. 940 baslinjer ingick i utjämnningen.

## Utvärdering

Det viktiga i det här arbetet ansågs vara att kommunen övergår till ett kommungemensamt koordinatsystem. Valet av system var alltså mindre viktigt än vetskapen om den kvalitet man har på befintliga referensnät. Av olika orsaker valdes alternativet att övergå till RT 90.

Utvärderingen av Norrköpings lokala koordinatsystem har flera syften. För det första skall kvalitén på stornätet påvisas. Nästa steg är att skapa transformationssamband för överföring av kartdata till RT 90. Slutligen skall ett generellt samband finnas, gemensamt för hela kommunen, mellan Norrköpings lokala och RT 90.

Norrköpings lokala stornät är mindre homogent än RT 90 p.g.a. att olika delar av stornätet är utjämnat i olika omgångar. Den lokala noggrannheten är hög i Norrköpings lokala medan den regionala noggrannheten är lägre. Inpassning av Norrköpings lokala system på SWEREF 93 redovisar felvektorer med liknande riktning som när RT 90 passas in på SWEREF 93, men med större storlek. Detta visar att Norrköpings lokala har ett historiskt samband med riksnätet RT 90.

## Konsekvenser

Koordinatsystemsbytet är vid denna tidpunkt ännu inte genomfört, men en strategi står klar. Vid överföringen av kartdata till RT 90 är det viktigt att befintliga stompunkter och kartdata transformeras med så noggranna parametrar som möjligt. Det sätt man valt för att åstadkomma detta är att dela upp kommunen i mindre områden där varje område erhåller ett eget samband för överföring av kartdata. Vilka dessa mindre områden kommer att bli bestäms framförallt av följande kriterier:

Punkterna inom området skall härstamma från samma utjämnning, d.v.s. inbördes skall inga stora avvikelser förekomma. Detta kriterium är av högsta betydelse om transformationssambandet skall erhålla hög noggrannhet.

Områdets skall väljas så att skarvproblem elimineras/reduceras.

Områdena skall väljas efter hur kommunen praktiskt använder stornät och kartinformation, t.ex. förändringar i Norrköpings tätort diskuteras ofta med de närliggande tätorterna Åby och Jursla som parametrar.

Utöver dessa egna samband i respektive område kan det bli aktuellt att från vissa delar av kommunen göra överföringen med ett för hela kommunen generellt samband. Slutsatsen från utvärderingen är att referensnäten är av sådan kvalitet att en övergång till ett kommungemensamt referenssystem är möjlig. Sambanden för överföring av kartdata kommer att fastställas med hjälp av lokala inpassningar i planet. För att åstadkomma en modellering av deformationerna i det lokala stornätet, och därmed ett bättre samband, delas kommunen in i mindre områden med olika samband. Inom varje område sker sedan transformation av samtliga kartdata med samma uppsättning parametrar.

## Bilaga 3. Byte av koordinatsystem i Helsingborgs kommun

Här följer en beskrivning av arbetet att byta koordinatsystem i Helsingborgs kommun. Materialet är hämtat från ett arbetsdokument skrivet av Lars Kvarnström, Helsingborgs kommun.

### Bakgrund

I Helsingborgs kommun pågår ett arbete att utvärdera det lokala stornätet samt att finna en lämplig metod att föra över kartdata från Helsingborgs lokala koordinatsystem till ett koordinatsystem med en deformationsfri geometri. I samband med Helsingborgs senaste triangelnätsutvidgning vid kommunsammanslagningen 1970 skapades ett bra samband till rikets koordinatsystem. Inpassningen på rikets koordinatsystem RT R01 5 gon V gjordes på 13 punkter i riksnätet och gav ett medelfel i inpassningen på 44 mm, vilket måste anses vara ett bra resultat. Men den nya satellittekniken ställer högre krav på geometri och homogenitet.

