

**Rapportserie: Geodesi och Geografiska informationssystem**

# **Transformations samband mellan SWEREF 99 och RT 90/RH 70**

Lotti Jivall, Martin Lidberg, Mikael Lilje, Bo-Gunnar Reit

Gävle 2001

L A N T M Ä T E R I E T





Copyright ©

2001-04-26

Författare Lotti Jivall, Martin Lidberg, Mikael Lilje, Bo-Gunnar Reit

Typografi och layout Rainer Hertel

Totalt antal sidor 32

LMV-rapport 2001:7 – ISSN 280-5731

**Transformations samband  
mellan  
SWEREF 99  
och  
RT 90/RH 70**

Lotti Jivall, Martin Lidberg, Mikael Lilje, Bo-Gunnar Reit





# Transformations samband mellan SWEREF 99 och RT 90/RH 70

<b>1</b>	<b>Inledning</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Varför SWEREF 99?</b>	<b>2</b>
2.1	ETRS 89 och andra globalt anpassade referenssystem	2
2.2	SWEREF 99	3
<b>3</b>	<b>Bytet från SWEREF 93 till SWEREF 99</b>	<b>5</b>
3.1	Vad innebär bytet?	5
3.2	Vilka berörs av bytet?	5
<b>4</b>	<b>Transformation av den horisontella positionen mellan SWEREF 99 och RT 90.</b>	<b>6</b>
4.1	Formler och parametrar	6
4.2	Noggrannhet och beräkningskonsistens.	8
4.2.1	Noggrannhet	8
4.2.2	Beräkningskonsistens	9
4.3	När och hur skall sambandet användas?	9
<b>5</b>	<b>Transformation mellan höjd över ellipsoiden i SWEREF 99 och "höjd över havet" i RH 70</b>	<b>11</b>
5.1	SWEN 01L och andra geoidmodeller	11
5.2	Hur får jag min höjd över havet då jag har gjort min GPS-mätning?	13
5.3	Hur får jag höjden över ellipsoiden (h) då jag har en höjd över havet (H)?	13

<b>6</b>	<b>Slutkommentar</b>	<b>14</b>
<b>7</b>	<b>Referenser</b>	<b>15</b>
	<b>Bilaga 1: Förkortningar</b>	<b>16</b>
	<b>Bilaga 2: SWEREF 93 minus SWEREF 99</b>	<b>18</b>
	<b>Bilaga 3: Differenser mellan grannländers ETRS 89- realiseringar och SWEREF 99.</b>	<b>19</b>
	<b>Bilaga 4: Avvikelser mellan officiella och transformerade RT 90-koordinater</b>	<b>21</b>
	<b>Bilaga 5: Avvikelser mellan avvägda höjder och GPS- mätta höjder korrigerade med SWEN 01L</b>	<b>22</b>
	<b>Bilaga 6: Transformationsscheman</b>	<b>23</b>

# 1 Inledning

För att få ett standardiserat referenssystem för lägesbunden information och för att möta kraven från ny teknik på ett homogent referenssystem med hög noggrannhet över långa avstånd, har beslut tagits att införa SWEREF 99 som nationellt referenssystem. SWEREF 99 är en realisering av det europeiska referenssystemet ETRS 89 (EUREF 89).

I ett första steg kommer SWEREF 93 att bytas ut mot SWEREF 99. Den långsiktiga målsättningen är dock att ersätta även det nationella horisontella referenssystemet RT 90 och kommunala horisontella referenssystem med SWEREF 99.

Lördagen den 26 maj 2001 kommer koordinaterna för SWEPOS-stationerna att bytas från SWEREF 93 till SWEREF 99. Synkroniserat med detta kommer även sambandet till RT 90 respektive RH 70 att förnyas.

Denna skrift behandlar framförallt det nationella transformations-sambandet mellan SWEREF 99 och RT 90 respektive mellan SWEREF 99 och RH 70. Transformations-sambandet är uppdelat i en horisontell del och en vertikal del. Transformationsmodellen för sambandet till RT 90 är en tredimensionell likformighetstransformation och till RH 70 är det en geoidhöjdsmodell. Sambanden redovisas i detalj i avsnitt 4 och 5.

Det nya referenssystemet SWEREF 99 presenteras också, liksom differenser mellan detta och SWEREF 93 samt differenser mot våra grannländers nationella realiseringar av ETRS 89.

Vidare behandlas bytet från SWEREF 93 till SWEREF 99.

Förkortningar finns förklarade i bilaga 1.

## 2 Varför SWEREF 99?

### 2.1 ETRS 89 och andra globalt anpassade referenssystem

När ett nytt nationellt enhetligt referenssystem skall införas är det naturligt att välja ett globalt anpassat referenssystem. Helst skall det vara samma system som används i grannländer och i internationella sammanhang. Det finns ett antal sådana att välja mellan; ITRS (som realiseras av diverse ITRF-lösningar), WGS 84 (vilket uppdateras efter hand) och ETRS 89 (som realiseras av diverse ETRF-lösningar samt diverse nationella varianter). På nivån någon meter kan man säga att alla dessa referenssystem sammanfaller. WGS 84 känns säkert som ett naturligt val för många GPS-användare. Detta system finns dock endast realiserat med hög noggrannhet på ett fåtal punkter i världen, och dessutom ändras det ibland.

Referenssystemet skall fungera även för noggrann positionsangivelse och dessutom finns krav på att det skall vara stabilt i tiden, d.v.s. punkter som inte rör sig (i förhållande till sin omgivning) skall behålla samma koordinater över tiden. Dessa båda krav är tyvärr oförenliga på global nivå eftersom kontinenterna rör sig i förhållande till varandra, den s.k. kontinentaldriften. Sverige, som ligger på den Eurasiska kontinentalplattan, rör sig drygt 2 cm i ostnordostlig riktning per år. Dessutom har vi, till följd av senaste istiden, en deformation inom landet som ger upphov till landhöjning och en därmed förknippad landtöjning. För realiseringarna av de globala referenssystemen anges därför den epok för vilken de gäller. Exempel: aktuell ITRS-realiserings (för t.ex. IGS-banddata) när denna rapport skrivs är ITRF 97 epok 2001.3.

I Europa har man valt att stanna i epok 1989.0 för att få ett stabilt referenssystem, d.v.s. referenssystemet följer med den eurasiska kontinentalplattan. När nya koordinater bestäms i ETRS 89 räknas dessa därför tillbaka till epok 1989.0, d.v.s. den eurasiska plattans läge den 1 januari 1989. Den första realiseringen av ETRS 89 var resultatet av EUREF 89-kampanjen som var en stor GPS-kampanj med mätningar i hela Västeuropa, där Sverige deltog med fyra stationer. Därefter har ett antal stora kampanjer genomförts för att utvidga systemet. Dessutom har på senare tid många nationella kampanjer genomförts, som resulterat i nationella realiseringar av ETRS 89.

