

Rapport  
**P-20-12**  
Oktober 2020



# Årsrapport GNSS-mätningar i Forsmark 2019

**Christina Kempe**  
**Rickard Jäderberg**  
**Lotti Jivall**

SVENSK KÄRNBRÄNSLEHANTERING AB

SWEDISH NUCLEAR FUEL  
AND WASTE MANAGEMENT CO

Box 3091, SE-169 03 Solna  
Phone +46 8 459 84 00  
skb.se

SVENSK KÄRNBRÄNSLEHANTERING



ISSN 1651-4416

**SKB P-20-12**

ID 1889042

Oktober 2020

# Årsrapport GNSS-mätningar i Forsmark 2019

Christina Kempe, Rickard Jäderberg, Lotti Jivall  
Lantmäteriet

*Nyckelord:* Permanenta GNSS-stationer, GNSS-beräkning, Tidsserier, Off-grid-stationer, Monitorering av markrörelser.

Denna rapport har gjorts på uppdrag av Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB). Slutsatser och framförda åsikter i rapporten är författarnas egna. SKB kan dra andra slutsatser, baserade på flera litteraturkällor och/eller expertsynpunkter.

Data i SKB:s databas kan ändras av olika skäl. Mindre ändringar i SKB:s databas kommer nödvändigtvis inte att resultera i en reviderad rapport. Revideringar av data kan också presenteras som supplement, tillgängliga på [www.skb.se](http://www.skb.se).

En pdf-version av rapporten kan laddas ner från [www.skb.se](http://www.skb.se).

© 2020 Svensk Kärnbränslehantering AB



# Sammanfattning

För att kontinuerligt monitorera eventuella markrörelser i och omkring Forsmarks kärnkraftverksområde har fem stycken statiska GNSS-stationer etablerats. Dessa stationer skickar dagligen observationsdata till Lantmäteriet som beräknar dessa data över tid.

Med endast ett drygt års observationer är det för tidigt att skatta hastigheter för SKB-stationerna i Forsmark. Årets beräkning kom därför främst att inriktas på att studera olika alternativ för hantering av jonofärs- och tropofärsfördröjning. Till grund för valet av beräkningsstrategi och modeller ligger bl.a. daglig repeterbarhet (precisionen) för de olika alternativen, liksom jämförelser av L1- och L3-lösningarna.

Slutsatsen blev att använda L1-lösningen från beräkningsalternativet med regional jonofärsmodell och skattade tropofärsparametrar. I sammanhanget är det viktigt att nämna att jonofärsaktiviteten generellt varit mycket låg under observationsperioden, varför det inte är möjligt att dra några säkra slutsatser om detta alternativ fortfarande kommer att vara det bäst lämpade när jonofärsaktiviteten ökar inom några år.

De resulterande koordinattidsserierna för SKB-stationerna har studerats visuellt, främst för att se om det förekommer några problem på stationerna. Små årstidsvariationer kan ses, liksom enstaka förekomster av snö på GNSS-antennerna.

## Summary

For continuous monitoring of possible ground movements around Forsmark nuclear power plant area a total of five GNSS stations have been established. These stations send on a daily basis observation data to Lantmäteriet, the Swedish Mapping, Cadastral and Land Registration Authority, which processes the data regularly.

With just over a year of GNSS observations it is too early to estimate velocities for the SKB stations in Forsmark. Hence this year's processing aimed mainly at studying different options for handling of ionospheric and tropospheric effects. The selection of processing strategy and models is based on, for example, daily repeatability (precision) of the different strategies, as well as comparisons of the L1 and L3 solutions.

The conclusion was to use the L1 solution from the processing alternative that utilizes a regional ionospheric model in combination with estimation of troposphere parameters. In this context it is important to mention that the ionospheric activity in general was very low during the observation period. Therefore it is not possible to tell whether this alternative will be the most suitable when the ionospheric activity will increase within a few years.

The resulting coordinate time series for the SKB stations have been examined visually, mainly to find out if there were any problems at the stations. Small annual variations can be seen, as well as occasional occurrences of snow covering the GNSS antennas.

# Innehåll

<b>1</b>	<b>Använda förkortningar och begrepp</b>	7
<b>2</b>	<b>Introduktion</b>	9
<b>3</b>	<b>Stationer</b>	11
3.1	Kobben (KOB.B.0)	11
3.2	Lillkobben (LKBB.0)	12
3.3	Norra Biotesten (NBIO.0)	13
3.4	Storskäret (SSKA.0)	14
3.5	Västra Måsklinten (VMAS.0)	15
3.6	Övervakning av referensstationer utan fast el	15
3.7	Service på GNSS-stationerna	15
<b>4</b>	<b>Dataflöde och tillhandahållande av GNSS-data</b>	17
4.1	Referensstationer som inte ingår i Swepos Nätverks-RTK	17
4.2	Referensstationer som ingår i Swepos Nätverks-RTK	18
<b>5</b>	<b>Kontinuerliga GNSS-observationer i Forsmark</b>	19
5.1	Tillgängliga GNSS-data	19
5.2	Beräkning av GNSS-data	19
5.3	Val av observationer	19
<b>6</b>	<b>GNSS-beräkning</b>	21
6.1	Jonosfär	22
6.2	Troposfär	23
6.3	Lösning av periodobekanta	24
6.4	Referenssystemsanslutning	24
6.5	Hastighetsmodell	24
6.6	De olika lösningarna	26
<b>7</b>	<b>Resultat och diskussion</b>	29
7.1	Daglig repeterbarhet	29
7.2	Jämförelse av olika beräkningsalternativ	30
7.2.1	Hantering av jonosfärsfördröjning	30
7.2.2	Skattning av troposfärparametrar	32
7.2.3	L1- eller L3-lösning	33
7.3	Koordinattidsserier	34
7.3.1	Anslutning till SWEREF 99 på KOB.B.0	34
7.3.2	Anslutning till SWEREF 99 på alla stationer	36
7.3.3	Analys av koordinattidsserier	39
<b>8</b>	<b>Fortsatta studier</b>	41
8.1	Skattning av hastigheter för SKB-stationerna	41
8.2	SKB-nätet i ett nordiskt perspektiv	41
8.3	Andra programvaror för GNSS-beräkning	42
<b>9</b>	<b>Referenser</b>	43
<b>Bilaga 1</b>	<b>Översikt utrustning på GNSS-stationer</b>	45
<b>Bilaga 2</b>	<b>Urklipp ur aktivitetsdagbok</b>	47
<b>Bilaga 3</b>	<b>Sammanfattning av de olika stegen i GNSS-beräkningen</b>	49
<b>Bilaga 4</b>	<b>Beskrivning av leveransen</b>	51





# 1 Använda förkortningar och begrepp

Tabell 1-1. Förklaring av förkortningar och begrepp som förekommer i texten.

Begrepp	Förklaring
Baslinje	Rymdvektor mellan två GNSS-mottagare (stationer)
CODE	Center for Orbit Determination in Europe
Dynamiskt referenssystem	Referenssystem där koordinaterna för varje punkt varierar med tiden. Positionerna beskrivs med en uppsättning koordinater för en viss epok och deras hastigheter.
Elevationsmask	Vertikalvinkel (vinkel över horisonten) som utgör undre gräns för de GNSS-observationer som ska ingå i beräkningen
Galileo	Europeiskt satellitnavigeringssystem
GAMIT-GLOBK	GNSS at MIT – Global Kalman filter; programvara utvecklad av Department of Earth, Atmospheric Sciences, Massachusetts Institute of Technology
GIA	Glacial Isostatic Adjustment
GIPSY-OASIS	GNSS-Inferred Positioning System and Orbit Analysis Software; programvara utvecklad av Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology
GLONASS	Globalnaja navigatsionnaja sputnikovaja sistema; ryskt satellitnavigeringssystem
GMF	Global Mapping Function
GNSS	Global Navigation Satellite Systems; ett samlingsbegrepp för satellitnavigeringssystem
GPS	Global Positioning System; amerikanskt satellitnavigeringssystem
IERS	International Earth Rotation Service
IGS	International GNSS Service
IGS14	IGS-realiserings av ITRF2014 som är anpassad till aktuella modeller i IGS:s GNSS-beräkningar
ITRF	International Terrestrial Reference Frame; internationellt dynamiskt referenssystem
L1	En av GPS-systemets bärvågor; L1 har frekvensen 1575.42 MHz
L2	En av GPS-systemets bärvågor; L2 har frekvensen 1227.60 MHz
L3	Jonosfärfri linjärkombination, $L3 = 2.546 \cdot L1 - 1.546 \cdot L2$ ; används för att eliminera jonosfärens effekt på GNSS-signalerna.
L4	Geometrifri linjärkombination, $L4 = L1 - L2$ ; används vid skattning av jonosfärmodeller.
L5	En av GPS-systemets bärvågor; L5 har frekvensen 1176.45 MHz
Multistationsutjämning	Beräkning av koordinatdifferenser, genom gemensam utjämning av GPS-observationer från fler än två stationer
NKG	Nordiska kommissionen för geodesi
Periodobekant	Obekant antal hela våglängder mellan satellit och GNSS-mottagare (station) vid inledningen av en fasmätning
PPP	Precise Point Positioning
RINEX	Receiver Independent Exchange format; utbytesformat för GNSS-observationer
RMS	Root Mean Square; kvadratisk medelfel
SINEX	Solution Independent Exchange format; utbytesformat för GNSS-lösningar
Statiskt referenssystem	Referenssystem där koordinaterna för varje punkt är statiska och inte varierar med tiden.
SWREF 99	Swedish Reference Frame 1999; det svenska nationella referenssystemet. Statiskt referenssystem.
TEC	Total Electron Content
VMF	Vienna Mapping Function
ZPD	Zenith Path Delay



## 2 Introduktion

Under hösten 2018 etablerades fem permanenta GNSS-stationer med det långsiktiga syftet att studera eventuella lokala rörelser i berggrunden – företrädesvis horisontella rörelser längs de större deformationszonerna i Forsmark.

Nätets utbredning är ungefär 7 km i nord-sydlig riktning och 5 km i öst-västlig riktning; se Figur 2-1.

Tidigare har GNSS-mätningar genomförts vid ett fåtal tillfällen per år, s.k. kampanjer (Gustafson och Ljungberg 2010). Senare har det dock konstaterats att kampanjmätning inte ger den datamängd som krävs, varför kontinuerliga observationer rekommenderas för vidare studier (Ekman och Ekman 2013).

Detta är den första analysen av data från de fem permanenta GNSS-stationerna. Planen är att data ska analyseras årligen.

Kortfattat kan processen beskrivas i ett antal olika steg:

1. Insamling av GNSS-observationer från de fem stationerna i SKB-nätet. Data lagras i standardformatet RINEX. Se även avsnitt 4.
2. Beräkning av GNSS-data för att erhålla dagliga koordinater (för detaljerad beskrivning, se avsnitt 6 och Bilaga 3):
  - Baslinjer skapas mellan de stationer som har flest gemensamma satellitobservationer, för att utnyttja observationerna på bästa sätt.
  - Multistationsutjämnning ger dagliga koordinater för stationerna. De dagliga koordinaterna ansluts sedan till referenssystemet SWEREF 99.
3. Dagliga koordinater sammanställs till tidsserier, som på sikt kan analyseras med syfte att skatta stationshastigheter och eventuella hopp (eng. *discontinuities*).

Denna första analys har varit inriktad på att testa och jämföra olika beräkningsstrategier; dels lösningar baserade på olika GNSS-signaler eller linjärkombination av dessa, dels olika sätt att hantera jonosfärs- och troposfärsfördröjning. Koordinattidsserierna är ännu för korta för att hastigheter ska kunna skattas, varför tidsserierna endast har studerats visuellt för att detektera eventuella problem.



**Figur 2-1.** De fem permanenta GNSS-stationerna i Forsmark är Norra Biotesten (NBIO.0), Kobben (KOBB.0), Lillkobben (LKBB.0), Västra Mäsklinten (VMAS.0) och Storskäret (SSKA.0).

## 3 Stationer

Under slutet av 2018 etablerades fem fasta GNSS-referensstationer omkring området i Forsmark för att övervaka markrörelser över tid. Dessa är Kobben, Lillkobben, Norra Biotesten, Storskäret samt Västra Måsklinten. I och med att förutsättningarna för varje enskild station sett olika ut finns det en variation i vilken typ av utrustning referensstationerna är bestyckad med, däremot har samtliga referensstationer likadan antenn, radom (antennskydd), antennkabel med tillhörande skydd samt GNSS-mottagare. Figur 2-1 visar kartöversikt var dessa är belägna. I Tabell B1-0-1 under Bilaga 1 finns en detaljerad beskrivning av utrustningen på de olika stationerna.

### 3.1 Kobben (KOB.B.0)

Referensstation Kobben – se Figur 3-1 – står på en ö som nås via båt. Till ön finns ett fast elnät som GNSS- och kommunikationsutrustningen nyttjar.

Antennen av märket TopCon CR-G5, som är en chokeringantenn, är fäst på en två meter hög lackerad fackverksmast från Scanmast. Som antennskydd sitter en OSPS-radom på för att hålla fåglar borta från antenn samt för att förhindra att smuts och dylikt hamnar emellan chokeringarna. Antennkabeln, Bedea RG214, som ligger mellan antenn och GNSS-mottagare skyddas av ett 32 mm PEM-rör som är fäst i berg med galvaniserade metallband.

För kommunikation via 4G används ett ruggat 4G-modem av märket Sierra Wireless RV50 och för att styra strömtillförseln till 4G-modem och GNSS-mottagare sitter en fjärrstyrare (Sikom GSM Fixi SMS) som styrs av SMS.



*Figur 3-1. Referensstation Kobben (KOB.B.0), 2019. Foto: Hans-Åke Åström.*

### 3.2 Lillkobben (LKBB.0)

Referensstation Lillkobben är belägen på en ö som nås via båt. Inget fast elnät finns på ön varför GNSS-, och kommunikationsutrustning drivs av både solkraft och vindkraft.

Antenn, antennkabel och -skydd, radom, 4G-modem samt GNSS-mottagare är desamma som för Kobben. Fjärrstyrning av strömtillförsel sker av en fjärrbrytare av modell GSM-Start GSMS-SW22T via SMS.

Stationen har kompletterats med en tre meter hög fackverksmast, utöver den tremetersmast där GNSS-antennen är belägen. På den kompletterande fackverksmasten är solpaneler och vindsnurra fästa, samt teknisk utrustning såsom GNSS-mottagare, kommunikationsutrustning, fjärrbrytare, regulatorer för el samt två stycken 100Ah-gelbatterier liggande i en aluminiumlåda; se Figur 3-2.