Det traditionellt mätta stornätet håller hög noggrannhet relativt närbelägna punkter, men om man ser regionalt eller globalt så är kvaliteten inte godtagbar. Eftersom alla objekt i den digitala kartan är bestämda i förhållande till de närmast belägna stompunkterna kommer alla objekt i kartan och alla fastighetsgränser att uppvisa samma ”fel” i förhållande till den korrekta geometrin i ett globalt referenssystem. ”Felen” blir upp emot 20 cm i extremfallen. När det gäller koordinatredovisade gränspunkter är detta alldeles för mycket. Slutsatsen blir att de kommunala referenssystemet måste korrigeras för de inbyggda deformationerna innan man kan gå över till att använda GPS fullt ut.

### Skan 95

Kommunerna i västra Skåne och Halland kom i mitten av 1990 talet att gemensamt mäta ett geodetiskt referensnät med GPS som numera omfattar över 6000 baslinjer. Nätet är anslutet till ett relativt stort antal SWEREF93 punkter med Onsala i norr och Smygehuk i söder. SWEPOS-punkten i Hässleholm är begränsningen i öster och dessutom ingår punkter på andra sidan Öresund bl. a en dansk huvudpunkt i Köpenhamn som heter Buddinge. Nätet har hög en punkttäthet – ca 1,5 km mellan punkterna när det är som tätast.

Referensnätet håller en extremt hög intern noggrannhet vilket bl. a demonstreras av att motsägelserna vid inpassningen mot de inom området befintliga SWEREF-punkterna på samtliga inpassningspunkter är mindre än 15 mm. I Helsingborg finns 130 punkter som ingår i Skan 95. Dessa punkter håller en så hög intern noggrannhet att man i jämförelse med Helsingborgs gamla stornät kan betrakta nätet som i stort sett felritt.

### Överföringsmetod

Med hjälp av Skan 95 finns bra förutsättningar för att skapa ett samband mellan det lokala systemet och ett nationellt eller globalt system. Den metod man valt att använda bygger på modellering av deformationer med hjälp av restfelsinterpolering utifrån passpunkternas restfel. I detta syfte har omfattande tester med transformationsprogrammet GTRANS och dess programmodul TRIAD genomförts. Metoden anses ge ett bra resultat, mycket beroende på att korrelationen är relativt stor mellan närliggande passpunkter. En stor fördel med metoden är att man inte behöver göra någon indelning i olika transformationsområden med olika samband. Transformationen kan också enkelt utföras i båda riktningarna.

Bytet av koordinaterna i ett lokalt stornät för övergång till ett GPS-baserat koordinatsystem genomförs på följande sätt:

- Uppbyggnad av ett GPS-mätt stornät med en punkttäthet av 1 till 2 km mellan punkterna, som måste utgöra ett representativt urval av de befintliga stornätens punkter i det traditionella stornätet.
- Etablering av en Triangelmodell (eller motsvarande)
- Transformation av hela koordinatbanken och samtliga digitala kartdata med hjälp av triangelmodellen till ett valt koordinatsystem. Systemet måste inte nödvändigtvis vara RT 90, men måste ha ett väl fungerande samband till RT 90. En möjlighet är att använda någon lämplig kartprojektion av SWEREF 93.

## Bilaga 4. Byte av koordinatsystem i Falu kommun

Här följer en beskrivning av arbetet att byta koordinatsystem i Falu kommun. Materialet är hämtat från ett arbetsdokument skrivet av Rune Johansson och Erik Åsberg, Falu kommun.

### Bakgrund

I Falu kommun har man sedan 1981 arbetat efter ett program att få ett enhetligt koordinatsystem i hela kommunen, RT R10 2,5 gon V och RH70. Man har börjat med de mindre tätorterna utanför centralorten där det oftast fanns lokala koordinatsystem med en mer eller mindre dåligt ajourförd primärkarta. Runt varje tätort anlades ett nytt triangelnät. Sedan 1989 har man använt sig av GPS-teknik för att ansluta nätet till RT R10 2,5 gon V. Därefter nymättes och beräknades ett nytt anslutningsnät, där man försökte använda befintliga punkter. Sedan räknades det äldre stornätet om med viss nymätning och äldre mätvärden. Därefter gjordes en flygfotografering och en ny primärkarta togs fram. Ett nytt höjdsystem nymättes också i RH70. Detta gäller de 10 största tätorterna med undantag av Falu centralort.