SWEREF 93, som är det referenssystem som idag används för GPS-mätning i Sverige, är en tidig realisering av ETRS 89 (EUREF 89), gjord innan det fanns riktlinjer framtagna för hur en sådan realisering skall genomföras. SWEREF 93 är direkt inpassat till resultatet från EUREF 89-kampanjen.

På förfrågan av EU-kommissionen, har en arbetsgrupp, organiserad av det europeiska samarbetsorganet MEGRIN<sup>1</sup>, rekommenderat EU-kommissionen att anta ETRS 89 som standard för lägesbunden information. Vidare uppmanas alla medlemsländer till ökad nationell användning av ETRS 89. I sammanhanget kan nämnas att våra grannländer Danmark, Norge och Finland håller på att gå över till ETRS 89 som nationellt system.

## 2.2 SWEREF 99

SWEREF 99 är en realisering av ETRS 89, genomförd enligt nu gällande riktlinjer. SWEREF 99 antogs som officiell realisering av ETRS 89 vid EUREF-mötet i Tromsø sommaren 2000 (<http://www.euref-iag.org/>).

SWEREF 99 realiseras av de 21 ursprungliga SWEPOS-stationerna (inklusive Borås), d.v.s. de stationer som är stabilt markerade på fast berggrund. Som grund för referenssystemet har data från alla nationella permanenta referensstationer i Sverige (SWEPOS), Norge (SATREF), Finland (FINNREF) och i Danmark som var igång sommaren 1999 använts - se figur 1. Från SWEPOS användes data för de 6 GPS-veckorna 1014-1019 (13 juni 1999 - 24 juli 1999). Från övriga länder användes endast 2-3 veckors data (GPS-vecka 1014, 1015 och 1019).

Lösningen beräknades i ITRF 97 epok 1999.5 och har därefter räknats tillbaka till ETRS 89 enligt de riktlinjer som EUREF föreskriver. I ett sista steg i tillbakaräkningen till epok 1989 skall korrektioner påföras för rörelser inom den europeiska plattan. Det är dock brukligt att hoppa över detta steg, vilket har gjorts även i detta fall. Det innebär att den interna geometrin i SWEREF 99 relaterar till epok 1999.5 och den externa geometrin (i förhållande till resten av världen) relaterar till epok 1989.0.

Anledningen till att ingen hänsyn tagits till de interna rörelserna inom den europeiska plattan är dels att vi idag saknar tillräckligt bra modeller för rörelserna och inte minst metoder för att hantera dessa modeller, dels att vi vill kunna använda referenssystemet den närmaste tiden utan att behöva korrigera för dessa rörelser. På sikt kommer tillämpningar med höga noggrannhetskrav att behöva hantera dessa rörelser.

---

<sup>1</sup> Ingår numer i EuroGeographics tillsammans med CERCO.



Figur 1: Permanenta stationer i SWEREF 99-lösningen.

SWEREF 99 kan betraktas som en uppdatering av SWEREF 93. Båda referenssystemen är realiseringar av ETRS 89. Skillnaden mellan systemen är en förskjutning i öst-västlig riktning på dryga 5 cm och i nord-sydlig på knappt 1 cm- se bilaga 2.

Eftersom stationer i våra grannländer ingått i SWEREF 99-lösningen är det möjligt att jämföra vår ETRS 89-realisering med våra grannländers. Här bör man notera att det endast är Finland som i likhet med Sverige låtit de permanenta referensstationerna realisera ETRS 89. I Danmark och Norge är det andra markerade punkter på marken som är de primära bärarna av referenssystemet. De permanenta stationerna är endast sekundärt bestämda. Detta obeaktat ligger avvikelserna på 1 cm nivå jämfört med Danmark och Finland samt något högre i Norge. Tabeller med avvikelser finns i bilaga 3.

Av ovanstående differenser framgår att SWEREF 99 överensstämmer betydligt bättre med våra grannländers realiseringar av ETRS 89 än vad SWEREF 93 gör.

## 3 Bytet från SWEREF 93 till SWEREF 99

### 3.1 Vad innebär bytet?

Insatt i ett större sammanhang är bytet startskottet för en omvälvande process som innebär att Sverige lämnar det geodetiska koncept som gällt de senaste 100 åren och går över till något som närmast kan betraktas som en global standard. Vi skall emellertid inte uppehålla oss vid denna frågeställning utan mer titta på de rent tekniska aspekterna av introduktionen av SWEREF 99.

Skillnaden mellan SWEREF 93 och SWEREF 99 är som tidigare nämnts liten. Den maximala koordinatdifferensen mätt i SWEPOS-stationerna uppgår till 66 mm i horisontalplanet. För den vertikala komponenten rör det sig som mest om 36 mm. Den inre noggrannheten skiljer sig inte märkbart mellan systemen, vilket gör det möjligt att transformera horisontella positioner uttryckta i SWEREF 93 till SWEREF 99 utan några större noggrannhetsförluster. Den största avvikelser efter transformation i någon av de drygt 20 permanenta stationerna i SWEPOS-nätet uppgår i plan till 6 mm.

Hantering av transformationssamband till RT 90 och RH 70 skiljer sig i vissa väsentliga avseenden från vad som anges i HMK-Geodesi, GPS i och med att hanteringen är separerad i horisontalplanet (till RT 90) och i vertikallinjen (till RH 70). **Vid byte av transformationssamband är det viktigt att göra det samtidigt både för plan och höjd.** Den gamla geoidmodellen RN 92 kan t.ex. inte användas tillsammans med SWEREF 99 och det nya transformationssambandet mellan SWEREF 99 och RT 90.

### 3.2 Vilka berörs av bytet?

Som antydde i föregående avsnitt kommer på lång sikt all hantering av lägesanknuten information att påverkas. Kortsiktigt berörs framförallt verksamheter med noggrannhetskrav som närmar sig decimeternivå eller bättre. Övriga användare behöver inledningsvis inte vidta några speciella åtgärder med anledning av bytet. På sikt bör dock SWEREF 93 fasas ut även i dessa sammanhang.

Många SWEPOS-användare kommer inte att märka av bytet från SWEREF 93 till SWEREF 99. Det gäller t.ex. användare av till SWEPOS kopplade DGPS-tjänster: EPOS, Mobipos (Data Cast) och OmniSTAR. Användare av de mer noggranna tjänsterna Ciceron, tester av nätverks-RTK, SWEPOS beräkningstjänst samt bärvågsdata för efterbearbetning kommer däremot att direkt beröras.