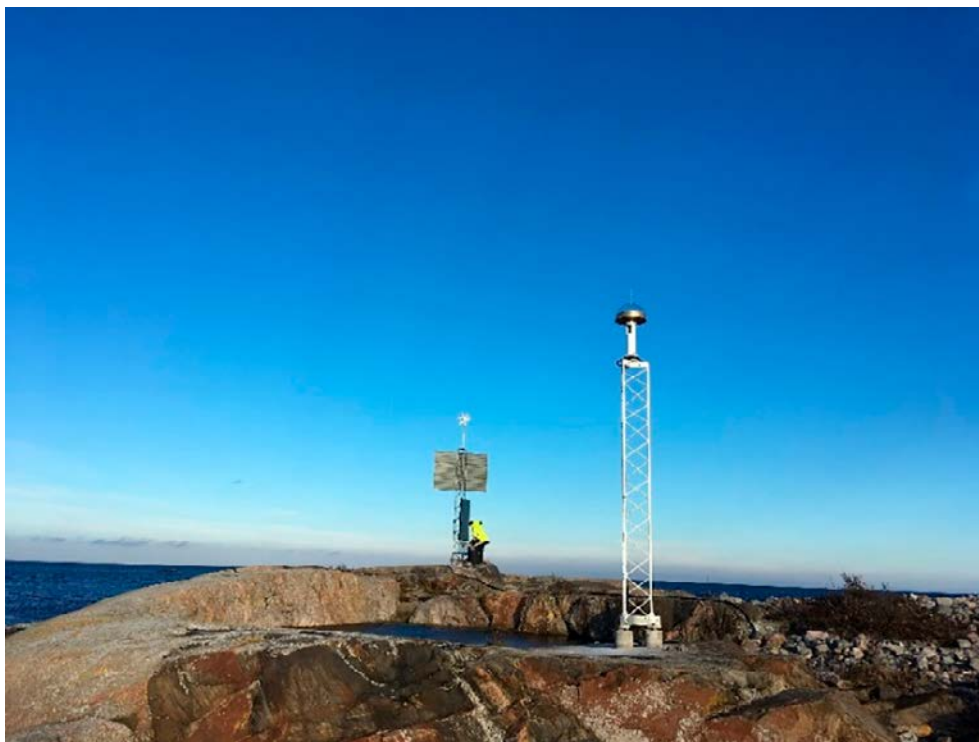


**Figur 3-2.** Referensstation Lillkobben (LKBB.0). Till vänster fackverksmast med sol-, och vindkraft samt övrig teknisk utrustning i aluminiumskåp. Till höger fackverksmast med GNSS-antenn.  
Foto: Rickard Jäderberg.

### 3.3 Norra Biotesten (NBIO.0)

Referensstation Norra Biotesten är belägen på fastland utan tillgång till fast el varför strömförsörjningen sker via sol- och vindkraft.

För installation av vindsnurra och solpanel samt aluminiumskåp nyttjades en befintlig skyltmast; se Figur 3-3. I aluminiumskåpet finns fjärrbrytare (GSM-Start GSMS-SW22T), regulatorer för el, två stycken 100Ah-batterier, 4G-modem (Sierra Wireless RV50) samt GNSS-mottagare. GNSS-antennen är installerad på en tre meter hög fackverksmast.



**Figur 3-3.** Referensstation Norra Biotesten (NBIO.0). Till vänster sol-, och vindkraft samt övrig teknisk utrustning i aluminiumskåp fäst på skyltmast. Till höger fackverksmast med GNSS-antenn. Foto Rickard Jäderberg.



### 3.4 Storskäret (SSKA.0)

Referensstation Storskäret nyttjar en tidigare vädermast för samtlig utrustning och är belägen på fastlandet med el framdraget till teknikskåp.

Teknisk utrustning är fjärrstyrningsenhet Sikom GSM Fixi SMS, GNSS-mottagare, samt ruggat 4G-modem från Telia.

I och med att befintlig vädermast nyttjades fick ett specialfäste beställas från Gävle Industriservice; se Figur 3-4. Monumentets totala höjd är ungefär tio meter, varav en meter betongfundament och nio meter metallmast.



*Figur 3-4. Referensstation Storskäret (SSKA.0), nyttjande av befintlig mast samt med specialfäste.  
Foto: Hans-Åke Åström.*



### 3.5 Västra Måsklinten (VMAS.0)

Referensstation Västra Måsklinten är belägen på en ö utan befintligt elnät och nås med båt. Stationen drivs av sol- och vindkraft som är fäst på egen två meter hög fackverksmast med tillhörande aluminiumskåp innehållande regulatorer, två stycken 100Ah-batterier, fjärrbrytare, 4G-modem samt GNSS-mottagare.

GNSS-antennen är installerad på separat två meters fackverksmast. I Figur 3-5 syns båda fackverksmasterna med tillhörande utrustning.

### 3.6 Övervakning av referensstationer utan fast el

Stationer som drivs av sol- och vindkraft har ingen realtidsövervakning utan kontrolleras automatiskt en gång per dygn genom att jämföra filinnehåll på FTP-servern mot föregående dag. Om data saknas för någon eller några stationer skickas ett larm till Swepos driftledningscentral.

Ett verktyg för att eventuellt kunna analysera vad som orsakat bortfallet är framtaget och består av att varannan timme från varje GNSS-mottagare läsa av aktuell strömspanning i volt. Data från två av SMHI:s väderstationer hämtas på begäran; en för vindhastighet och en för antal soltimmar.

### 3.7 Service på GNSS-stationerna

För att upprätthålla en stabil drift av stationerna och upptäcka lokala fysiska brister besöks GNSS-stationerna i och omkring Forsmark en gång per år. Dessa besök dokumenteras i en aktivitetsdagbok; urklipp ur denna kan ses i Bilaga 2.



*Figur 3-5. Referensstation Västra Måsklinten (VMAS.0). Till vänster fackverksmast med GNSS-antenn. Till höger sitter sol-, och vindkraft samt övrig teknisk utrustning i aluminiumskåp. Foto: Hans-Åke Åström*



## 4 Dataflöde och tillhandahållande av GNSS-data

GNSS-rådata för varje referensstation lagras både internt i respektive mottagare i tillverkarspecifikt format upp till 12 månader och på Swepos FTP i RINEX-format och på band. Intervallet för GNSS-rådata är 30 sekunder och data lagras som dygnsfiler för de referensstationer som inte ingår i Swepos Nätverks-RTK-tjänst. Samtliga stationer som ingår i Swepos Nätverks-RTK-tjänst lagras på Swepos FTP-arkiv som både dygns- och timfiler i formatet RINEX.

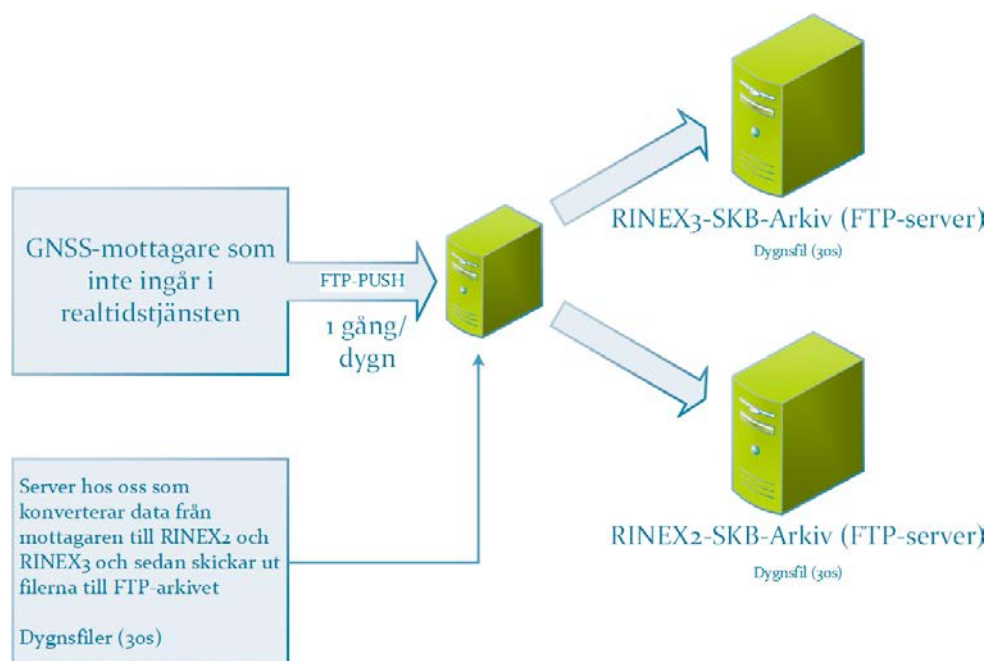
För filer som lagras i RINEX 2-format är loggningsintervall i dygnsfilerna 15 s samt 1 s för timfiler. För filer som lagras i RINEX 3-format är loggningsintervall i dygnsfilerna 30 s samt 1 s för timfiler.

### 4.1 Referensstationer som inte ingår i Swepos Nätverks-RTK

En gång per dygn skickas rådatafilerna från respektive mottagare till en lokal server hos Swepos. Rådata kvalitetskontrolleras och konverteras till både RINEX 2- och RINEX 3-format, packas därefter och läggs ut på Swepos FTP-arkiv.

RINEX-data från referensstationer som ingår i SKB-projektet hamnar under en egen filstruktur som kräver speciell behörighet för att få tillgång till, dels bakom ett specifikt användarnamn och lösenord, dels krävs specifik rättighet på användarkontot för att visa filstrukturen.

RINEX-data raderas inte från FTP-arkivet utan sparas över tid. RINEX-data som hamnar på FTP-servern skrivs också på två stycken skilda LTO5-band, s.k. A-band och B-band. När dessa LTO5-band är fyllda separeras de och lagras på två fysiskt skilda arkiv på Lantmäteriets huvudkontor. En översiktlig bild på dataflödet ses i Figur 4-1.

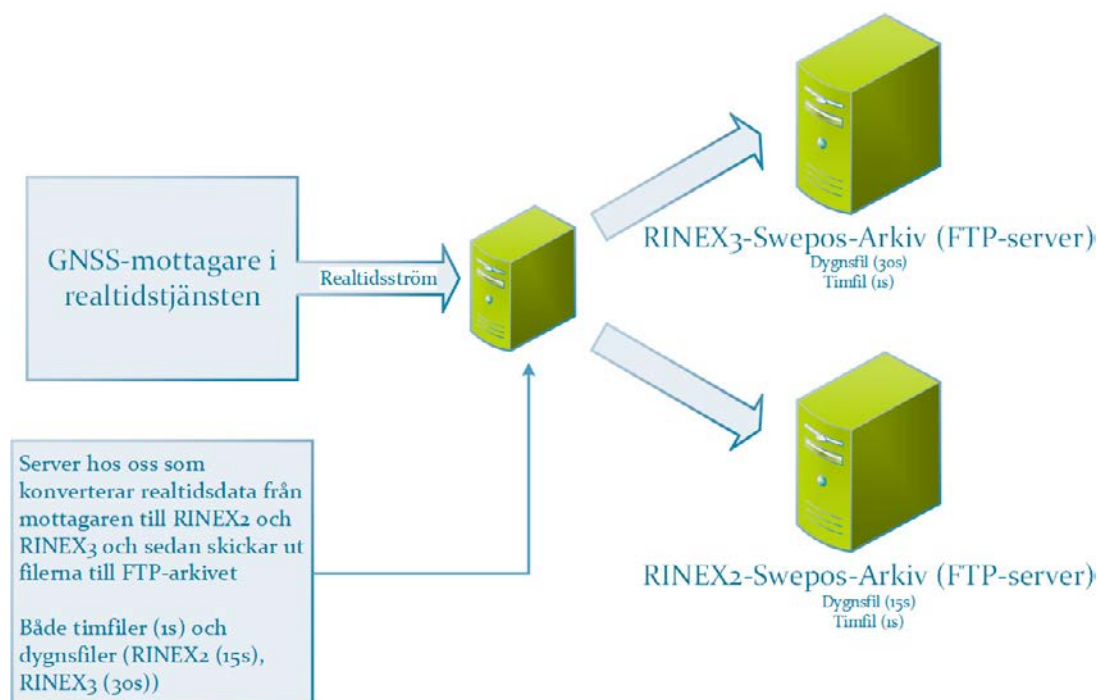


**Figur 4-1.** Flöde för hur GNSS-data strömmar från mottagare till FTP-server för stationer som inte ingår i Swepos Nätverks-RTK.

## 4.2 Referensstationer som ingår i Swepos Nätverks-RTK

För varje station som ingår i Swepos Nätverks-RTK är en eller fler dataströmmar uppkopplad mot vardera GNSS-mottagare. Dessa dataströmmar lagrar RINEX-data kontinuerligt på en specifik data-loggningsserver och läggs därefter ut på Swepos FTP-server efter varje timskifte och dygnskifte i både RINEX 2- och RINEX 3-format.

En kvalitetskontroll körs för både dygns- och timfiler. I händelse av att observationsepoker saknas sker ett automatiskt försök att laga dessa filer genom att rådata laddas ner från GNSS-mottagaren, konverteras och sedan skickas ut på FTP-servern igen. Samtliga data från GNSS-stationerna som ingår i realtidstjänsten läggs ut på Swepos FTP-server som abonnenter på Swepos Efterberäkning har tillgång till. För dataflöde se Figur 4-2.



**Figur 4-2.** Flöde för GNSS-data fram till Swepos FTP-arkiv.

## 5 Kontinuerliga GNSS-observationer i Forsmark

### 5.1 Tillgängliga GNSS-data

GNSS-data för perioden 24 november 2018 till 31 december 2019 har beräknats.

För fyra dygn i slutet av 2018 fanns observationsdata endast från KOB.B.0, varför det inte gick att genomföra beräkning av nätet dessa dagar. Utöver detta förekommer ett antal dygn där observationsfiler från en eller flera stationer saknas. För ytterligare tio dygn har observationsfilen för en – eller i enstaka fall två – av stationerna förkastats p.g.a. för kort observationstid. Totalt har 48 av 399 dygn färre än fem stationer i resultatet; se Figur 5-1.

### 5.2 Beräkning av GNSS-data

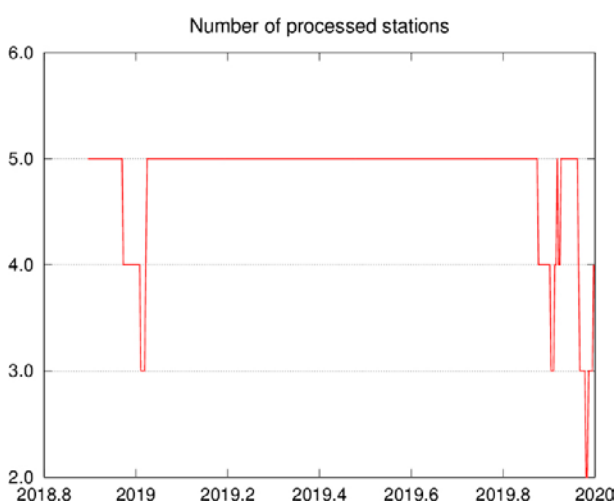
Varje dygn har räknats separat och resulterat i dagliga koordinatuppsättningar. KOB.B.0 har fixerats i beräkningarna och de andra stationerna har bestämts relativt denna.

De två huvudsakliga anledningarna till att KOB.B.0 valdes som referensstation vid beräkning av SKB-nätet är att stationen ligger mitt i nätet och är en av de stationer som har mest observationsdata.

Nedan beskrivs använda beräkningsstrategier och ställningstaganden som gjorts inför den årliga beräkningen. Inför kommande beräkningar kan dessa komma att omprövas.

### 5.3 Val av observationer

För den här typen av GNSS-tillämpningar används observationer av bärvågen på GNSS-satelliternas signaler L1 och L2; se Tabell 5-1. Man kan också använda olika kombinationer av L1 och L2, t.ex. jonosfärsfri linjärkombination L3 som används främst vid långa baslinjer för att eliminera den effekt som jonosfären har på GNSS-signalerna; se Tabell 5-2. Användning av L3 förstärker dock bruset, bl.a. från lokala effekter, ungefär tre gånger, vilket gör att L3 normalt inte är ett förstahandsalternativ vid korta baslinjer (upp till ca 10 km).



**Figur 5-1.** Antal stationer som ingått i GNSS-beräkningen varje dygn. Skalan på den horisontella axeln är decimala år.