### Genomförande i tätorten

I Falu tätort finns det ett lokalt koordinatsystem i plan som ligger väldigt nära RT38 och ett lokalt i höjd som ligger mellan RH00 och RH70. Grunden till det lokala systemet är ett triangel- och polygonnät mätt och beräknat av KTH 1939 (gamla Falu stad). 1958 mätte Lantmäteriet ett utökat triangelnät (Främby-Gruvriset) söder ut. Där efter mättes ett polygonnät som anslöts till Falu stads triangelpunkter men inte med 1939 års polygontåg. 1968 mätte en konsult ett utökat triangelnät och ett "1:a ordningens" nät som till sin utbredning sammanfaller med de tidigare näten men inte är ihop mätta. Detta har skapat stora problem genom åren. Man har räknat om vissa polygontåg för att få bättre samstämmighet lokalt. Polygonnätet har sedan 1939 utökats och punkter ersatts vilket ytterligare försämrat polygonnätet.

1986 mätte Lantmäteriverket ett nytt 3:e ordningens triangelnät i Falu tätort. I samband med detta gjordes en undersökning av Falu kommuns lokala nät mot RT R10 2,5 gon V, med 44 st triangelpunkter. Efter utgallring av vissa punkter (10 st) som fick relativt stora passfel (0,032- 0,309 m) gjordes en Helmertransformering där passfelen var relativt små, grundmedelfel 0,008 m. Eftersom vissa kommunala triangelpunkter hade stora passfel och stora spänningar i polygonnätet beslutades att det inte skulle gå att få en godtagbar noggrannhet med att transformera Falu kommuns lokala koordinatsystem till RT R10 2,5 gon V.

1986 påbörjades mätningar av ett nytt anslutningsnät i Falu tätort. Man försökte använda så många som möjligt av de befintliga polygonpunkterna. Mätningarna utfördes som traditionell polygonmätning med viss komplettering av statisk GPS-mätning. Anslutningsnätet består av 480 stycken punkter (24 st triangel, 12 st GPS-mätta, 154 st nya och 290 st befintliga punkter) 1998 var anslutningsnätet utjämnat och klart.

### Överföringsmetod

I Falu kommun fanns tanken på en skarvfri transformering för att föra över kartdata och fastighetsdata i hela tätorten. Detta genom att använda GTRANS med restfelsinterpolering och använda triangel-, anslutningsnätets- och GPS-mätta punkter, med koordinater i de bägge systemen, som passpunkter. Man anser dock att variationen i passpunkters restfel, både i riktning och storlek, får för stor lokal påverkan på de punkter som ska transformeras, och man avser nu att genomföra transformationen med en annan metod. Den aktuella metoden är den med fiktiva punkter i ett rutnät som presenteras i avsnitt 4.2 och ges en utförligare beskrivning i avsnitt 6.3. Avståndet mellan fiktiva punkter i rutnätet är valt till 1 km och området där varje fiktiv passpunkt skapas med en unik transformering är kvadratisk med en sidlängd på 2 km.

## Bilaga 5. Beskrivning av beräkningsprogrammet GTRANS och programmodulen TRIAD

Denna bilaga syftar till att ge kännedom hur inpassningar och interpolering av restfel kan utföras i beräkningsprogrammet GTRANS. Programmet är utvecklat vid Lantmäteriet och texten i denna bilaga är till stor del hämtad från programmets hjälpaavsnitt. För ytterligare information om programvaran hänvisas läsaren till programmets hjälpaavsnitt, eller Hans Granegård, Lf-geodesi, Lantmäteriet, Gävle. Programmet finns i flera versioner. Den version som använts i examensarbetet är version 3.10, utkommen 1999-03-19.