## 4 Transformation av den horisontella positionen mellan SWEREF 99 och RT 90.

### 4.1 Formler och parametrar

I likhet med SWEREF 93 används en likformighetstransformation i tre dimensioner, vanligen kallad 7-parametertransformation. Den kan även ses som den tredimensionella analogin till den välkända Helmert-transformationen i två dimensioner. Formeluppsättningen är densamma som i HMK-Geodesi, GPS. För tydlighets skull ges nedan den centrala formeln för transformation från SWEREF 99 till RT 90:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{RT\ 90} = \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix} + (1 + \delta) \mathbf{R} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{SWEREF\ 99} \quad (1)$$

där

$X, Y, Z$  = geocentriska koordinater i SWEREF 99 respektive RT 90

$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$  = translationerna mellan systemen

$\delta$  = skalkorrektion

och där slutligen  $\mathbf{R}$  uttrycker rotationerna runt de tre koordinataxlarna

$$\mathbf{R} = \mathbf{R}_Z \mathbf{R}_Y \mathbf{R}_X = \begin{pmatrix} \cos \omega_Z & \sin \omega_Z & 0 \\ -\sin \omega_Z & \cos \omega_Z & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \omega_Y & 0 & -\sin \omega_Y \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \omega_Y & 0 & \cos \omega_Y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \omega_X & \sin \omega_X \\ 0 & -\sin \omega_X & \cos \omega_X \end{pmatrix} \quad (2)$$

Följande parametrar skall användas vid transformation från SWEREF 99 till RT 90:

$$\Delta X = -414.0978567149 \text{ m}$$

$$\Delta Y = -41.3381489658 \text{ m}$$

$$\Delta Z = -603.0627177516 \text{ m}$$

$$\omega_X = -0.8550434314 \text{ bågsekunder}$$

$$\omega_Y = +2.1413465185 \text{ bågsekunder}$$

$$\omega_Z = -7.0227209516 \text{ bågsekunder}$$

$$\delta = 0.0000000000 \text{ mm/km (ppm)}$$

Transformation från RT 90 till SWEREF 99 sker lämpligen genom att använda ovanstående parametrar i kombination med den stränga inversen till formel (1) ovan, d.v.s.

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{\text{SWEREF 99}} = \frac{\mathbf{R}^{-1}}{(1 + \delta)} \left[ \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{\text{RT 90}} - \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix} \right] \quad (3)$$

där  $\mathbf{R}^{-1}$  är den inversa matrisen till  $\mathbf{R}$ . För rotationsmatriser gäller att  $\mathbf{R}^{-1} = \mathbf{R}^T$ , d.v.s. inversen är lika med transponatet till den fullständiga rotationsmatrisen  $\mathbf{R}$ . (Transponatet av en matris erhålls genom att kasta om rader och kolumner i matrisen.)

Vissa programvaror förutsätter att sambandet är definierat i riktningen från RT 90 till SWEREF 99. Önskar man transformera från RT 90 till SWEREF 99 med användande av ekvation (1) är det följande inversparametrar som gäller (här förutsätts givetvis att namnen SWEREF 99 och RT 90 har bytt plats i formeln):

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{\text{SWEREF 99}} = \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix} + (1 + \delta) \mathbf{R} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{\text{RT 90}} \quad (4)$$

med parametrarna:

$$\Delta X = +414.1055246174 \text{ m}$$

$$\Delta Y = +41.3265500042 \text{ m}$$

$$\Delta Z = +603.0582474221 \text{ m}$$

$$\omega_X = +0.8551163377 \text{ bågsekunder}$$

$$\omega_Y = -2.1413174055 \text{ bågsekunder}$$

$$\omega_Z = +7.0227298286 \text{ bågsekunder}$$

$$\delta = 0.0000000000 \text{ mm/km (ppm)}$$

Transformation av den horisontella positionen mellan SWEREF 99 och RT 90.

Räkneexempel:

SWEREF 99	Latitud	58°	0'	0.000000"
	Longitud	17°	0'	0.000000"
	Ellh			30.000
SWEREF 99	X			3240036.3696
	Y			990578.5272
	Z			5385763.1648
RT 90	X			3239532.6315
	Y			990625.1745
	Z			5385197.8446
RT 90	Latitud	58°	0'	1.213296"
	Longitud	17°	0'	11.683659"
	Ellh			-5.3970
RT 90 2.5 gon V 0:-15	x			6431274.6309
	y			1570650.2449

För omvandlingen (lat, long, ellh)  $\Leftrightarrow$  (X,Y,Z) används:

<i>system</i>	<i>ellipsoid</i>	<i>a =</i>	<i>1/f =</i>
SWEREF 99	GRS 1980	6378137m	298.257222101
RT 90	Bessel 1841	6377397.155m	299.1528128

## 4.2 Noggrannhet och beräkningskonsistens.

### 4.2.1 Noggrannhet

Inget referenssystem är felfritt. En likformighetstransformation mellan två referenssystem kommer därför med nödvändighet att leda till att de koordinater som erhålls ur transformationen kommer att avvika från de "äkt" koordinaterna i det referenssystem man kommer till. Känner man koordinaterna i båda systemen för ett antal punkter går det att få en uppfattning om transformationsfelens storlek genom att jämföra transformerade och äkta koordinater.

Tack vare en förbättrad beräkningsmodell har transformationsfelen för det nya sambandet kunnat halveras jämfört med sambandet mellan SWEREF 93 och RT 90. Det genomsnittliga felet i det nya sambandet uppgår till 7 cm ( $1\sigma, 2D$ ) och det maximala felet till 20 cm. Motsvarande siffror för sambandet mellan SWEREF 93 och RT 90 är 14 cm respektive 50 cm. I bilaga 4 finns en grafisk redovisning av felen för det nya sambandet i 165 punkter spridda över landet.

## 4.2.2 Beräkningskonsistens

Slutligen några kommentarer beträffande beräkningskonsistensen vid tillämpning av formlerna (1) – (3).

Parametrarna är presenterade med ett stort antal siffror. En viss avrundning kan tillåtas utan märkbar försämring av resultatet. För att säkerställa beräkningskonsistens på millimeternivå bör man ta med minst 4 decimaler i translationerna och 6 decimaler i rotationerna.

Tyvärr finns det flera varianter av 7-parametertransformationen. Vissa program tillämpar en annan multiplikationsordning vid bildandet av rotationsmatrisen  $\mathbf{R}$ , jfr. ekv. (2). I t.ex. Australien anger man ordningen som  $\mathbf{R}_X * \mathbf{R}_Y * \mathbf{R}_Z$ . I vissa program har man lineariserat  $\mathbf{R}$ , d.v.s. alla  $\cos(\omega)$  har ersatts med 1, alla  $\sin(\omega)$  med  $\omega$ , samt alla kvadratiska termer av  $\omega$  med 0. Tack vare att rotationerna i det ovan presenterade sambandet till sina belopp är relativt små, kommer resultaten från de olika varianterna för bildandet av  $\mathbf{R}$  att avvika med högst 2-3 millimeter från vad som erhålls om man tillämpar formlerna (1) – (3). Önskas fullständig beräkningskonsistens kan parametrar för de andra multiplikationsordningarna erhållas från Lantmäteriverket i Gävle.