**Tabell 5-1. Översikt över GPS-signalernas bärvågor.**

De redovisade bärvågsfrekvenserna avser GPS-systemet. Den ryska motsvarigheten GLONASS använder närliggande frekvenser, vilket ger interoperabilitet mellan systemen.

Bärvåg	Frekvens (MHz)
L1	1575.42
L2	1227.60
L5	1176.45

**Tabell 5-2. Linjärkombinationer av GNSS-signaler.**

Linjärkombination	Beskrivning
L3	Jonosfärsfri linjärkombination, $L3 = 2.546 \cdot L1 - 1.546 \cdot L2$ . Används för att eliminera jonosfärens effekt på GNSS-signalerna.
L4	Geometrifri linjärkombination, $L4 = L1 - L2$ . Används vid skattning av jonosfärsmoeller.

För denna beräkning av SKB-nätet beslutades att endast använda GPS- och GLONASS-data – d.v.s. inga Galileo-observationer. Det motiveras främst av att många antenmodeller, för mottagarantenner, ännu saknar ”äkta” värden för Galileo. Vanligtvis används därför GPS L2-värdena även för Galileo L5, vilket kan ge systematiska effekter. Dessutom förväntas inget signifikant tillskott av Galileo i det här fallet med stationer med bra sikt, långa mättider och korta avstånd.

## 6 GNSS-beräkning

För beräkning av GNSS-observationerna har Bernese GNSS Software version 5.2 (release 2019-05-23) använts. Programvaran, som är utvecklad vid universitet i Bern (Dach et al. 2015), bygger på sofistikerade, vetenskapliga algoritmer och modeller.

Dagliga koordinater i skattas i en minsta-kvadratutjämning av respektive dygns GNSS-observationer som har omformats till s.k. dubbeldifferenser. Dubbeldifferenserna bildas genom att beräkna differensen mellan observationerna från två mottagare (stationer) och två satelliter, vilket är ett vedertaget sätt att eliminera effekten av satellit- och mottagarklockfel samt reducera atmosfäreffekterna. I minsta-kvadratutjämningen tas hänsyn till de korrelationer som uppkommer genom differensbildningen.

Utjämningen resulterar i dagliga koordinatfiler och dagliga filer med normalekvationer i standardformatet SINEX. De senare innehåller såväl beräknade koordinater som deras kovarianser. Innan skattning av koordinaterna har avvikande observationer filterats bort och periodobekanta – antal hela våglängder mellan satellit och mottagare – har bestämts till heltal.

Bernese GNSS Software använder modeller för ett antal fysiska effekter för att producera så stabila lösningar som möjligt, bl.a. GNSS-satelliternas banor, effekter från sol, måne och större planeter, jordrotationsparametrar, tidjord och tidvatten samt jonosfärens och troposfärens effekter på GNSS-signalerna. De viktigaste parametrarna och modellerna redovisas i Tabell 6-1.

Elevationsmasken var genomgående  $3^\circ$  utom vid lösning av periodobekanta, där elevationsmasken var  $10^\circ$ . Elevationsberoende viktning av observationerna har använts för hela beräkningen, med viktsfunktionen  $\cos^2(z)$  där  $z$  är satellitens zenitvinkel.

För att reducera osäkerheten i satelliternas position används efterberäknade satellitbanor; i detta fall s.k. final-produkter från CODE (Dach et al. 2018).

En sammanfattning av beräkningsgången finns i Bilaga 3.

I Bilaga 4 redovisas strukturen för leverans av beräkning och resultat, så som de levererats till SKB:

- Indata (rådata, modeller m.m.)
- Beräkningsinställningar
- Resultat från Bernese GNSS Software
- Jämförelser och analyser av beräkningsresultat.

**Tabell 6-1. Huvudsakliga parametrar och modeller som använts i GNSS-beräkningen.**

<b>Indata</b>	
GNSS-observationer	GPS/GLONASS-data i RINEX-format, 30 sek-intervall
Banddata	CODE:s final-produkter
Referenssystem	IGS14 (GNSS-beräkning) SWEREF 99 18 00 ellh (koordinatlösningar)
Antennmodeller	Absoluta antennmodeller igs14.atx, inkl. typmodell för TPSCR.G5 NONE (används även för TPSCR.G5 OSPS)
Hastighetsmodell	NKG_RF17vel; avser främst landhöjning
<b>Parametrar och modeller</b>	
Observabler	Dubbeldifferenser av bärvågsobservationer Elevationsmask 3° Elevationsberoende viktning L1 och jonsfärfri linjärkombination L3 (L2 för kontroll)
Mottagarklockfel	Skattas ur kod-observationer för resp. mottagare; elimineras genom dubbeldifferenser
Satellitklockfel	Elimineras genom dubbeldifferenser
Kriterier för förkastande av data	Låg kvalitet på RINEX-data, t.ex. för få observationer Screening av dubbeldifferensresidualer; gränsvärde 6 mm för residualer
Lösning av periodobekanta	SIGMA-algoritm
Jonosfär	a) Regional jonsfärmodell b) CODE:s globala jonsfärmodell c) L3 eliminerar jonsfäreffekten
Troposfär	a) A priori-modell GMF för datascreening, preliminära (flyt-) lösningar och för lösning av periodobekanta. A priori-modell VMF för de slutliga lösningarna där ZPD skattas varje timme. b) A priori-modell GMF för datascreening och preliminära (flyt-) lösningar. A priori-modell VMF för de slutliga lösningarna. Ingen skattning av ZPD.
Tidjord	Hantering av tidjord i Bernese GNSS Software 5.2 görs enligt IERS conventions 2010.
Ocean tidal loading	FES2004 (Letellier 2004)
Atmospheric tidal loading	Ray-Ponte (Ray och Ponte 2003)
Referenssystemsrealisering	Nätet ansluts till ungefärligt IGS14 i observationsepoken, på KOB.B.0 (sigma 0,0001 m). Nätet ansluts till SWEREF 99 genom translation på KOB.B.0.

## 6.1 Jonosfär

Jonosfären är ett av de atmosfärslager som har störst påverkan på GNSS-signalerna på väg mellan satellit och GNSS-mottagare. Jonosfären innehåller en mängd fria elektroner som huvudsakligen produceras genom solstrålning och därför varierar jonsfäreffekten med jordens rotation och solens aktivitet. Effekten från jonsfären innebär böjning, fördröjning, polarisering och absorption av GNSS-signalerna (Johansson 1997).

För hantering av jonsfärfördröjningen har flera olika alternativ testats. Dels har CODE:s globala jonsfärmodeller (Dach et al. 2018) använts vid beräkning av L1- och L2-lösningarna. Vid beräkning av L3-lösningarna används jonsfärmodellen för beräkning av högre ordningens jonsfärkorrektioner.

Det andra alternativet var att skatta regionala jonsfärmodeller baserade på data från SKB-nätet, som sedan använts på samma sätt som de globala jonsfärmodellerna. För att modellera jonsfärens förändring över dygnet med rimlig upplösning skattades jonsfärparametrar var fjärde timme enligt förebild från Nyberg et al. (2013).



För skattning av de regionala jonofärsmodellerna används en s.k. geometrifierad linjärkombination av L1- och L2-frekvenserna, kallad L4 (Dach et al. 2015). L4 är oberoende av mottagarklockor och geometrier, d.v.s. satellitbanor och stationskoordinater.

Den maximala graden för klotypefunktionen (tvådimensionell Taylorseriutveckling) i skattningen sattes till ett (1), enligt tidigare analyser i Sjöberg et al. (2004), för att begränsa antalet skattade parametrar och få en så robust skattning som möjligt.

Dessa parameterintervall avviker lite från rekommendationerna i Bernese GNSS Software. Syftet är att prioritera jonofärsmodellens upplösning i tid framför upplösning i rum, då nätet har en mycket liten utbredning samtidigt som man kan förvänta sig variationer i jonofärs effekten över dygnet.

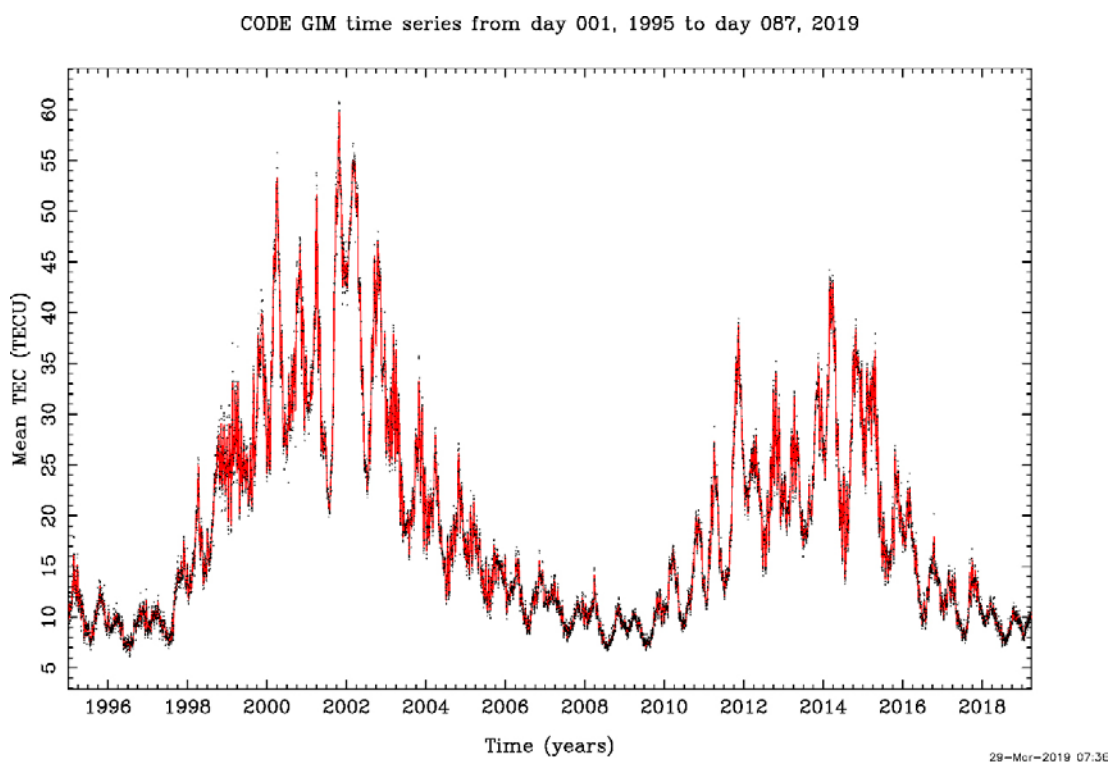
Dessutom har en lösning beräknats utan att använda jonofärsmodell, främst i testsyfte.

I sammanhanget är det viktigt att nämna att jonofärsaktiviteten under observationsperioden har varit låg (se Figur 6-1). Jonofären innehåller fria elektroner som huvudsakligen produceras genom solstrålning, och antalet elektroner varierar därför med jordens rotation och solens aktivitet. Elektroninnehållet (TEC) kan användas som ett ungefärligt mått på jonofärsaktiviteten på global nivå.

## 6.2 Troposfär

GMF (Global Mapping Function) (Böhm et al. 2007) har använts som a priori-modell och mappningsfunktion vid skattning av troposfärparametrar (ZPD) i datascreening och de preliminära lösningarna, såväl som vid lösning av periodobekanta. Troposfärparametrar har skattats varannan timme. För skattning av troposfärgradients användes Chen-Herrings modell (Chen och Herring 1997).

För de slutliga lösningarna användes VMF (Vienna Mapping Function) (Böhm et al. 2006) som a priori-modell och mappningsfunktion vid skattning av ZPD. Troposfärparametrar har skattats varje timme. För skattning av troposfärgradients användes Chen-Herrings modell.



**Figur 6-1.** Tidsserie över det globala elektroninnehållet (TEC) i jonofären. Tidsserien baseras på data från CODE:s produktion av jonofärsmodeller. Figur från Swiss Geodetic Commission (2019).

För små GNSS-nät går det inte att skatta troposfärparametrar för alla stationer eftersom korrelationen mellan dem blir för hög. P.g.a. detta har troposfärparametrarna skattats relativt en referensstation; i detta fall KOBB.0.

Dessutom har ett antal lösningar beräknats, där troposfärparametrar inte har skattats. Även i dessa fall har GMF använts som a priori-modell och mappningsfunktion i datascreening, för de preliminära lösningarna och vid lösning av periodobekanta. För de slutliga lösningarna användes VMF som a priori-modell och mappningsfunktion.

### 6.3 Lösning av periodobekanta

Som kriterium för baslinjebildningen används OBSMAX-strategin, d.v.s. att baslinjer skapas för de stationer som har flest gemensamma satellitobservationer.

A priori-koordinater för lösning av periodobekanta hämtas från de preliminära (d.v.s. flyt-) lösningarna, som är dubbeldifferenslösningar där stora residualer markerats och periodbortfall korrigerats.

Periodobekanta löstes oberoende för L1 och L2 med SIGMA-algoritmen som är ett effektivt alternativ för korta baslinjer och långa sessioner.

### 6.4 Referenssystemsanslutning

Genom att använda ”kända” koordinater i ett väldefinierat referenssystem, för en eller flera referensstationer, kan GNSS-lösningarna anslutas till referenssystemet. Om koordinaterna för endast en referensstation fixeras, kommer nätets geometri från GNSS-beräkningen att bevaras, vilket är lämpligt i detta fall.

För GNSS-beräkningen används referenssystemet IGS14, vilket är referenssystemet för satellitbanorna. A priori-koordinater i IGS14, epok 2010.0, för alla stationer har tagits fram genom en tidigare PPP-beräkning, som i stora drag följer rekommendationerna i Dach et al. (2015). Eftersom inga skattade hastigheter i IGS14 finns för SKB-stationerna, så används hastighetsmodellen NNR-NUVEL-1A (DeMets et al. 1994) för att extrapolera IGS14-koordinaterna till observationsepoken. Osäkerheten i PPP-lösningen och att det endast finns s.k. NUVEL-hastigheter gör att IGS14-koordinaterna ska betraktas som ungefärliga i sitt absolutläge. För analyserna av SKB-nätet vill man dessutom använda ett statistiskt referenssystem som inte förändras med den europeiska plattans rörelse.

De slutliga lösningarna har därför transformerats till SWEREF 99 genom att göra en translation på KOBB.0 till de s.k. definitiva SWEREF 99-koordinaterna (Alfredsson et al. 2019). Det fanns dessutom en önskan från SKB att resultaten skulle redovisas i SWEREF 99 18 00, med ellipsoidhöjder.

### 6.5 Hastighetsmodell

Innan de slutliga lösningarna transformeras till SWEREF 99, som har internepok 1999.5, måste IGS14-koordinaterna i observationsepoken reduceras till epoken 1999.5 för att korrigera för kontinentalplattans interna rörelser; främst landhöjningen.

Vid beräkning av GNSS-nät med liten geografisk utbredning är det inte alltid kritiskt att applicera landhöjningskorrektion. Med tanke på att SKB-nätet är tänkt att vara i drift under lång tid, och observationerna beräknas med i huvudsak samma beräkningsmetodik, kan dock en liten landhöjningsskillnad mellan stationerna ändå vara betydelsefull att hantera.

Reduktionen till epok 1999.5 har gjorts med den nordiska hastighetsmodellen NKG\_RF17vel (Häkli et al. 2019), som bygger på horisontella GNSS-hastigheter från ett antal olika projekt samt vertikala hastigheter från GIA-modellering. Se Tabell 6-2 för SKB-stationernas hastigheter ur NKG\_RF17vel.