GTRANS är ett program med funktioner för att lagra uppgifter om koordinatsystem och koordinattransformationer av alla slag som förekommer inom geodesi och kartografi. De vanligast förekommande transformationerna är:

*Empiriska (skapade genom inpassningar):*

Helmertransform (plan; 4 parametrar)  
Konforma och allmänna polynom (plan)  
Helmertransform (3D; 7 parameter)

*Definitionsmässiga:*

Kart-projektioner inklusive översräkningar mellan olika medelmeridianer  
Övergång mellan geocentriska koordinater och geografiska (lat, long)

GPASS är en programmodul för beräkning av parametrar för koordinattransformation i planet genom inpassning mellan två plana koordinatsystem. Restfel och grundmedelfel beräknas. Även inpassning i höjd kan utföras i samma beräkning.

*Beräkningsalternativ PLAN:*

KDIFF	koordinatdifferenser direkt
TRANSLATION	2 obekanta (x & y-translation)
UNITÄR	3 obekanta (x & y-trans, vridning)
HELMERT	4 obekanta (x & y-trans, vridn, skala)
AFFIN	6 obekanta (x & y-trans, vridn, x-skala, y-skala, affinitet)
KONFORM	konforma polynom av gradtal 1 - 21
POLYNOM	allmänna polynom av gradtal 1 - 8

*Beräkningsalternativ HÖJD:*

HDIFF	höjddifferenser
TRANSLATION	1 obekant (höjdtranslation)
LUTANDE_PLAN	3 obekanta (lutande plan)
POLYNOM	allmänt polynom

Då en inpassning utförs skapas en transformationsfil, TF-fil, som används när data skall transformeras. Om residualerna från inpassningen sparats kan TF-filen användas som indata till triangulation i programmodulen TRIAD.

I TRIAD kan en triangulation skapas över passpunkterna i en inpassning, och restfelen i punkterna interpoleras för att få bättre lokal anpassning och entydighet i de transformerade passpunkternas koordinater. Indata till TRIAD är passpunkternas koordinater plus restvektorer i punkterna.



Interpoleringen utförs i trianglar, baserade på passpunkterna. En så kallad Delaunay- eller "optimalt likvinklig" triangulation anses bäst lämpad för interpolering. Den bildas inom det konvexa höljet för alla passpunkter, som en heltäckande, icke-överlappande triangulation. Ett problem är att det ofta bildas "platta" trianglar i närheten av randen till konvexa höljet. Dessa är olämpliga för interpolering. För punkter utanför konvexa höljet måste extrapolering utföras. För att minska dessa problem bör man ha passpunkter med som ligger något utanför tillämpningsområdet.

Interpoleringen utförs linjärt i trianglarna, så att man i passpunkterna får de exakta tillskotten medan man i punkter mellan passpunkterna erhåller kontinuerligt interpolerade tillskott. Tillskotten är uppdelade i x-led respektive y-led, och interpoleras var för sig. Interpolation av respektive tillskott kan liknas vid beräkning av z-värde i en punkt på en plan yta. De tre passpunkterna definierar ytan. De plana koordinaterna är givna och tillskottet (i exempelvis x-led) representerar z-värdet. Genom planets ekvation kan sedan ett z-värde erhållas för en godtycklig punkt på ytan med givna plana koordinater. Det beräknade z-värdet motsvarar då tillskottet (i det här fallet i x-led) i den aktuella punkten. När tillskott i x- och y-led är beräknade var för sig kan ett radiellt tillskott beräknas.

Om en ny punkt ligger utanför det konvexa höljet, måste extrapolering göras. Den sker också linjärt, mellan de två närmaste randpunkterna. Interpoleringen beräknas med avseende på den punkt på linjen mellan randpunkterna där en tänkt linje ut till den nya punkten skär randpunkternas linje vinkelrätt. Den nya punktens avstånd från randpunkternas linje har alltså ingen betydelse för beräkningen av de interpolerade tillskotten i x- och y-led.