I vissa program utförs den inversa transformationen genom att i ekv. (1) föra in de ursprungliga parametrarna med omvänt tecken. Om man utför den inversa transformationen på detta sätt, d.v.s. från RT 90 till SWEREF 99, genom att enbart byta tecken på parametrarna som används för riktningen SWEREF 99 till RT 90, inför man ett fel på drygt 1 cm.

## 4.3 När och hur skall sambandet användas?

Sambandet skall användas när man vill överföra den **horisontella** positionen från SWEREF 99 till RT 90 och tvärtom.

En komplikation vid tillämpning av sambandet är att formel (1) ovan förutsätter att systemen är tredimensionella. SWEREF 93 uppfyller detta villkor medan RT 90 till sin natur är tvådimensionellt. Olika situationer uppstår beroende på i vilken riktning transformationen utförs.

Vid transformation av en punkts position **från SWEREF 99 till RT 90** erhålls utöver punktens latitud och longitud i RT 90 även punktens höjd över Bessels ellipsoid.

**Observera att på grund av att sambandet tagits fram för att uppnå bästa möjliga horisontella överensstämmelse, kommer den höjd över Bessels ellipsoid som erhålls ur transformationen att i praktiken vara oanvändbar.** Om man till exempel anbringar en geoidkorrektin enligt geoidmodellen RN 92 erhålls en höjd som avviker från RH 70 med beloppet 5-10 meter. Som tidigare påpekats beskrivs därför den korrekta hanteringen av den **vertikala** positionen (höjden) i avsnitt 5.

Vid transformation av en punkts position **från RT 90 till SWEREF 99** ställs man inför ett annorlunda problem. Latituden och longituden i

RT 90 uttrycker punktens horisontella läge relativt Bessels ellipsoid. För att få en tredimensionell position måste man som tredje koordinat ge punktens höjd över ellipsoidens yta. Nu visar det sig att den horisontella positionen som erhålls i SWEREF 99 efter transformation från RT 90 är förhållandevis okänslig för vilken ellipsoidhöjd man tilldelar punkten relativt Bessels ellipsoid. Ett fel på 100 meter i den använda höjden orsakar ett fel på 2-3 mm i den horisontella SWEREF 99-positionen. Detta innebär att man kan försumma geoidens höjd över Bessels ellipsoid och som approximativ höjd över Bessels ellipsoid använda RH 70-höjden. Inte heller RH 70-höjden behöver vara så noggrann. Det räcker att känna den på 10-15 meter när.

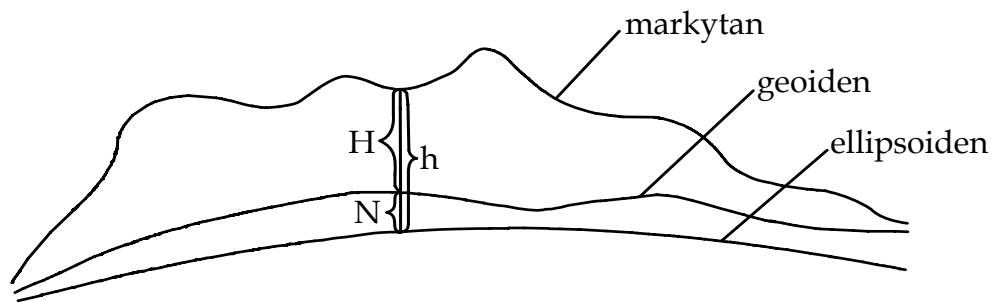
**Observera att den höjd som erhålls efter transformation till SWEREF 99 inte heller den är användbar.** Behöver man skatta punktens höjd över GRS 1980-ellipsoiden i SWEREF 99, måste man tillämpa de metoder som beskrivs i avsnitt 5. Detta kan vara fallet om den transformerade positionen skall användas som utgångspunkt för en noggrann GPS-mätning, eftersom man då bör använda ett så bra höjdvärde som möjligt för att undvika att föra in ett skalfel i beräkningen.

Beräkningsgången för de olika fallen finns schematiskt beskrivna i bilaga 6.

## 5 Transformation mellan höjd över ellipsoiden i SWEREF 99 och "höjd över havet" i RH 70

### 5.1 SWEN 01L och andra geoidmodeller

Genom utnyttjande av satellitteknik (främst GPS) erhålls höjden över referensellipsoiden. Det vanliga är dock att användaren vill uttrycka sina höjder "över havet". Vill man överföra höjden över ellipsoiden ( $h$ ) till höjd över havet ( $H$ ) måste separationen mellan dessa ytor, den s. k. geoidhöjden ( $N$ ), vara känd. Förhållandet mellan ytorna finns beskrivet i figuren nedan.



$$h = H + N$$

Vid mätning med GPS utnyttjas den globala ellipsoiden GRS 1980 som skiljer sig i form och storlek från Bessels ellipsoid (1841) som vi traditionellt har arbetat med i Sverige och som RT-konceptet utnyttjar (RT 90, RN 92 etc.).

Den 7-parametertransformation som finns beskriven i avsnitt 4 är avsedd för transformation av det horisontella läget. För att konvertera mellan höjder i SWEREF 99 och höjder i RH 70 skall en särskilt framtagen höjddkorrektionsmodell (SWEN 01L) användas. SWEN 01L är framtagen genom anpassning av den nordiska geoidmodellen NKG 96 till de svenska systemen SWEREF 99 och RH 70, med hänsyn tagen till den landhöjning som skett mellan epok 1970.0 (RH 70) och epok 1999.5 (SWEREF 99). SWEN 01L innehåller således en kombination av geoidkorrektioner och landhöjningskorrektioner, vilket gör att den i strikt bemärkelse inte är en ren geoidmodell.

Vid konvertering mellan höjd över ellipsoiden i SWEREF 99 och höjder i RH 70 skall SWEN 01L (eller i framtiden eventuella efterföljare) användas.

Som tidigare påpekats så är det användare med höga noggrannhetskrav som har behov av att byta till SWEREF 99. Användare av SWEREF 93 och med ringa noggrannhetskrav skulle rent praktiskt kunna fortsätta att arbeta som vanligt, men vi vill ändå rekommendera att alla användare av SWEREF 93 byter till SWEREF 99. Till systemet SWEREF 93 finns sedan tidigare två geoidmodeller kopplade. Det är SWEN 95 och SWEN 98L. Dessa ska inte användas mot SWEREF 99 då onödig försämring av höjdnoggrannheten införs.

Geoidmodellen RN 92, som beskriver geoiden i förhållande till Bessels ellipsoid i referenssystemet RR 92, skall inte heller användas i kombination med det nya transformationssambandet. Likaså måste de som idag använder RN 92-polynomet upphöra med detta när de inför 7-parametersambandet mellan SWEREF 99 och RT 90. Idag finns inte motsvarande polynom för att få geoidhöjder i SWEN 01L.