**Tabell 6-2. Hastigheter för SKB-stationerna, ur hastighetsmodellen NKG\_RF17vel. (Enhet: mm/år.)**

Station	vN	vE	vU
KOBB.0	-0.81	-0.19	7.26
LKBB.0	-0.81	-0.19	7.26
NBIO.0	-0.81	-0.20	7.31
SSKA.0	-0.82	-0.18	7.21
VMAS.0	-0.82	-0.18	7.24

På några decenniers sikt kommer landhöjningen att påverka stationernas inbördes lägen, varför det blir relevant att korrigera för denna för att få bästa möjliga koordinater i SWEREF 99. Utifrån antagandet att SKB-nätet kommer att vara i drift under lång tid har landhöjningskorrektioner beräknats för respektive station, dels från 1999.5 till idag, dels från 1999.5 till 2030, för att påvisa skillnaderna mellan de olika stationernas lägen. Tabell 6-3 visar att landhöjningskorrektionen över 30,5 år (1999.5 till 2030.0) skiljer 0,3 mm i N-komponenten mellan KOBB.0, LKBB.0 och NBIO.0 å ena sidan och SSKA.0 och VMAS.0 å andra sidan. I E-komponenten är skillnaden 0,61 mm mellan de sydliga stationerna och den nordligaste stationen. I Up-komponenten är den största skillnaden i landhöjningskorrektion 3,05 mm, mellan NBIO.0 och SSKA.0.

Målet har här varit att producera bästa möjliga koordinater i SWEREF 99, vilket inkluderar landhöjningsreduktion till epok 1999.5. Om man vill ha möjlighet att detektera relativa rörelser mellan stationerna, som orsakas av landhöjningen, kan inte landhöjningsreduktion appliceras. För att ändå få ungefärliga koordinater i SWEREF 99 för stationerna, kan nätet passas in på SWEREF 99, på en av stationerna. Man får då inte bästa möjliga koordinater i SWEREF 99 (d.v.s. i epok 1999.5) på de andra stationerna, men den relativa skillnaden i landhöjning kommer att synas som rörelser (utom för den station som hållits fast i inpassningen).

Detta angreppssätt kan implementeras vid nästa årliga beräkning.

**Tabell 6-3. Den totala landhöjningskorrektionen för resp. SKB-station, baserat på hastigheterna ur NKG\_RF17vel. (Enhet: mm.)**

Station	Landhöjningskorrektion 1999.5-2020.0			Landhöjningskorrektion 1999.5-2030.0		
	N	E	U	N	E	U
KOBB.0	-16.61	-3.90	148.83	-24.71	-5.80	221.43
LKBB.0	-16.61	-3.90	148.83	-24.71	-5.80	221.43
NBIO.0	-16.61	-4.10	149.86	-24.71	-6.10	222.96
SSKA.0	-16.81	-3.69	147.81	-25.01	-5.49	219.91
VMAS.0	-16.81	-3.69	148.42	-25.01	-5.49	220.82
Max	-16.61	-3.69	149.86	-24.71	-5.49	222.96
Min	-16.81	-4.10	147.81	-25.01	-6.10	219.91
Max-min	0.20	0.41	2.05	0.30	0.61	3.05

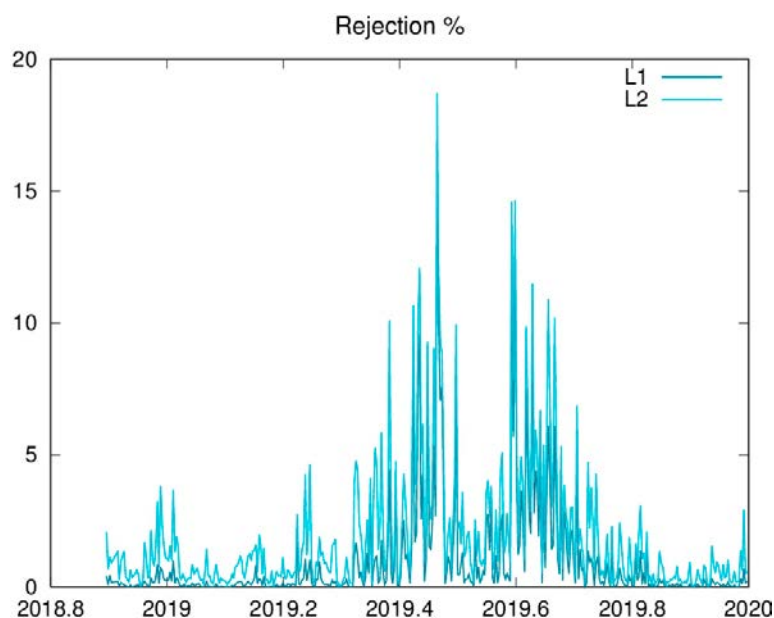
## 6.6 De olika lösningarna

För SKB-nätet har ett antal olika beräkningar gjorts för jämförelse och utvärdering; se Tabell 6-4. Varje beräkning innehåller såväl L1- och L2- som L3-lösningar.

**Tabell 6-4. De olika beräkningarna av SKB-nätet.**

Benämning	Parametrar vid beräkning
regIONO_TROP	Regional jonofärsmodell; skattning av tropofärsparametrar
globIONO_TROP	Global jonofärsmodell; skattning av tropofärsparametrar
noIONO_TROP	Ingen jonofärsmodell; skattning av tropofärsparametrar
regIONO_noTROP	Regional jonofärsmodell; ingen skattning av tropofärsparametrar
globIONO_noTROP	Global jonofärsmodell; ingen skattning av tropofärsparametrar

Andelen förkastade observationer (se Tabell 6-5 och Figur 6-2), andelen lösta periodobekanta (Tabell 6-6) och RMS för de dagliga lösningarna (Tabell 6-7) i respektive beräkningsalternativ varierar minimalt, beroende på vilka strategier som valts för att hantera jonofärs- respektive tropofärsfördröjning.



**Figur 6-2.** Andelen förkastade observationer varierar över året, men ligger i allmänhet under 5 % per dag. Figuren avser beräkningsalternativet regIONO\_TROP, men ser ungefär lika ut för alla beräkningsalternativ.

**Tabell 6-5. Andelen förkastade observationer i de olika beräkningsalternativen. (Enhet: %.)**

		regIONO_TROP	globIONO_TROP	no_IONO_TROP	regIONO_noTROP	globIONO_noTROP
L1	medel	0.94	0.94	0.95	0.97	0.97
	max	16.92	16.88	16.97	17.02	17.05
	min	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
L2	medel	1.87	1.87	1.89	1.92	1.92
	max	18.70	18.61	18.68	18.74	18.75
	min	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
L3	medel	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	max	0.04	0.03	0.03	0.02	0.04
	min	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

**Tabell 6-6. Andelen lösta periodobekanta för de dagliga lösningarna från de olika beräkningsalternativen. (Enhet: %.)**

		regIONO_TROP	globIONO_TROP	no_IONO_TROP	regIONO_noTROP	globIONO_oTROP
L1	medel	99.93	99.93	99.93	99.93	99.93
	max	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	min	88.10	90.50	88.10	88.10	88.10
L2	medel	99.93	99.93	99.93	99.93	99.93
	max	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	min	88.10	88.10	88.10	88.10	88.10

**Tabell 6-7. RMS i slutlösningarna för de olika beräkningsalternativen. (Enhet: mm.)**

		regIONO_TROP	globIONO_TROP	no_IONO_TROP	regIONO_oTROP	globIONO_noTROP
L1	medel	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
	max	2.3	2.3	2.4	2.4	2.4
	min	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
L2	medel	1.5	1.5	1.6	1.6	1.6
	max	2.5	2.5	2.5	2.6	2.5
	min	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
L3	medel	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
	max	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
	min	0.6	0.6	0.7	0.6	0.6



## 7 Resultat och diskussion

### 7.1 Daglig repeterbarhet

Repeterbarheten för de dagliga lösningarna, som visas i Tabell 7-1 och Tabell 7-2, är det främsta kriteriet för valet av den eller de lösningar som kan vara aktuella att använda vid resultatredovisningen.

**Tabell 7-1. Daglig repeterbarhet, uttryckt som RMS, för de lösningar där troposfärparametrar skattats.**

(Enhet: mm.)

		regIONO_TROP	globIONO_TROP	no_IONO_TROP
L1	N	0.64	0.62	0.66
	E	0.32	0.32	0.33
	U	0.99	0.98	1.02
L2	N	0.74	0.69	0.77
	E	0.34	0.35	0.39
	U	1.02	1.00	1.06
L3	N	0.63	0.63	0.63
	E	0.41	0.41	0.41
	U	1.31	1.31	1.31

Repeterbarheten – precisionen – för L1- och L2-lösningarna är på samma nivå för de beräkningar som gjorts med regional respektive global jonosfärmodell. Som förväntat är repeterbarheten något sämre i den beräkning där ingen jonosfärmodell använts.

L3-lösningarna har jämförbar repeterbarhet i alla tre beräkningarna, oavsett om jonosfärmodell använts eller inte. L3 är en linjärkombination som eliminerar jonosfäreffekten, vilket betyder att det inte har någon betydelse vilken jonosfärmodell som används. I de fall en jonosfärmodell har använts så är den endast grund för beräkning av högre ordningens jonosfärkorrektioner vid användning av L3, men detta bidrag är litet.

Precisionen i N-komponenten är ungefär densamma i L3-lösningarna, som i L1-lösningarna med regional eller global jonosfärmodell. L3 har dock något – men inte mycket – sämre repeterbarhet i E och U. Användningen av L3 förstärker brusets men här är försämringen mindre än förväntat, vilket kan bero på att hela nätet har identiska antenninstallationer (antenn- och radomtyp TPSCR. G5 OSPS) och snarlika monument.

**Tabell 7-2. Daglig repeterbarhet, uttryckt som RMS, för de lösningar där troposfärparametrar inte har skattats.**

(Enhet: mm.)

		regIONO_noTROP	globIONO_noTROP
L1	N	0.65	0.63
	E	0.33	0.34
	U	1.14	1.12
L2	N	0.74	0.69
	E	0.36	0.36
	U	1.16	1.11
L3	N	0.63	0.63
	E	0.42	0.42
	U	1.29	1.29

Om troposfärparametrar skattas eller inte, gör liten skillnad på den dagliga repeterbarheten; jfr. Tabell 7-1 och Tabell 7-2. Sannolikt beror detta på att SKB-stationerna ligger nära varandra och att miljön kring dem är likartad – de ligger alla i kustnära miljö och höjdskillnaderna mellan stationerna är liten.

För L1-lösningarna är repeterbarheten i Up-komponenten något bättre i beräkningsalternativet *regIONO\_TROP* än i *regIONO\_noTROP*.

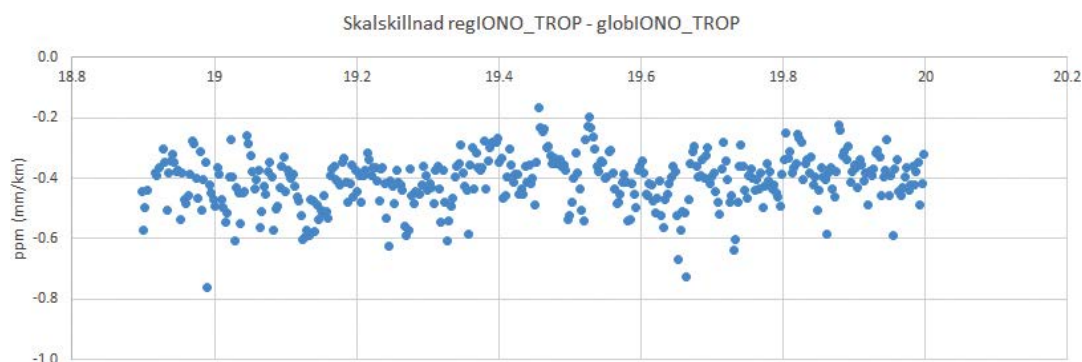
## 7.2 Jämförelse av olika beräkningsalternativ

### 7.2.1 Hantering av jonosfärsfördröjning

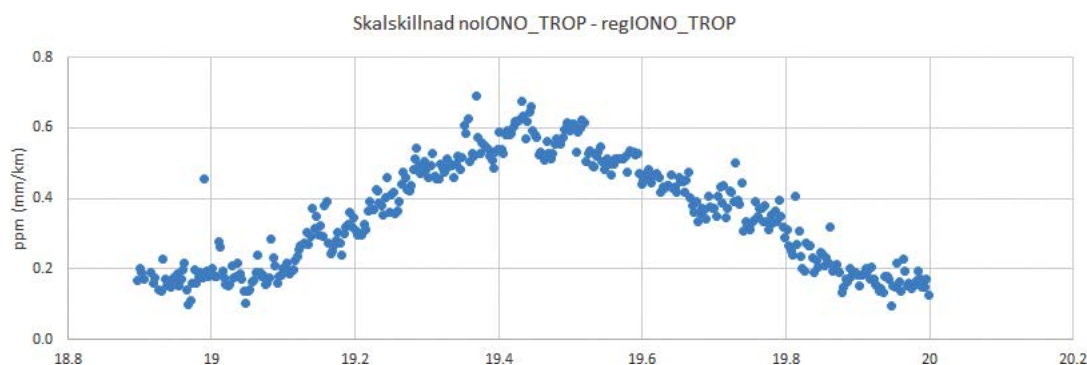
Repeaterbarheten för de dagliga lösningarna, som redovisas i Tabell 7-1, visar att det är bra att använda en jonosfärmodell, om man avser att låta L1-lösningen vara slutlösning. Det kommer sannolikt att bli än tydligare då jonosfärsaktiviteten ökar.

För att vidare studera hur väl de båda jonosfärmodellerna hanterar jonosfärsfördröjningen jämfördes dagliga L1-lösningar från beräkningsalternativen *regIONO\_TROP* och *globIONO\_TROP*. Jämförelsen gjordes genom Helmert-transformationer där fyra parametrar – tre translationer och skala – löstes för att se eventuell skalskillnad mellan de två alternativen; se Figur 7-1.

Vid jämförelse av *regIONO\_TROP*-lösningen med lösningen utan jonosfärmodell, *noIONO\_TROP*, så syns en årstidsrelaterad variation i skalskillnaden mellan lösningarna; se Figur 7-2. En liknande signal syns vid motsvarande jämförelse av *globIONO\_TROP*-lösningen med lösningen utan jonosfärmodell.



**Figur 7-1.** Genomsnittlig skalskillnad mellan de dagliga L1-lösningarna från beräkningsalternativen *regIONO\_TROP* och *globIONO\_TROP* är -0,41 ppm (mm/km) (*regIONO\_TROP* minus *globIONO\_TROP*). Skalan på den horisontella axeln är decimala år från år 2000.



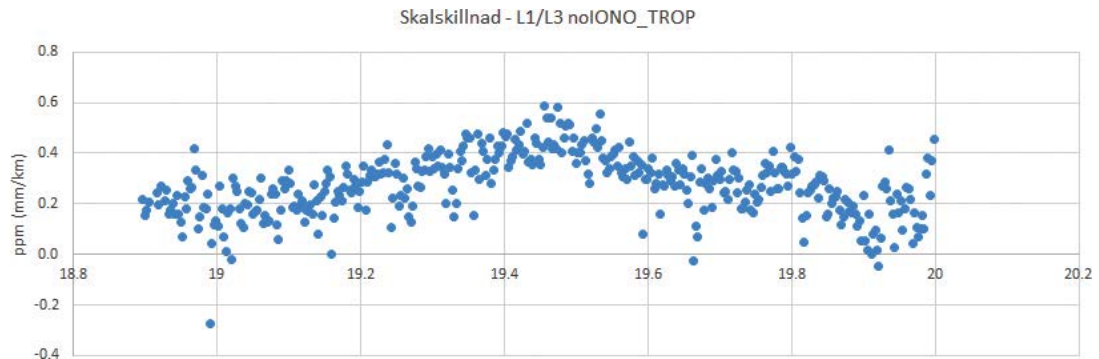
**Figur 7-2.** Skalskillnaden mellan de dagliga L1-lösningarna från beräkningsalternativen *noIONO\_TROP* och *regIONO\_TROP* (*noIONO\_TROP* minus *regIONO\_TROP*) varierar över året.