## **Bilaga 6. Beskrivning av beräkningsprogrammet som skapats för metoden med fiktiva passpunkter i ett rutnät.**

Här följer en beskrivning av det program som skapats och använts till beräkningar när transformation skall göras med den i avsnitt 6.3 beskrivna metoden där fiktiva passpunkter i ett rutnät trianguleras i GTRANS. Det skapade beräkningsprogrammet används i steget före trianguleringen. Det används till att beräkna de fiktiva passpunkternas koordinater. Programmet är skrivet i programspråket FORTRAN och beskrivningen av dess funktion följer den ordning programmet arbetar i.

Ett rutnät av fiktiva punkter bestäms i det koordinatsystem som det aktuella områdets kartdetaljer skall föras över till, här kallat tillsystemet. Dessa koordinater kan exempelvis enkelt erhållas genom att ett rutnät av punkter skapas i GTRANS. Vitsen med beräkningsprogrammet är att genom Helmerttransformationer från olika inpassningar av befintliga passpunkter beräkna koordinater för de fiktiva passpunkterna i frånsystemet.

Vid körning av programmet behövs således tre olika koordinatfiler med till- och frånkoordinater för de ursprungliga passpunkterna samt tillkoordinater för de fiktiva passpunkterna. Filerna skall vara av typen K-fil, Lantmäteriets standardformat för koordinatfiler. Dessa filer anges vid körning av programmet.

Efter att koordinatfilerna är inlästa kontrolleras att passpunkterna är lika många i bägge filerna och att de har gemensamma punktidentiteter. Nästa steg är att ange storleken på området runt varje fiktiv punkt där passpunkter skall sökas för inpassning. När det är givet startar programmet en slinga där varje fiktiv punkt knyts till en uppsättning passpunkter. Med dessa passpunkter utförs så en Helmertinpassning och ett samband mellan koordinatsystemen skapas, ett samband för varje fiktiv punkt. Slutligen transformeras de fiktiva punkterna och en uppsättning fiktiva punkter i frånsystemet skapas i en K-fil. Denna K-fil kan sedan användas tillsammans med motsvarande K-fil innehållande fiktiva punkternas koordinater i tillsystemet för beräkningar i GTRANS, då filerna representerar nya passpunkter för Helmertinpassning och triangulering.

Utöver koordinatfilen skapas även vid körning en fil med statistisk information från de olika inpassningarna som ligger till grund för respektive fiktiv punkts frånkoordinater. För varje transformerad fiktiv punkt anges antal passpunkter vid inpassning, den rotation och skalförändring som sker vid aktuell transformation samt inpassningens grundmedelfel. Det totala antalet transformerade fiktiva punkter anges också. Detta antal kan mycket väl vara färre än det givna antalet fiktiva punkter med tillkoordinater, eftersom samband inte kan skapas för fiktiva punkter i de områden där det saknas passpunkter.

## Bilaga 7. Enkät riktad till mät- och kartansvariga personer i Sveriges kommuner.

Här presenteras de frågor enkäten bestod av. Frågorna var utlagda på en webbsida och besvarades i huvudsak genom att kryssa för lämpliga svarsalternativ och kommentera dessa. Även frågor utan färdiga alternativ förekom. En sammanställning och utvärdering av svaren finns i avsnitt 8.