Med andra ord skall även geoidmodellen bytas ut om 7-parameter-transformationen byts ut.

SWEN 01L representeras av höjdkorrektionsvärden i ett rutnät som sträcker sig från 55° till 70° i latitud och från 10° till 25° i longitud. Avståndet mellan punkterna är 0.025° i latitudled vilket svarar mot ca 2.8 km. I longitudled är differensen 0.050°. På grund av att meridianerna strålar samman vid nordpolen kommer longituddifferensen av svara mot ett avstånd som varierar från dryga 3 km i sydligaste Sverige till ca 2 km i den nordligaste delen av landet. Korrektionsvärdet för en godtycklig punkt beräknas genom att interpolera mellan närliggande punkter i rutnätet. Rutnäts latituder och longituder är uttryckta i SWEREF 99.

Rutnätsvärdena finns lagrade som en ASCII-fil, som kan rekvireras från Lantmäteriverket i Gävle. Det finns även ett enkelt program att tillgå som alternativ till att framställa en egen interpolationsrutin. Vidare finns transformationssambandet inklusive geoidmodellen SWEN 01L inlagd i Lantmäteriets transformationsprogramvara GTRANS fr.o.m. version 3.5. För ytterligare information hänvisas till Lantmäteriverkets geodetiska arkiv samt webb-sidan [www.lantmateriet.se](http://www.lantmateriet.se). (Välj "Om Lantmäteriet", sedan "Geodesi och GPS".)

I bilaga 5 redovisas, för ett antal punkter, skillnaden mellan höjder (H) som erhållits direkt i RH 70 genom avvägning och höjder som erhållits genom att korrigera höjder (h) mätta med GPS i SWEREF 99 med höjdkorrektion (N) enligt SWEN 01L. Som framgår av bilagan varierar avvikelserna ganska mycket i olika delar av landet men understiger i allmänhet 10 cm till sitt belopp.

## 5.2 Hur får jag min höjd över havet då jag har gjort min GPS-mätning?

En GPS-mätning resulterar i koordinater i SWEREF 99. Dessa är latitud, longitud och en höjd över ellipsoiden ( $h$ ). För att nå de plana koordinaterna i RT 90 utnyttjas den 7-parametertransformation som har beskrivits tidigare. För att få en höjd i RH 70 utnyttjas latituden och longituden i SWEREF 99 till att interpolera fram en geoidhöjd i SWEN 01L (N). Höjden i RH 70 ( $H$ ) fås genom den enkla formeln:

$$H_{RH\ 70} = h_{SWEREF\ 99} - N_{SWEN\ 01L}$$

*Exempel (SWEPOS station: Leksand)*

*(Latitud = 60°43' 19.71351" Longitud = 14°52' 37.21262")*

$$h_{SWEREF\ 99} = 478.092\ \text{m}$$

$$N_{SWEN\ 01L} = 30.544\ \text{m (interpolerad)}$$

$$H_{RH\ 70} = 478.092 - 30.544 = 447.548\ \text{m}$$

Det "sanna" RH 70 värdet i denna punkt är 447.500 m. Det beskrivna transformationsförfarandet med användning av SWEN 01L, innebär att den resulterande höjden över havet skiljer knappt 5 cm från den avvägda höjden på punkten i RH 70.

## 5.3 Hur får jag höjden över ellipsoiden ( $h$ ) då jag har en höjd över havet ( $H$ )?

Här gäller det att tänka på att SWEN 01L bygger på SWEREF 99 och alltså måste vi **först** transformera våra horisontella koordinater från RT 90 till SWEREF 99. Detta görs med det framtagna transformationssambandet som finns beskrivet i avsnitt 4. **Sedan** utnyttjar vi den latitud och longitud som vi får för att interpolera fram ett värde ur SWEN 01L. Höjden över GRS 1980-ellipsoiden får vi enligt formeln nedan.

$$h_{SWEREF\ 99} = H_{RH\ 70} + N_{SWEN\ 01L}$$

Noggrannheten i den horisontella positionen för punkten påverkar noggrannheten i höjdbestämningen eftersom den horisontella positionen utnyttjas vid interpolationen. Om punktens horisontella absolutposition är bättre än 100 meter försämras höjden med maximalt ca 1 cm.

## 6 Slutkommentar

De presenterade sambanden gäller rikstäckande och tillämpar kända och väl spridda algoritmer som är implementerade i de flesta programvaror, dock inte alla.

T.ex. har vissa enklare GPS-mottagare inte möjlighet att beakta rotationerna. Lantmäteriet erbjuder på sin hemsida en möjlighet att på ett enkelt sätt beräkna 3-parametersamband som gäller med erforderlig noggrannhet över mindre geografiska områden.

Även i en del GIS-program kan det finnas svårigheter att tillämpa en regelrätt 7-parametertransformation. Ett alternativ kan då vara att använda en Transversal Mercatorprojektion med speciella projek-tionsparametrar som avbildar latituder och longituder i SWEREF 99 direkt till plana koordinater i RT 90 2.5 gon V 0:-15. Sådana parametrar finns att hämta på Lantmäteriets hemsida.

Den noggrannhet som 7-parametersambandet erbjuder kan i vissa tillämpningar vara otillfredsställande. En skärpning av noggrannheten kan åstadkommas genom att utnyttja kunskapen om misstämelsen i punkter som tidigare mätts in i båda systemen. Även här hänvisas till Lantmäteriets hemsida.

För ytterligare eller aktuell information om geodesi och GPS rekommenderas Lantmäteriets hemsida, [www.lantmateriet.se](http://www.lantmateriet.se). Välj "Om Lantmäteriet", sedan "Geodesi och GPS". Man kan även gå in via SWEPOS hemsida, [www.swepos.com](http://www.swepos.com).

## 7 Referenser

- Jivall, L (2000): SWEREF 99 –New ETRS 89 Coordinates in Sweden, Analysis Report. LMV-rapport 2001:6
- Lantmäteriverket (1996): Handbok till Mätningkungörelsen, Geodesi, GPS (HMK:Ge:GPS), utgåva 2.
- Lantmäteriverket (2000): RefStrat – strategier för referenssystem och referensnät, slutrapport. LMV-rapport 2000:5
- Lantmäteriverket (2001): Geodesi 2000. LMV-rapport 2001:1
- Lidberg, M (2001): SWEREF 99 – Sveriges nya referenssystem. SINUS Nr 2 2001. Sveriges Kart & Mätningstekniska Förening.