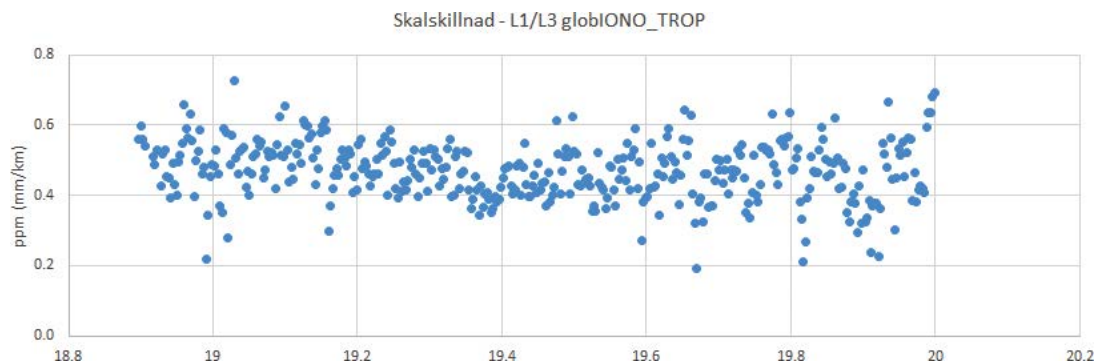
För att försöka ta reda på om den årstidsrelaterade skalvariationen härrör från den okorrigerade jonosfärsfördröjningen i *noIONO\_TROP*-lösningen eller från de använda jonosfärmodellerna jämfördes L1- och L3-lösningarna från respektive beräkningsalternativ. I L3-lösningarna ska ju jonosfäreffekten elimineras.

Den årstidsrelaterade variationen i skalskillnad kan ses mellan L1- och L3-lösningarna i alternativet *noIONO\_TROP* (Figur 7-3), men varken i *globIONO\_TROP* (Figur 7-4) eller *regIONO\_TROP* (Figur 7-5).

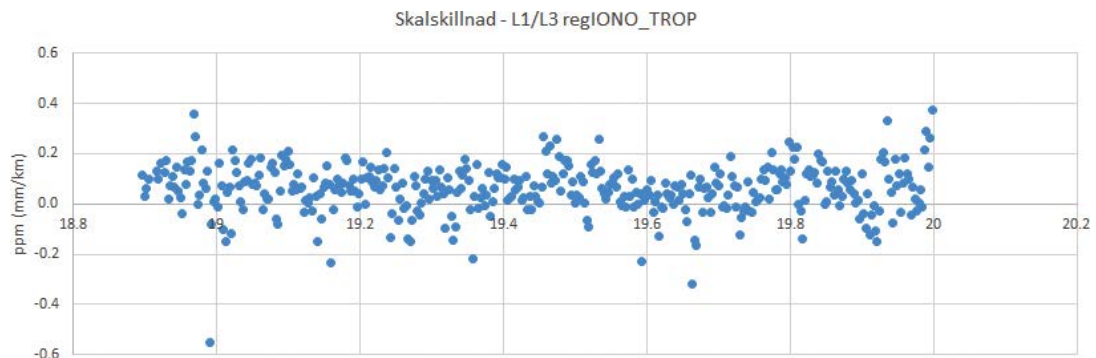
Ur detta dras slutsatsen att den årstidsrelaterade signalen från jonosfären härrör från den okorrigerade jonosfärsfördröjningen i *noIONO\_TROP*-alternativets L1-lösning.



**Figur 7-3.** I beräkningsalternativet *noIONO\_TROP* syns en årstidsvariation i skalskillnad mellan de dagliga L1- och L3-lösningarna (L1 minus L3).



**Figur 7-4.** I beräkningsalternativet *globIONO\_TROP* syns ingen årstidsvariation i skalskillnaden mellan dagliga L1- och L3-lösningar. Den genomsnittliga skalskillnaden är 0,47 ppm.



**Figur 7 5.** I beräkningsalternativet *regIONO\_TROP* syns ingen årstidsvariation i skalskillnaden mellan dagliga L1- och L3-lösningar. Den genomsnittliga skalskillnaden är 0,06 ppm.

I *globIONO\_TROP*-beräkningen är skilskillnaden mellan L1- och L3-lösningarna större än i *regIONO\_TROP*-alternativet (0.47 ppm resp. 0.06 ppm) och det tycks alltså som att den regionala jonosfärmodellen tar omhand jonosfärsfördröjningen på ett bättre sätt än den globala modellen, som inte kan eliminera skalfelet i L1-lösningen helt. Den regionala jonosfärmodellen blir därför i nuläget huvudalternativ för hantering av jonosfären vid beräkning av SKB-nätet.

Eftersom de hittills insamlade observationerna från SKB-nätet har gjorts under en period då jonosfäraktiviteten är låg, är det svårt att dra några säkra slutsatser om vilken jonosfärmodell som är mest lämpad – i synnerhet för observationer som kommer att göras då jonosfäraktiviteten är högre. Motsvarande jämförelser av olika jonosfärmodeller bör då göras på nytt.

Så länge jonosfäraktiviteten är låg kan man anta att de båda typerna av jonosfärmodeller kan hantera jonosfärs effekten på ett tillfredsställande sätt, men med högre jonosfäraktivitet ökar kraven på jonosfärmodellen. T.ex. kan det ha större betydelse att jonosfärmodellens har tillräcklig upplösning i tid och rum, vilket i sin tur betyder att mängden indata till modellen måste vara tillräcklig för att skatta mängden parametrar med tillräcklig säkerhet.

## 7.2.2 Skattning av troposfärparametrar

Troposfären är den lägsta delen av atmosfären och dess påverkan på GNSS-signalerna kan delas in i en hydrostatisk och en våt del. Den hydrostatiska fördröjningen beror främst på torra gaser i troposfären. Effekten är temperatur- och tryckberoende men varierar endast svagt över tid, och är därmed relativt enkel att förutsäga. Den våta fördröjningen orsakas av troposfärens innehåll av vattenånga, varierar mer än den hydrostatiska fördröjningen och är därmed svårare att prediktera.

Om antennenmodellen – den modell som beskriver antennens elektriska egenskaper – inte är representativ för den GNSS-antennen som använts, eller om närmiljön påverkar antennens elektriska egenskaper, så finns en risk att antennenmodellens brister felaktigt tolkas som troposfärsfördröjning och introducerar fel i de skattade parametrarna (troposfär och höjd). Det gäller särskilt om GNSS-nätet innehåller flera olika antenntyper och effekten förstärks vid jonosfärsfri linjärkombination. I detta fall bedöms inte detta vara någon betydande risk eftersom likadana antenner – och liknande antennenmonument – används på alla SKB-stationer.

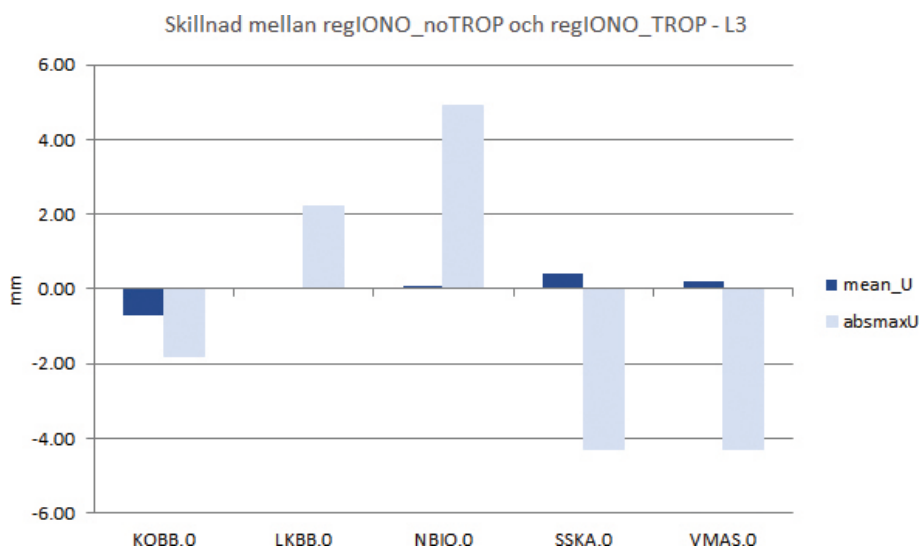
Då nätet har en liten utbredning både i plan och höjd förväntas normalt ingen större skillnad i troposfärsfördröjningen mellan stationerna, och därmed kan skillnaderna mellan L3-lösningar där troposfärparametrar skattas eller inte, användas för att upptäcka problem med att antennenmodellen inte är representativ. För att studera detta gjordes jämförelser av dagliga L3-lösningar från beräkningsalternativen *regIONO\_noTROP* och *regIONO\_TROP*. Jämförelsen gjordes genom Helmert-transformationer där fyra parametrar – tre translationer och skala – löstes.

Figur 7-6 visar att den genomsnittliga skillnaden mellan de två lösningarna är liten.

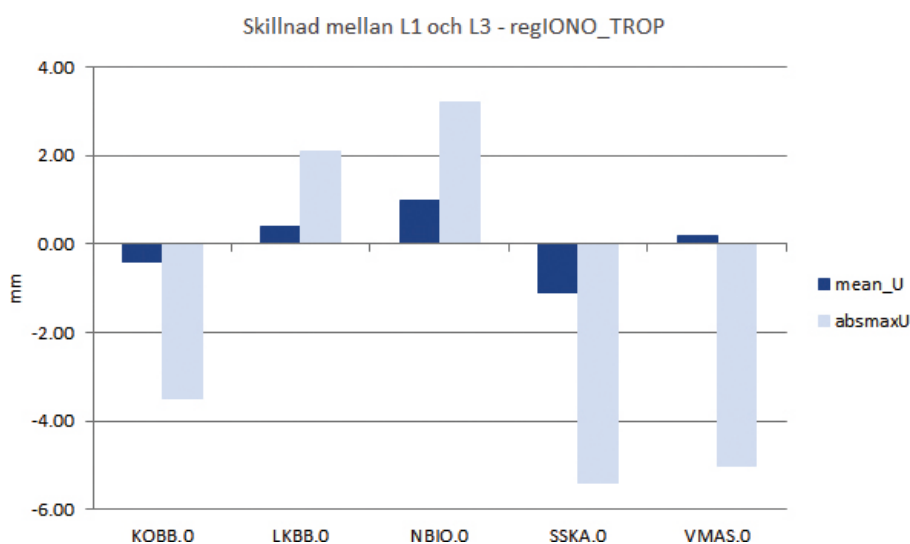
SSKA.0 är den station vars närmiljö är mest olik de andra stationerna, eftersom den har en betydligt högre mast och är inte heller belägen på en berghäll direkt vid vatten. Om troposfärsskattningen skulle ta upp andra effekter vid SSKA.0 än de övriga stationerna, så skulle L3-lösningen bli mer osäker för denna station än för de andra, särskilt i Up-komponenten. Jämförelsen gjordes genom Helmert-transformationer där fyra parametrar – tre translationer och skala – löstes.

Figur 7-7 visar att den genomsnittliga skillnaden mellan L1- och L3-lösningarna är av samma storleksordning för SSKA.0 som för de övriga stationerna, så det finns inga indikationer på att skattning av troposfärparametrar innebär en risk i detta fall. L1-lösningen är inte lika känslig för dessa problem.

Dach et al. (2015) rekommenderar att troposfärparametrar alltid skattas, utom då observationstiden är mycket kort. Utifrån detta, och ovanstående resonemang, beslutas att skatta troposfärparametrar.



**Figur 7-6.** Genomsnittliga residualer (mörkblå staplar) från Helmert-transformation mellan dagliga L3-lösningar från beräkningsalternativen regIONO\_noTROP och regIONO\_TROP för resp. station i SKB-nätet. De ljusblå staplarna visar största residual för resp. station.



**Figur 7-7.** Genomsnittliga residualer (mörkblå staplar) från Helmert-transformation mellan dagliga L1- och L3-lösningar (L1 minus L3) från beräkningsalternativet regIONO\_TROP, för resp. station i SKB-nätet. De ljusblå staplarna visar största residual för resp. station.

### 7.2.3 L1- eller L3-lösning

SKB-nätet är uppbyggt endast av korta baslinjer – som mest ca 7,5 km mellan NBIO.0 och SSKA.0 – vilket talar för att använda L1-lösningar. Precisionen i L1-lösningarna är också något bättre – främst i E- och Up-komponenterna – än L3-lösningarna (se Tabell 7-1), och därför betraktas L1 för närvarande som huvudlösning för beräkningen av SKB-nätet.

Med tanke på att precisionen i L3-lösningarna är bättre än förväntat, så kan det bli aktuellt att överväga L3 som slutlösning – efter förnyad analys – under perioder då jonofsaktiviteten är högre.

## 7.3 Koordinattidsserier

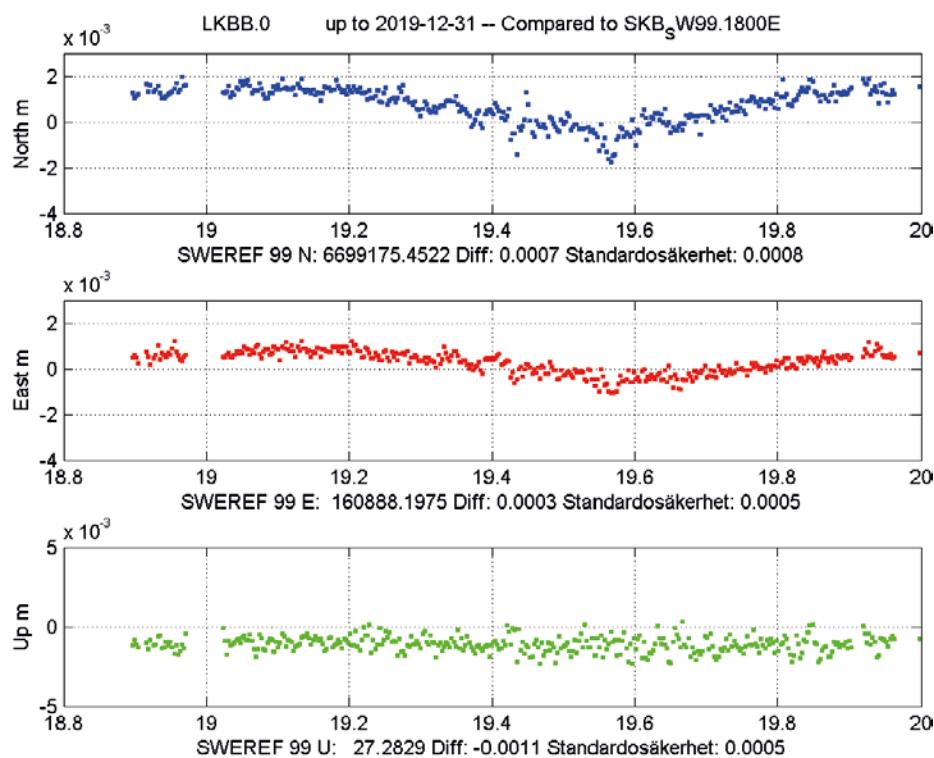
Den valda lösningen är L1 från beräkningsalternativet *regIONO\_TROP*, enligt resonemangen ovan.