### Enkätfrågor:

---

1. Kommun:
2. Stomnät/koordinatsystemansvarig, kontaktperson
3. Vilket/vilka koordinat- och höjdsystem **finns** i kommunen?
4. Vilket/vilka koordinat- och höjdsystem **används** i kommunen?
5. Anser Ni att kommunens stomnät är i gott skick med avseende på homogenitet och noggrannhet?  
Dåligt      Ganska dåligt      Ganska bra      Bra      Vet ej
6. Finns behov/efterfrågan på stomnät med bättre homogenitet/noggrannhet än det befintliga?  
Litet      Ganska litet      Ganska stort      Stort      Vet ej
7. Finns behov/efterfrågan av att kunna relatera Er lägesbundna information till rikets koordinat- och höjdsystem?  
Litet      Ganska litet      Ganska stort      Stort      Vet ej
8. Om Ni har erfarenhet av arbete i eller anslutning till riksnäten, hur bedömer Ni dessa näts **kvalitet**?  
Dåligt      Ganska dåligt      Ganska bra      Bra      Vet ej
9. Om Ni har erfarenhet av arbete i eller anslutning till riksnäten, hur bedömer Ni dessa näts **tillgänglighet**?  
Dåligt      Ganska dåligt      Ganska bra      Bra      Vet ej
10. Har transformationssamband tagits fram mellan lokala system och rikets koordinat- och höjdsystem?  
Ja      Nej      Vet ej
11. Ger dessa transformationssamband en godtagbar noggrannhet över hela kommunen?  
Ja      Nej      Vet ej
12. Har ett byte av koordinatsystem nyligen genomförts?  
Ja, år:      Nej      Vet ej
13. Finns planer på att genomföra ett byte av koordinatsystem?  
Ja, år:      Nej      Vet ej
14. Om byte av koordinatsystem har genomförts eller kommer att genomföras, vilka är då de gamla och nya systemen?  
Gamla systemet:      Nya systemet:
15. Vilka resurser/kunskaper har kommunen för att genomföra ett byte av koordinatsystem?  
Små      Ganska små      Ganska stora      Stora      Vet ej

16. I vilken omfattning sker i kommunen **detalj**mätning med satellitteknik (GPS)?

Liten      Ganska liten      Ganska stor      Stor      Vet ej

17. I vilken omfattning sker i kommunen **stom**mätning med satellitteknik (GPS)?

Liten      Ganska liten      Ganska stor      Stor      Vet ej

18. I vilken omfattning kommer i kommunen satellitteknik att användas inom överskådlig framtid?

Liten      Ganska liten      Ganska stor      Stor      Vet ej

19. Är stomnätet i tillräckligt gott skick med avseende på homogenitet/noggrannhet för mätning med satellitteknik?

Ja      Nej      Vet ej

20. Här finns utrymme för ytterligare kommentarer och synpunkter på enkätens frågor och svar.

## Rapporter i geodesi och geografiska informationssystem från Lantmäteriverket

- 1997:16 Jonsson B: Geodetic applications of GPS
- 1997:17 Andersson U, Eriksson U: Kompatibilitet för olika GPS-utrustningar vid RTK-mätning mot SWEPOS
- 1997:18 Engfeldt A: Accuracy Studies of RTK Surveying at Long Distances
- 1997:19 Ohlsson L: Different Methods and Equipment for Determination of New Points Relative to the SWEPOS Stations - A Comparative Study
- 1998:2 Gustafsson L-E, Boresjö Bronge L, Näslund-Landenmark B och Ammenberg P: Vegetationsdata - Satellitdata.
- 1998:3 Lidberg M: Litteraturstudie om RTK-tekniken, ett samarbetsprojekt mellan Banverket, Lantmäteriverket och Vägverket.
- 1998:4 Ekman M: Jordellipsoider, geoider, koordinatsystem, höjdsystem och tyngdkraftssystem i Sverige genom tiderna
- 1998:5 Jansson Roland: Utstakning av fastighetsgräns i skogsmark med hjälp av GPS hos Lantmäterimyndigheten i Norrbottens län..
- 1999:2 Anderasson Thor-Björn Engman Linda: Multipath at the SWEPOS stations  
Evaluation of eccosorb, a microwave absorbing material
- 1999:3 Lilje Mikael: Geodesy and Surveying in the future
- 1999:4 Jonsson, Bo: Civil Service Interface Committee International Information  
Subcommittee 7 th European Meeting
- 1999:12 Jonsson. Bo: Proceedeings of the 13<sup>th</sup> general meeting of the nordic geodetic  
commission.
- 2000:02 Engfeldt Andreas, Jivall Lotti: Kort introduktion till GNSS
- 2000:03 Christina Kempe: Metodstudie för inmätning av skogsbilvägar.