## Bilaga 1: Förkortningar

<b>DGPS</b>	Differentiell GPS. Relativ GPS mätning, vanligen underförstås relativ kodmätning.
<b>Ciceron</b>	Lokal RTK-tjänst som idag finns på 8 platser i Sverige. Korrekitioner från SWEPOS distribueras av Teracom på FM P3 DARC.
<b>Epos</b>	Nationell DGPS-tjänst med korrekitioner från SWEPOS som distribueras av Teracom på FM P3 och P4 RDS.
<b>ETRS 89</b>	European Terrestrial Reference System 89. (Ellipsoid GRS 1980) Systemet är knutet till det globala systemet ITRS vid epok 1989.0.
<b>EUREF</b>	European Reference Frame (tidigare RETrig), subkommission i IAG
<b>GPS</b>	Global Positioning System. Amerikanskt satellitbaserat navigationssystem uppbyggt av USAs försvarsmakt.
<b>HMK</b>	Handbok till mätningsskuggörelsen
<b>IAG</b>	Internationella Associationen för Geodesi
<b>IGS</b>	International GPS Service. Internationellt nät av permanenta stationer
<b>ITRF</b>	International Terrestrial Reference Frame
<b>ITRF 89</b>	Ett internationellt (globalt) tredimensionellt geodetiskt referenssystem. (Ellipsoid GRS 1980)
<b>Mobipos</b>	Nationell DGPS-tjänst med korrekitioner från SWEPOS som distribueras av Generic Mobile på FM P3 DARC
<b>NKG</b>	Nordiska Kommissionen för Geodesi
<b>Omnistar</b>	Global Wide area DGPS-tjänst med korrekitioner från SWEPOS som distribueras av Fugro.
<b>RH 70</b>	Rikets höjdsystem 1970. Höjdsystem för den andra precisionsavvägningen i Sverige, 1951-67. Systemets nollnivå definieras av Normal Amsterdams Peil (NAP).
<b>RMS</b>	Root Mean Square. Kvadratrotten ur medeltalet av kvadratiska avvikelser. Ett mått på skillnaden mellan två dataset.
<b>RN 92</b>	Gammal geoidmodell som används vid konvertering av ellipsoidhöjder i RR 92 (Ellipsoid Bessels 1841) och RH 70.
<b>RT 90</b>	Rikets koordinatsystem 1990. (Ellipsoid Bessels 1841) Det idag använda nationella referenssystemet i plan. RT 90 är resultatet av den tredje rikstrianguleringen 1967-82.

## Bilaga 1: Förkortningar

<b>RTK</b>	Real Time Kinematic. Kinematisk relativ bärvågsmätning i realtid.
<b>SWEN 01L</b>	Geoidmodell (i strikt bemärkelse en höjdkorrektionsmodell) som används vid konvertering mellan höjd över ellipsoiden i SWEREF 99 (GRS 1980-ellipsoiden) och höjd "över havet" i RH 70. Landhöjningen mellan 1970 och 1999 är omhändertagen.
<b>SWEPOS</b>	Nationellt nät av permanenta stationer för GPS i Sverige
<b>SWEREF 93</b>	Ett svenskt tredimensionellt referenssystem. (Ellipsoid GRS 1980)  Systemet är en svensk realisering av det europeiska systemet ETRS 89.
<b>SWEREF 99</b>	Ett svenskt tredimensionellt referenssystem. (Ellipsoid GRS 1980)  Systemet är en svensk realisering av det europeiska systemet ETRS 89, genomförd enligt EUREFs normer.
<b>WGS 84</b>	World Geodetic System 1984. (Ellipsoiden WGS 84 $\cong$ GRS 1980) Ett globalt tredimensionellt referenssystem som används av GPS.

**Bilaga 2: SWEREF 93 minus SWEREF 99**

Station	SWEREF 93 minus SWEREF 99		
	Norr (mm)	Öster (mm)	Upp (mm)
ARJE.0	-0.006	0.066	-0.007
BORA.0	0.017	0.048	0.017
GAVL.1	0.005	0.055	-0.013
GOTE.0	0.018	0.046	0.020
HASS.0	0.012	0.041	0.029
JONK.0	0.014	0.045	0.010
KARL.0	0.014	0.053	0.002
KIRU.0	-0.011	0.062	0.006
LEKS.0	0.013	0.059	-0.012
LOVO.0	0.008	0.052	-0.007
MALM.0	0.018	0.045	0.036
MART.6	0.006	0.052	-0.017
NORR.0	0.012	0.046	-0.010
ONSA.0	0.020	0.052	0.036
OSKA.0	0.014	0.044	0.016
OSTE.0	0.006	0.060	0.001
OVER.0	-0.014	0.064	-0.023
SKEL.0	-0.004	0.059	-0.036
SUND.0	0.001	0.059	-0.023
SVEG.0	0.007	0.059	-0.014
UMEA.0	-0.002	0.058	-0.036
VANE.0	0.014	0.050	0.010
VAST.0	0.010	0.052	-0.011
VILH.0	0.000	0.065	-0.010
VISB.0	0.007	0.048	-0.012
<b>Medeltal</b>	<b>0.007</b>	<b>0.055</b>	<b>-0.002</b>
<b>RMS</b>	<b>0.012</b>	<b>0.054</b>	<b>0.020</b>
<b>MAX</b>	<b>0.020</b>	<b>0.066</b>	<b>0.036</b>

## Bilaga 3: Differenser mellan grannländers ETRS 89-realiseringar och SWEREF 99.

### DANMARK

Station	DK EUREF 89 minus SWEREF 99		
	Norr (mm)	Öster (mm)	Upp (mm)
BUDP	-0.001	-0.011	0.014
SMID	-0.006	-0.004	-0.008
SULD	-0.013	-0.007	-0.003
<b>Medeltal</b>	<b>-0.007</b>	<b>-0.007</b>	<b>0.001</b>
<b>RMS</b>	<b>0.008</b>	<b>0.008</b>	<b>0.009</b>
<b>MAX</b>	<b>0.013</b>	<b>0.011</b>	<b>0.014</b>

### FINLAND

Station	FIN EUREF 89 minus SWEREF 99		
	Norr (mm)	Öster (mm)	Upp (mm)
JOEN	-0.003	0.000	0.002
KEVO	0.000	0.000	-0.004
KIVE	-0.004	0.000	-0.007
KUUS	-0.008	-0.001	-0.014
METS	-0.006	-0.002	0.003
OLKI	-0.003	-0.002	-0.004
OULU	-0.004	-0.002	-0.016
ROMU	-0.002	-0.001	-0.008
SODA	-0.006	-0.002	-0.015
TUOR	-0.003	-0.001	0.000
VAAS	-0.003	-0.002	-0.007
VIRO	-0.004	-0.001	0.001
<b>Medeltal</b>	<b>-0.004</b>	<b>-0.001</b>	<b>-0.006</b>
<b>RMS</b>	<b>0.004</b>	<b>0.001</b>	<b>0.009</b>
<b>MAX</b>	<b>0.008</b>	<b>0.002</b>	<b>0.016</b>