De dagliga koordinatlösningarna från GNSS-beräkningen har transformerats från geocentriska kartesiska koordinater i SWEREF 99, till plana koordinater i SWEREF 99 18 00 samt ellipsoidhöjd, för att sedan sammanfogas till stationsvisa tidsserier.

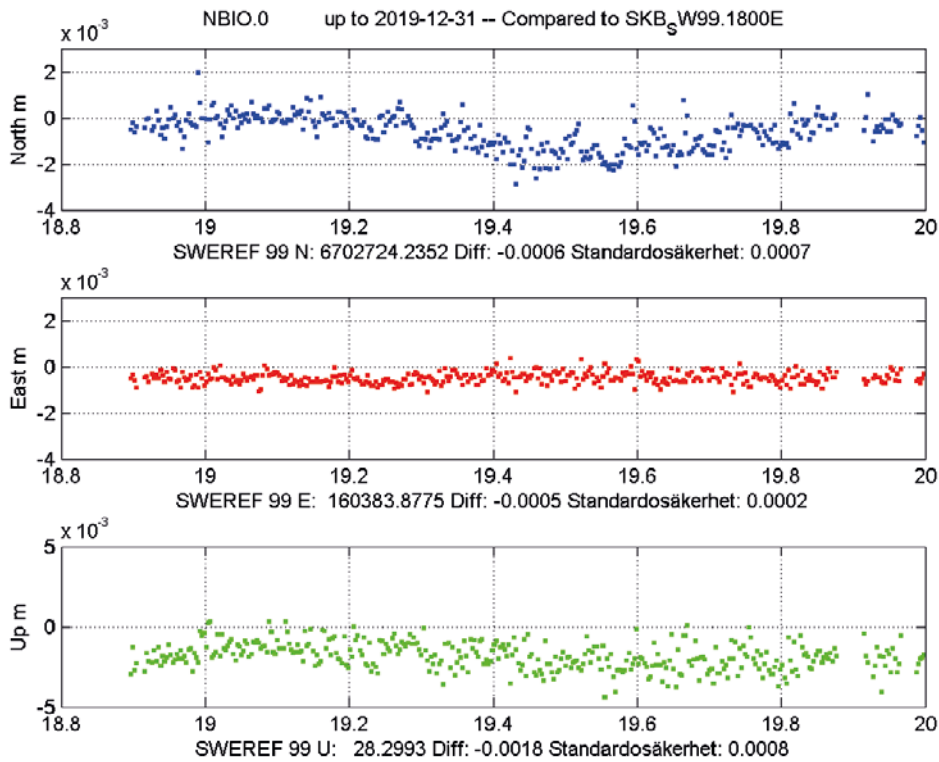
Koordinattidsserierna från den årliga beräkningen visas i Figur 7-8 till Figur 7-12, respektive Figur 7-13 till Figur 7-18, som residualer i förhållande till de s.k. definitiva SWEREF 99-koordinaterna för varje station (redovisas under resp. diagram).

### 7.3.1 Anslutning till SWEREF 99 på KOB.B.0

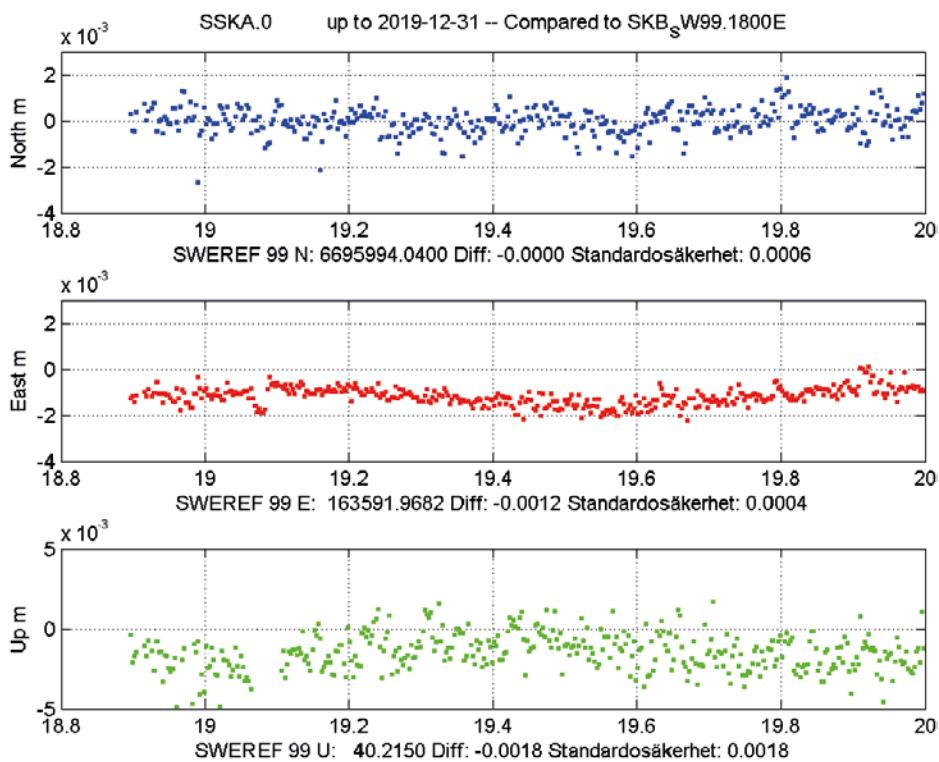
Koordinatlösningarna är anslutna till SWEREF 99 genom translation – d.v.s. Helmert-transformation där tre translationer lösts – på KOB.B.0 för att så småningom kunna analysera eventuella relativa rörelser mellan stationerna. Det innebär att koordinattidsserien för KOB.B.0 inte är relevant att redovisa eftersom stationen i praktiken har hållits fast i anslutningen.



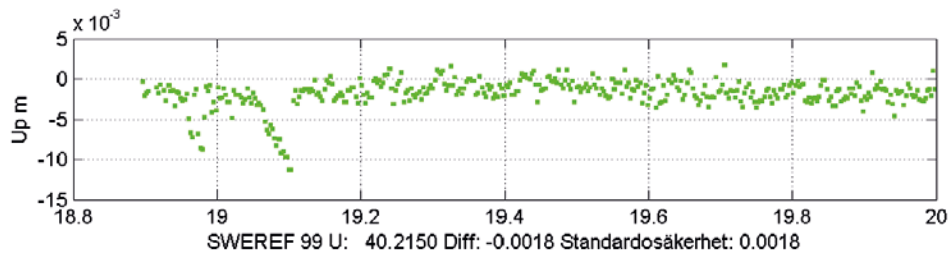
**Figur 7-8.** Koordinattidsserie för LKBB.0, baserad på koordinater från L1-lösningen från beräkningsalternativet *regIONO\_TROP*. Skalan på de horisontella axlarna är decimala år från år 2000. Anslutningen till SWEREF 99 är gjord genom translation på KOB.B.0.



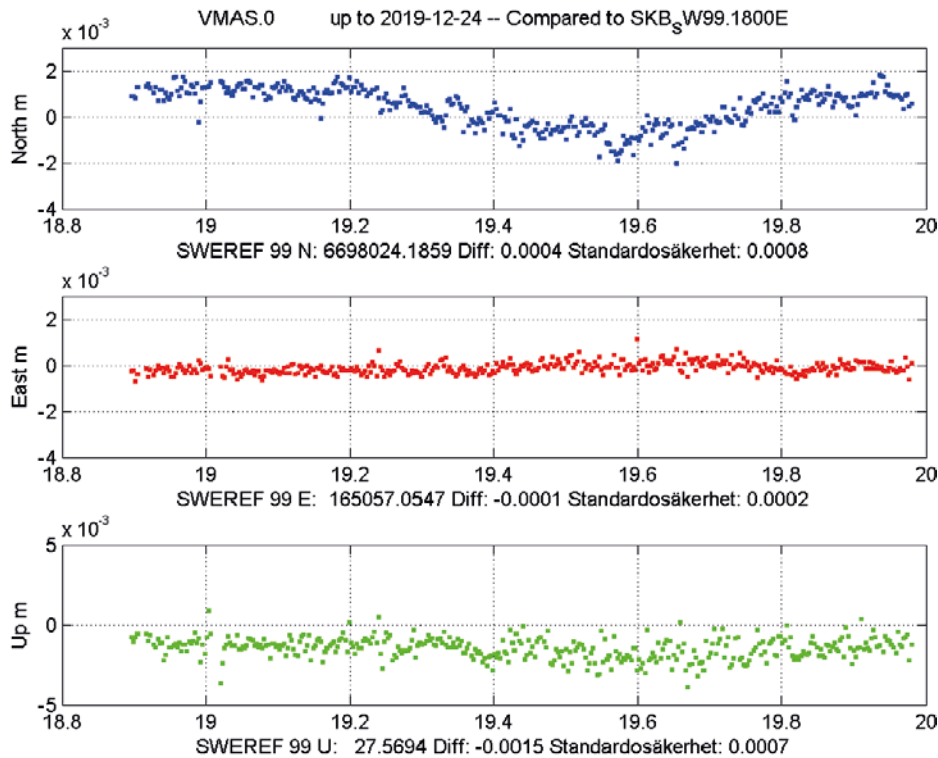
**Figur 7-9.** Koordinattidsserie för NBIO.0. Anslutningen till SWEREF 99 är gjord genom translation på KOB.0.



**Figur 7-10.** Koordinattidsserie för SSKA.0. Anslutningen till SWEREF 99 är gjord genom translation på KOB.0. Omkring årsskiftet 2018/2019 samlades snö på antennen, vilket gav avvikande koordinater i Up-komponenten. P.g.a. den valda vertikala skalan syns inte dessa avvikelser här; se även Figur 7.11.



**Figur 7-11.** Koordinattidsserie för Up-komponenten för SSKA.0, där den vertikala skalan är vald så att alla koordinatlösningar i tidsserien visas.

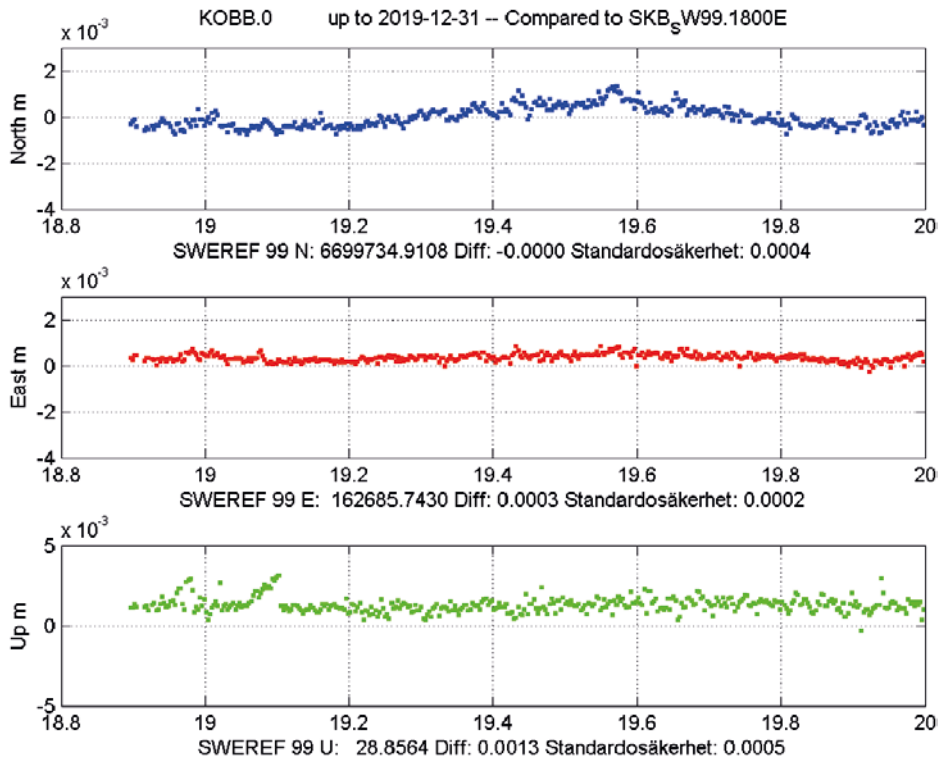


**Figur 7-12.** Koordinattidsserie för VMAS.0. Anslutningen till SWEREF 99 är gjord genom translation på KOB.0.

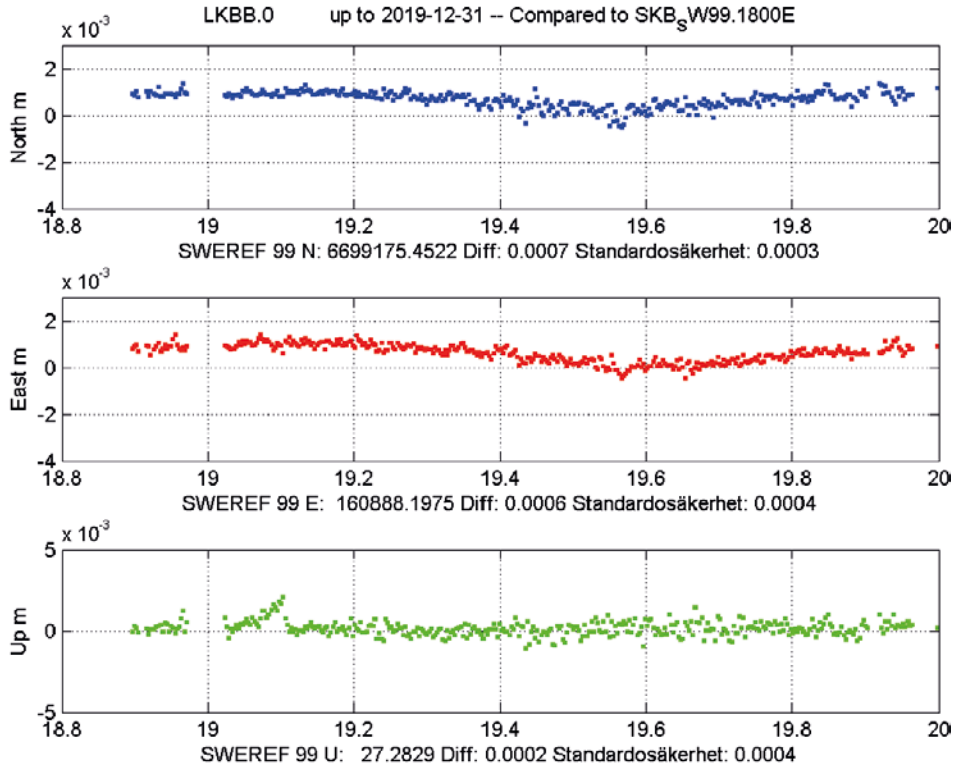
### 7.3.2 Anslutning till SWEREF 99 på alla stationer

För att få information om hur KOB.0 beter sig, gjordes även en alternativ anslutning av de dagliga lösningarna till SWEREF 99, baserad på alla tillgängliga stationer. Även denna anslutning är en Helmert-transformation med tre translationer.

En nackdel med detta angreppssätt – när så få stationer ingår i nätet – är att avvikelser i enskilda stationer som ska fördelas över nätet, ger relativt stor effekt på övriga stationer. Effekten på de övriga stationerna blir dock mindre än den ursprungliga avvikelsen, och har motsatt riktning.