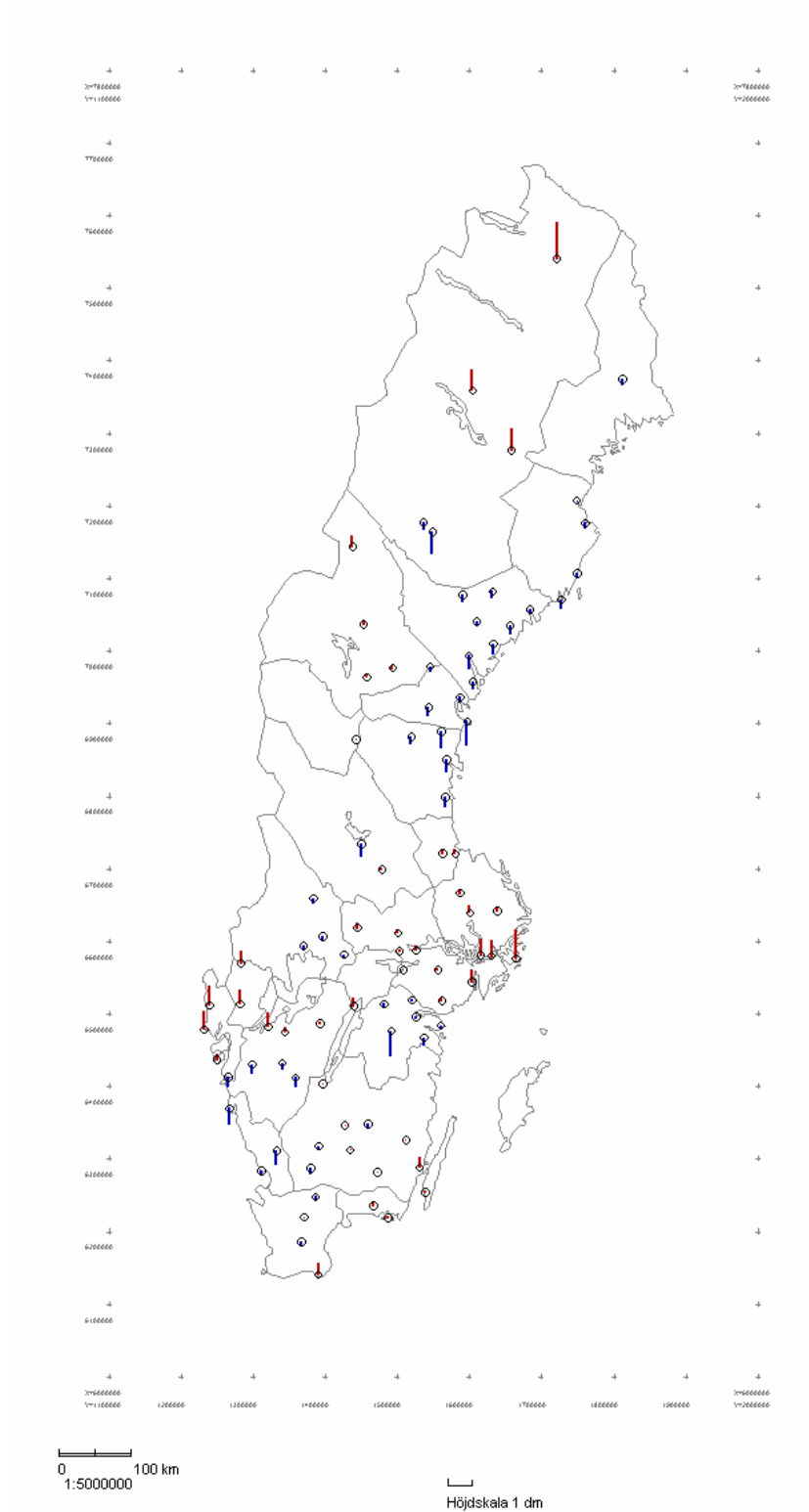
*NORGE*

Station	N EUREF 89 minus SWEREF 99		
	Norr (mm)	Öster (mm)	Upp (mm)
ALES	0.005	0.018	-0.003
BERG	-0.006	0.016	0.005
BODO	0.001	0.032	-0.001
KRIS	0.002	0.003	0.000
OSLO	0.000	0.020	-0.006
STAV	0.003	0.018	0.001
TROM	-0.005	0.027	0.002
TRON	0.000	0.025	0.003
VARD	-0.012	0.026	-0.012
<b>Medeltal</b>	<b>-0.001</b>	<b>0.021</b>	<b>-0.001</b>
<b>RMS</b>	<b>0.005</b>	<b>0.022</b>	<b>0.005</b>
<b>MAX</b>	<b>0.012</b>	<b>0.032</b>	<b>0.012</b>

## Bilaga 4: Avvikelser mellan officiella och transformerade RT 90-koordinater



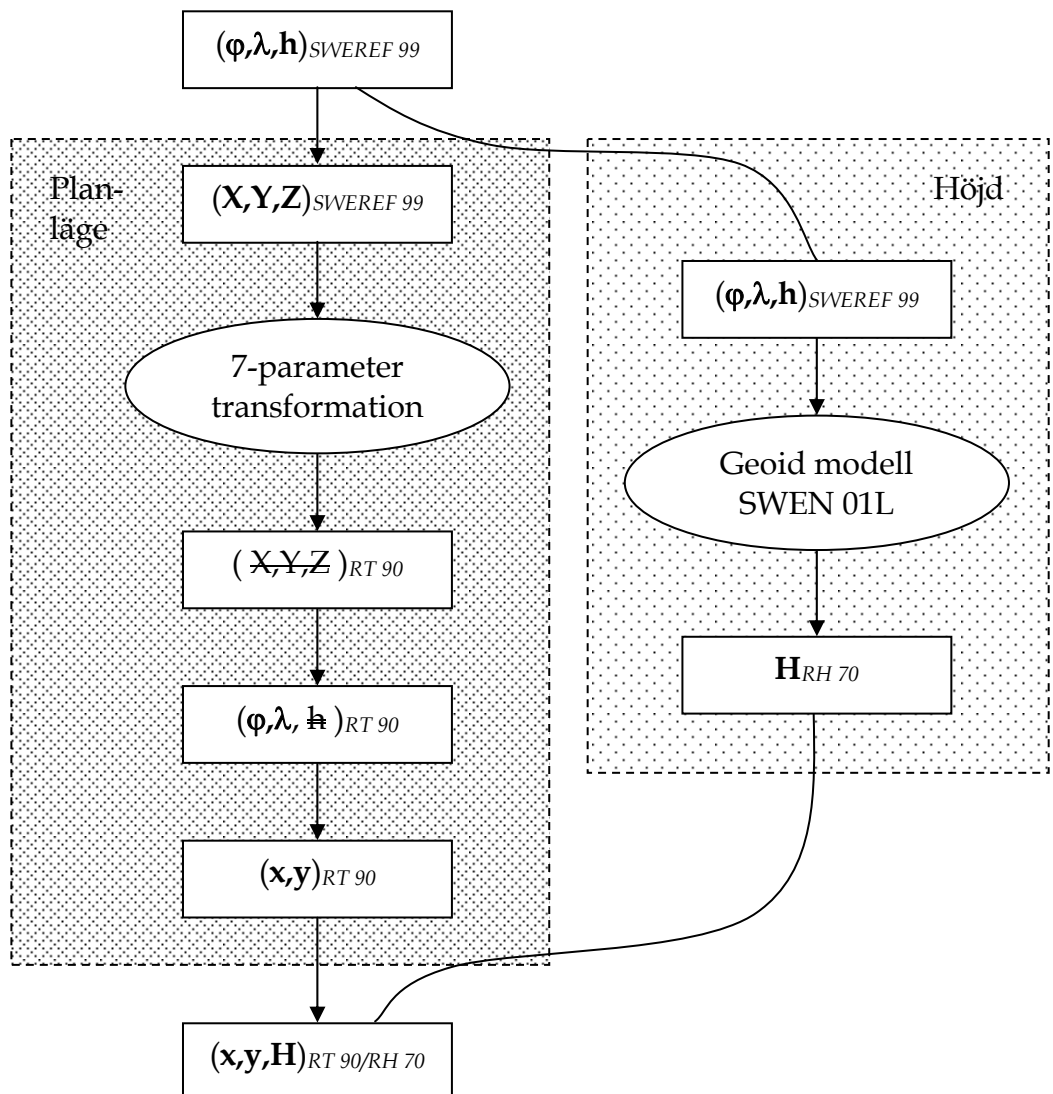
## Bilaga 5: Avvikelser mellan avvägda höjder och GPS-mätta höjder korrigerade med SWEN 01L