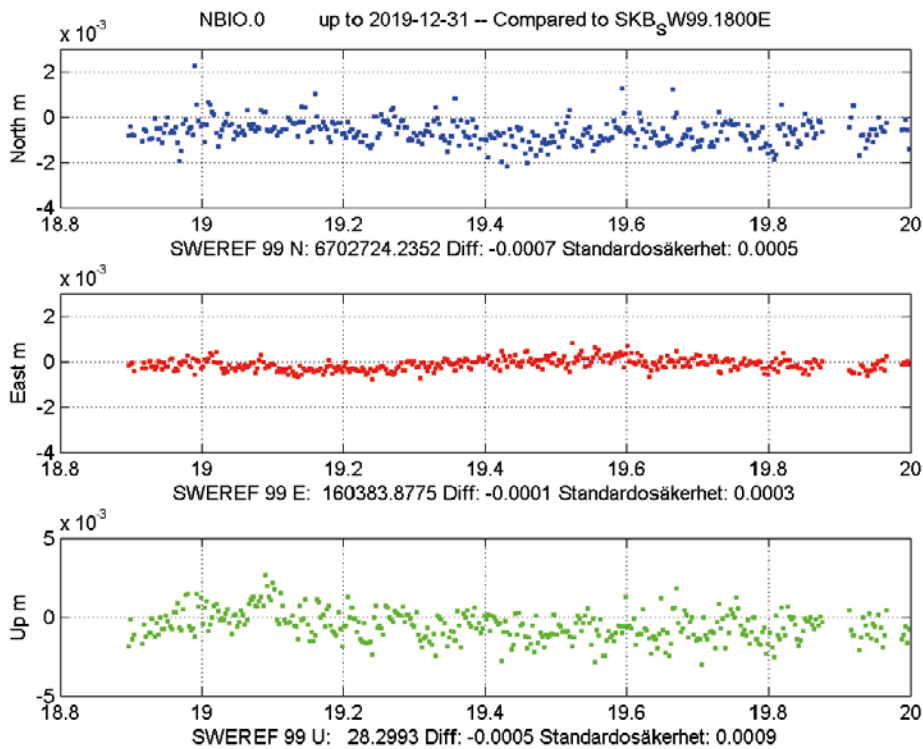


**Figur 7-13.** Koordinattidsserie för KOBB.0, baserad på koordinater från L1-lösningen från beräkningsalternativet reg<sub>IONO\_TROP</sub>. Skalan på de horisontella axlarna är decimala år från år 2000. Anslutningen till SWEREF 99 är gjord på alla stationer.

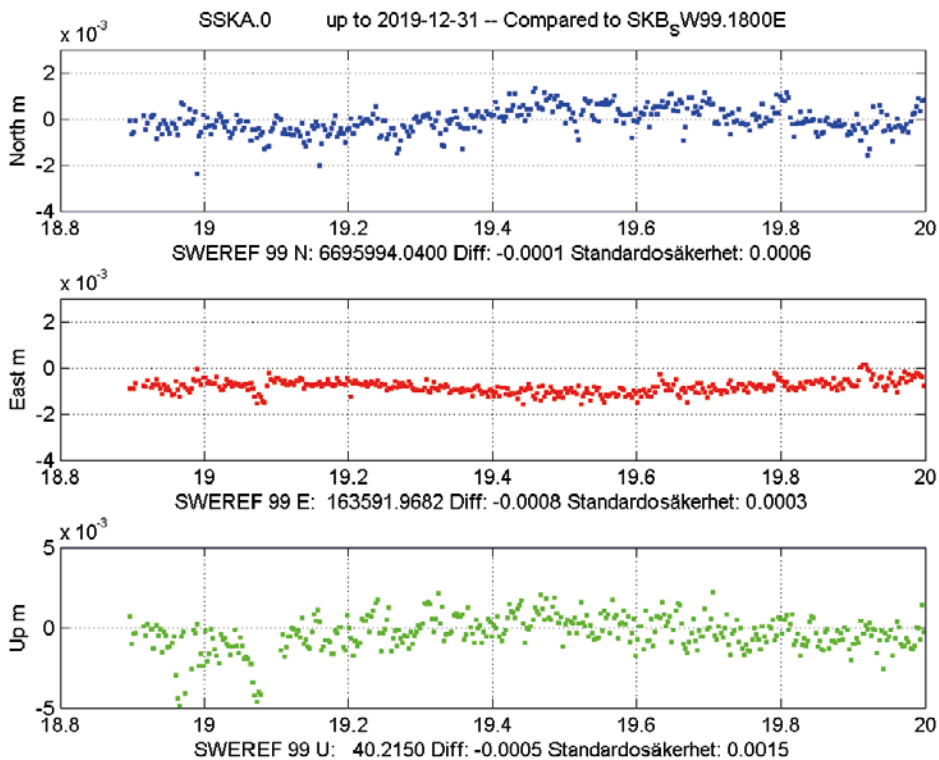


**Figur 7-14.** Koordinattidsserie för LKBB.0. Anslutningen till SWEREF 99 är gjord på alla stationer.



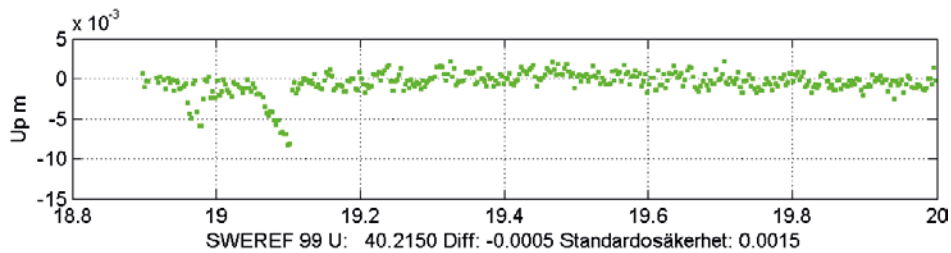


**Figur 7-15.** Koordinattidsserie för NBIO.0. Anslutningen till SWEREF 99 är gjord på alla stationer.

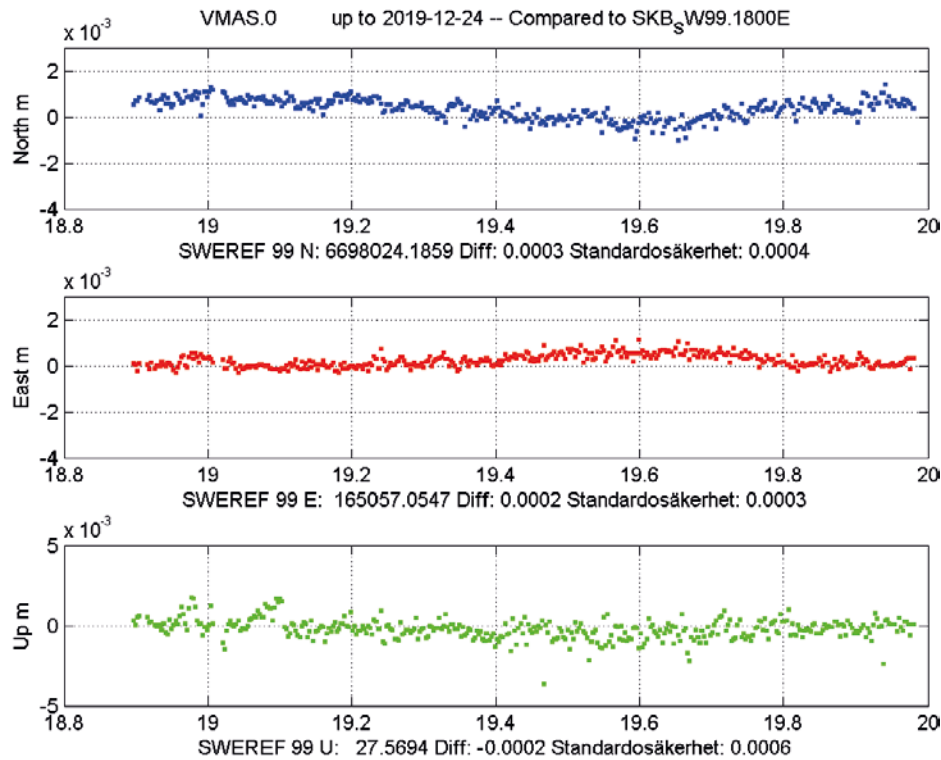


**Figur 7-16.** Koordinattidsserien för SSKA.0. Anslutningen till SWEREF 99 är gjord på alla stationer. Omkring årsskiftet 2018/2019 samlades snö på antennen, vilket gav avvikande koordinater i Up-komponenten. P.g.a. den valda vertikala skalan syns inte dessa avvikelser här; se även Figur 7.17.





**Figur 7-17.** Koordinattidsserie för Up-komponenten för SSKA.0, där den vertikala skalan är vald så att alla koordinatlösningar i tidsserien visas.



**Figur 7-18.** Koordinattidsserie för VMAS.0. Anslutningen till SWEREF 99 är gjord på alla stationer.

### 7.3.3 Analys av koordinattidsserier

I koordinattidsserierna för SSKA.0 ses en snöeffekt i Up-komponenten. Omkring årsskiftet 2018–2019 samlades snö på antennen, vilket ger upphov till avvikande koordinater. Effekten syns tydligt när anslutningen till SWEREF 99 görs enbart på KOBB.0 (se Figur 7-10 och Figur 7-11).

Enligt Swepos och Lantmäteriets erfarenhet har de använda radomerna (antennskydden) en glattare yta än andra radomer, vilket gör att snön lättare bör glida av radomen. Den pigg som sitter på toppen av radomen för att förhindra att fåglar sätter sig där, kan möjligen göra att snön i större utsträckning fastnar på radomen, men där är erfarenheten ännu begränsad.

Att hitta en lösning på problemet med snö som samlas på radomen är inte helt enkelt. Lösningen får inte påverka antennens elektriska egenskaper och inte heller hindra sikten mot GNSS-satelliterna. En lösning som prövats i begränsad omfattning är att låta en fläkt blåsa in varmluft under radomen för att smälta snön. Det skulle antagligen innebära att en annan radomtyp måste användas, som har en öppning mellan antennens chokeringar och radom. Öppningar mellan antenn och radom ökar risken för att radomen blåser sönder i den utsatta miljön i kustbandet, varför detta bör undvikas. Det kan möjligen också vara svårt att hitta en tillräckligt robust fläkt och att strömförsörja denna där fast elnät saknas. Ett alternativ är att sopa av snön vid behov, men det förutsätter någon form av övervakning – t.ex. kameraövervakning eller regelbundna besök.

När alla tillgängliga stationer används för anslutningen till SWEREF 99 fördelas koordinatavvikelserna som orsakas av snön på SSKA.0 ut på de andra stationerna, och kvar i tidsserien för SSKA.0 blir en mindre del av snöeffekten (se Figur 7-16 och Figur 7-17). I tidsserierna för de övriga stationerna kan man i stället se spår av denna snöeffekt, men mindre till beloppet och riktade åt motsatt håll.

Kanske är det så att SSKA.0 är mer skyddad från vinden än de andra stationerna – som ju ligger öppet i direkt anslutning till havet – så att snön lättare ansamlas på antennen.

De små årstidsvariationer som kan ses i tidsserierna beror mer troligt på monumentens egenskaper än på beräkningstekniska effekter. En högre mast kan t.ex. påverkas mer – i genomsnitt – av uppvärmning p.g.a. solbelysning under sommaren. Om monumentet värms upp – och därmed expanderar – ojämnt skulle det kunna ge en horisontell rörelse. Dock har masterna på KOBB.0, LKBB.0, NBIO.0 och VMAS.0 målats vita för att minska risken för ojämn uppvärmning.

SKB-stationernas antennenmonument är 2-3 m höga, förutom SSKA.0 vars mast är ca 10 m hög. Med ovanstående teori skulle alltså SSKA.0, med sin betydligt högre mast, kunna uppvisa betydligt större årstidsvariationer, d.v.s. rörelser orsakade av soluppvärmning, men den har snarare mindre årstidsvariation än övriga stationer. Kanske är monumentet skuggat av den omkringliggande skogen, eller så är denna masttyp stabilare än de övriga masterna.

Genom att ansluta de dagliga lösningarna till SWEREF 99 på alla stationer som ingått i respektive lösning så kan man bättre jämföra stationernas stabilitet. Utifrån detta kan man i stort sett säga att alla stationer är likvärdiga ur stabilitetssynvinkel. SSKA.0 har möjligen något mindre årstidsvariation, men den är å andra sidan aningen brusigare.

## 8 Fortsatta studier

### 8.1 Skattning av hastigheter för SKB-stationerna

Hittills har tidsserierna för SKB-stationerna endast studerats visuellt, främst för att se om det förekommer några problem på stationerna. Med längre observationsserier kommer hastigheter att kunna skattas för de andra SKB-stationerna, relativt KOB.B.0, men för att kunna göra skattningarna med rimlig säkerhet bör dataserien vara minst 3 år lång (Blewitt och Lavallée 2002).

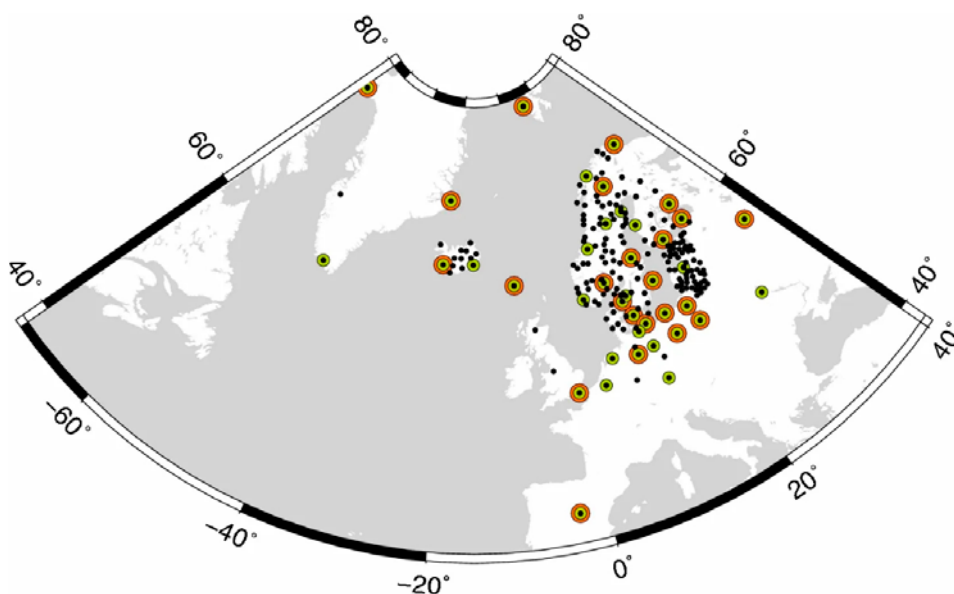
Innan hastigheter skattas behöver man filtrera bort dåliga eller avvikande koordinatlösningar, orsakade av t.ex. snö som samlats på antennen. Ev. byte av utrustning på stationerna – främst GNSS-antennen – kan orsaka hopp i koordinattidsserierna som man behöver ta hänsyn till vid hastighetsskattningen. Av den anledningen är det bra att i möjligaste mån hålla GNSS-utrustningen oförändrad.

Exempel på programvaror för hastighetsskattning är TSview (Herring 2003) och Hector (Bos et al. 2013). TSview har grafiskt stöd för filtrering av data och utvärdering av tidsserierna, medan Hector ger mer realistiska osäkerhetsskattningar. Det kan därför vara lämpligt att använda båda programvarorna i kombination.