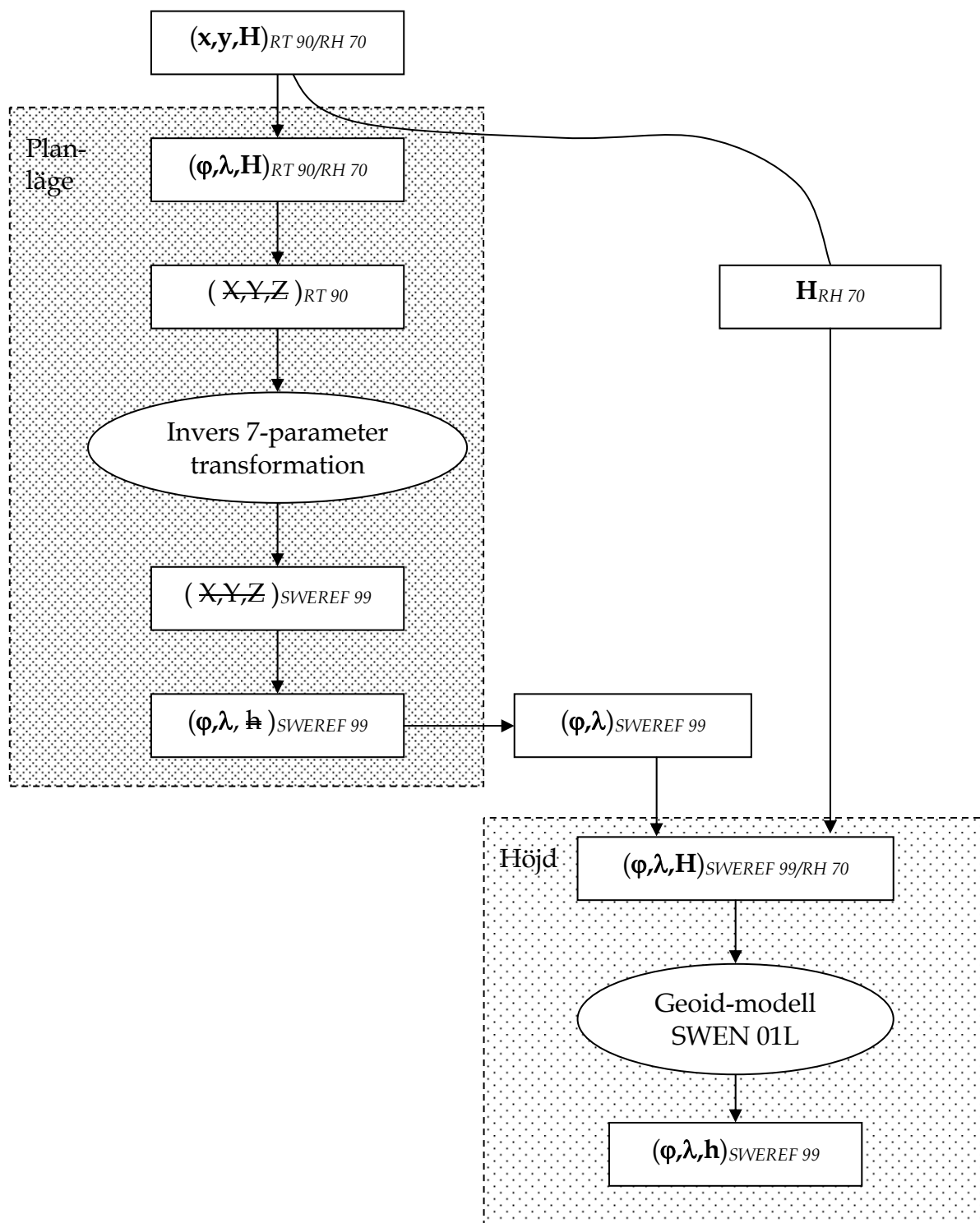
## Bilaga 6: Transformationsscheman

Transformation mellan SWEREF 99 och RT 90/RH 70 är i princip skild mellan planläge och höjd. Det gör att vissa delresultat i transformationen saknar en reell innebörd. Dessa värden har markerats genomstrukna.

### *Transformation från SWEREF 99 till RT 90/RH 70*



## Transformation från RT 90/RH 70 till SWEREF 99



## Rapporter i geodesi och geografiska informationssystem från Lantmäteriverket

- 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.
- 2000:2 Engfeldt Andreas, Jivall Lotti: Kort introduktion till GNSS
- 2000:3 Christina Kempe: Metodstudie för inmätning av skogsbilvägar.
- 2000:4 Niklas Svanholm: Jämförelse av olika metoder att föra över kartdetaljer till ett nytt koordinatsystem.
- 2000:5 RefStrat - Strategier för referenssystem och referensnät.
- 2001:1 Engberg, Lars: Geodesi 2000 - svensk geodesiverksamhet under kommande tioårsperiod.
- 2001:6 Jivall, Lotti: SWEREF 99 - New ETRS 89 Coordinates in Sweden, Analysis Report.

L A N T M Ä T E R I E T



Blankettförrådet 801 82 GÄVLE Tfn 026 - 63 30 00 Fax 026 - 68 75 94  
Internet: [www.lantmateriet.se](http://www.lantmateriet.se)