### 8.2 SKB-nätet i ett nordiskt perspektiv

Sedan oktober 2019 ingår KOB.B.0 i det GNSS-nät som beräknas och analyseras av Nordiska kommissionen för geodesi (NKG) (Lahtinen et al. 2019); se Figur 8-1. Huvudsyftet är att producera konsistenta koordinat- och hastighetslösningar för Norden och Baltikum, bl.a. till grund för förvaltning av referenssystemen och geodynamiska studier i området, t.ex. av landhöjningen. Det innebär att man så småningom kan få information om stabiliteten för KOB.B.0 i förhållande till ett större område.

Vid eventuella framtida omberäkningar av NKG-nätet kommer KOB.B.0 att ingå med alla tillgängliga data, d.v.s. från hösten 2018.



**Figur 8-1.** Svarta prickar visar de stationer som ingick i den första konsistenta omberäkningen av NKG-nätet täckande dataintervallet 1997-2017. Gröna ringar visar de stationer som ingått i ITRF2014-lösningen och orange ringar visar de stationer som användes för referenssystemsrealiseringen i NKG-beräkningen. Figur från Lahtinen et al. (2019).

NKG-lösningarna produceras för närvarande i IGS14 (ITRF2014), aktuell epok. Framtida omberäkningar kan komma att redovisas i, den för beräkningstillfället, senaste ITRF-realiseringsen.

SWEREF 99 redovisar läget för den eurasiska plattans läge år 1989 och landets form så som det såg ut vid epoken 1999.5 (Jivall 2001). För att kunna studera geodynamiska rörelser är det ofta mer lämpligt att redovisa beräkningsresultatet i ett dynamiskt referenssystem, t.ex. ITRF. Tidsserier som bygger på koordinater i ITRF ger möjlighet att studera såväl landhöjning som plattetektonik.

### **8.3 Andra programvaror för GNSS-beräkning**

På sikt kan det vara intressant att beräkna GNSS-observationerna från SKB-nätet med någon annan programvara, t.ex. en kommersiell programvara som främst är anpassad för korta baslinjer. Så länge det enbart handlar om långa observationstider, som dygnslösningar, bör dock Bernese GNSS Software vara väl så lämpat.

Andra beräkningsprojekt (Jivall och Nilfouroushan 2018, Lidberg et al. 2015) har inte kunnat påvisa systematiska skillnader mellan olika vetenskapligt inriktade programvaror; Bernese GNSS Software, GIPSY-OASIS (Webb och Zumberge 1993) och GAMIT-GLOBK (Herring et al. 2018).

## 9 Referenser

Publikationer utgivna av SKB (Svensk Kärnbränslehantering AB) kan hämtas på [www.skb.se/publikationer](http://www.skb.se/publikationer).

- Alfredsson A, Alm L, Dahlström F, Jivall L, Kempe C, Wiklund P, 2019.** Förvaltning av de nationella geodetiska referensnäten. Gävle: Lantmäteriet. (Lantmäterirapport 2019:1)
- Blewitt G, Lavallée D, 2002.** Effect of annual signals on geodetic velocity. *Journal of Geophysical Research* 107. doi:10.1029/2001JB000570
- Bos M S, Fernandes R M S, Williams S D P, Bastos L, 2013.** Fast error analysis of continuous GNSS observations with missing data. *Journal of Geodesy* 87, 351–360.
- Böhm J, Werl B, Schuh H, 2006.** Troposphere mapping functions for GPS and very long baseline interferometry from European Centre for Medium-Range Weather Forecasts operational analysis data. *Journal of Geophysical Research* 111, B02406. doi:10.1029/2005JB003629
- Böhm J, Heinkelmann R, Schuh H, 2007.** Short Note: A global model of pressure and temperature for geodetic applications. *Journal of Geodesy* 81, 679–683.
- Chen G, Herring T A, 1997.** Effects of atmospheric azimuthal asymmetry on the analysis of space geodetic data. *Journal of Geophysical Research* 102, 20489–20502.
- Dach R, Lutz S, Walser P, Fridez P (red), 2015.** Bernese GNSS Software Version 5.2. User manual. Astronomical Institute, University of Bern, Bern Open Publishing.
- Dach R, Schaer S, Arnold D, Prange L, Sidorov D, Stebler P, Villiger A, Jäggi A, 2018.** CODE final product series for the IGS. Astronomical Institute, University of Bern. Tillgänglig: <http://www.aiub.unibe.ch/download/CODE> [2020-05-13].
- DeMets C, Gordon R G, Argus D F, Stein S, 1994.** Effect of recent revisions to the geomagnetic reversal time scale on estimates of current plate motions. *Geophysical Research Letters* 21, 2191–2194.
- Ekman L, Ekman M, 2013.** Quality control of GPS deformation data from Forsmark and analysis of crustal deformation in the local scale. SKB R-13-11, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Gustafson L, Ljungberg A, 2010.** Forsmark site investigation. A deformation analysis of the Forsmark GPS monitoring network from 2005 to 2009. SKB P-10-29, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Herring T, 2003.** MATLAB tools for viewing GPS velocities and time series. *GPS Solutions* 7, 194–199.
- Herring T A, King R W, Floyd M A, McClusky S C, 2018.** Introduction to GAMIT/GLOBK. Release 10.7. Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences, Massachusetts Institute of Technology. Tillgänglig: [http://geoweb.mit.edu/gg/Intro\\_GG.pdf](http://geoweb.mit.edu/gg/Intro_GG.pdf) [2020-02-18].
- Häkli P, Lidberg M, Jivall L, Steffen H, Kierulf H P, Ågren J, Vestøl O, Lahtinen S, Steffen R, Tarasov L, 2019.** New horizontal intraplate velocity model for Nordic and Baltic Countries. FIG Working Week 2019, Hanoi, Vietnam, 22–26 April 2019.
- Jivall L, 2001.** SWEREF 99 – New ETRS89 coordinates in Sweden. Analysis report. LMV-rapport 2001:6, Lantmäteriet, Gävle.
- Jivall L, Nilfouroushan F, 2018.** Mast-based versus pillar-based networks for coordinate estimation of SWEREF points – using the Bernese and GAMIT-GLOBK software packages. Gävle: Lantmäteriet. (Lantmäterirapport 2018:5)
- Johansson J, 1997.** Modeling of the Earth atmosphere in space geodetic applications. I Jonsson B (red). Geodetic application of GPS. LMV-rapport 1997:16, Lantmäteriet, Gävle, 109–134.
- Lahtinen S, Jivall L, Häkli P, Kall T, Kollo K, Kosenko K, Galinauskas K, Prizginiene D, Tangen O, Weber M, Nordman M, 2019.** Densification of the ITRF2014 position and velocity solution in the Nordic and Baltic countries. *GPS Solutions* 23, 95. doi:10.1007/s10291-019-0886-3
- Letellier T, 2004.** Etude des ondes de marée sur les plateaux continentaux. Doktorsavh. Université de Toulouse III, Ecole Doctorale des Sciences de l'Univers, de l'Environnement et de l'Espace.

**Lidberg M, Steffen H, Johansson J, Kierulf H, Kristiansen O, 2015.** The BIFROST project: 21 years of search for the “true crustal” deformation in Fennoscandia. EUREF Symposium 2015, Leipzig, Germany, 3–5 June 2015.

**Nyberg S, Kallio U, Häkli P, Jokela J, Koivula H, Saaranen V, Rouhiainen P, 2013.** Monitoring the bedrock stability in Olkiluoto – Summary of campaign based GPS measurements in 1996–2011. Posiva Working Report 2013-63, Posiva Oy, Finland.

**Ray R D, Ponte R M, 2003.** Barometric tides from ECMWF operational analyses. *Annales Geophysicae* 21, 1897–1910.

**Sjöberg L E, Pan M, Asenjo E, 2004.** Oskarshamn site investigation. A deformation analysis of the Äspö GPS monitoring network from 2000 to 2004. SKB P-04-196, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Swiss Geodetic Commission, 2019.** Swiss national report on the geodetic activities in the years 2015–2019. XXVII General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics, Montreal, Canada, July 2019.

**Webb F H, Zumberge J F, 1993.** An introduction to the GIPSY/OASIS-II. JPL Publ. D-11088, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California.

## Översikt utrustning på GNSS-stationer

Tabell B1-1. Översikt över stationsutrustning.

	Kobben	Lillkobben	Norra Biotesten	Storskäret	Västra Måsklinten
Antenn TopCon CR-G5	X	X	X	X	X
Antennskydd Radom (OSPS)	X	X	X	X	X
Antennkabel Bedea RG214	X	X	X	X	X
4G-modem Sierra Wireless	X	X	X		X
4G-modem Telia				X	
Fjärrbrytare Sikom FIXI	X			X	
Fjärrbrytare GSM-START		X	X		X
Solpanel 250W		X	X		X
Regulator solpanel		X	X		X
Vindsnurra		X	X		X
Regulator vindsnurra		X	X		X
2 st Batteri 100Ah		X	X		X





Urklipp ur aktivitetsdagbok

Tabell B2-1. Urklipp ur aktivitetsdagbok för 2018–2019.

Version 2.2.0
 <b>AKTIVITETSDAGBOK</b>
Sidan ___ av ___

OMRÅDE Formark	PROJEKT Montering Forsmark	BESÄTTNING (fullständiga namn) Hans Åke Åström Rickard Jäderberg
UPPDRAGSANSVARIG PÅ PLATS Hans-Åke Åström	ORGANISATION(ER) Lantmäteriet	AL: Gunnar Rauséus, SKB
KRINGINFORMATION (ej obligatoriskt)		AKTIVITETSPANSNUMMER AP SFK-16-032 Installation av utrustning för GNSS-matning i Forsmark

Datum (ååmmdd)	Tid		Aktivitet	Sub- activity ID	Objekt (IDCODE)	Sektion numm er (i borrhål)	Läge längs med	
	Start (hh:mm m)	Stop (hh:mm m)					Från (m)	Till (m)
180905	07:30	16:00	Montering offgridsystem med GPS på V.Måsklinten. Montering mast på Kobben.					
180906	08:00	11:00	Installation av GPS-utrustning på Kobben.					
180920	08:00	11:30	Installation av specialtillverkad mastopp och GPS-utrustning på Storskäret					
181115	08:20	17:00	Montering offgridsystem med GPS på Lilla Kobben samt mast på N. Biotesten.					
181116	09:00	12:00	Montering offgridsystem med GPS på Norra Biotesten					
191025	12:00	14:00	Storskäret: Installation av nytt Teliamodem efter kommunikationsavbrott. (Ingen dataförlust)					
191028	12:30	14.15	Återinstallerat sierramodemet samt installerat 4G-riktantenn. (2 st NetR9 på platsen.)					
191030	08:00	15:00	Serviceöversyn av Västra Måsklinten, Lillkobben, Norra Biotesten och Kobben med installation av 4G riktantenn!					
191127	08:00	13:00	Utbyte av trasigt vinkraftverk på Norra Biotesten efter lagerhaveri.					



## Sammanfattning av de olika stegen i GNSS-beräkningen

Tabell B3-1. De viktigaste stegen i beräkningen av SKB-nätet.

Steg	Subrutin	Kommentar
1	COOVEL	Extrapolerar koordinater, med aktuell hastighetsmodell, till observationsepoken
2	POLUPD	Konverterar jordrotationsfil till Bern-format
3	PRETAB	Skapar bandatafil i tabellform
4	ORBGEN	Skapar GNSS-banor i Bern-format
<b>Import av observationsdata</b>		
5	RNXSMT	Konverterar observationsdata RINEX 3-format till RINEX 2-format, inkl. val av observationstyper
6	RNXGRA	Summerar/redovisar RINEX-filernas innehåll; tar bort dåliga observationsfiler
7	RXOBV3	Konverterar RINEX-filer till Bern-format
8	CODSPP	SPP för varje station, inkl. synkronisering av mottagarklockor (använder ban- och klockdata från steg 3)
<b>Skapa baslinjer och screena data</b>		
9	SNGDIF	Skapar baslinjer med OBSMAX-strategi
10	MAUPRP	Screenar bärvägsdata (L1 och L2) innan detektering av periodbortfall. Identifierar data utan periodbortfall. Finns periodbortfall i återstående data och korrigerar dessa om möjligt.
11	GPSEST	Skapar regional jonofärsmodell (i förekommande fall)
12	GPSEDT (L1)	GPSEST beräknar flytlösning med korrigerade periodbortfall från steg 10. Skattar troposfärsfördröjning (i förekommande fall), sparar normaliserade residualer och normalekvationer. RESRMS och SATMRK screenar och markerar stora residualer i de sparade residualerna. GPSEST: Samma som ovan, men indata har nu markerade observationer.
13	ADDNEQ2 (L1)	Ger preliminära koordinater (och troposfärsskattning i förekommande fall) (flytlösning)
14	GPSEDT (L2)	Som steg 12, men för L2.
15	ADDNEQ2 (L2)	Som steg 13, men för L2.
16	GPSEDT (L3)	Som steg 12, men för L3.
17	ADDNEQ2 (L3)	Som steg 13, men för L3.
<b>Lösa periodobekanta</b>		
18	GPSEST (L1)	Fixerar periodobekanta till heltal, med SIGMA-strategi
19	GPSEST (L2)	Fixerar periodobekanta till heltal, med SIGMA-strategi

**Tabell B3-1 forts.**

---

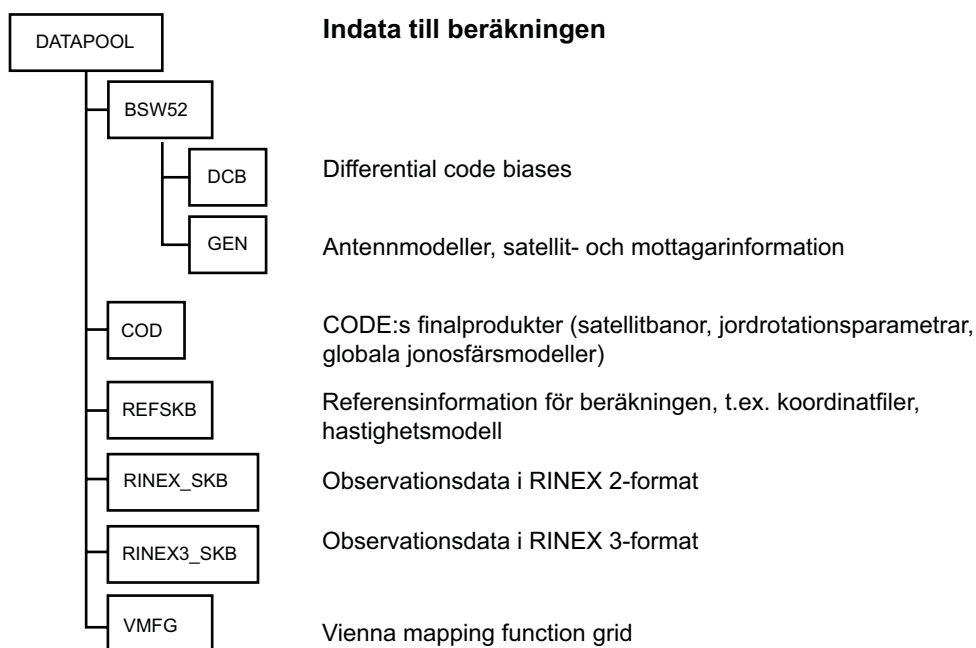
Skapa fixlösningar		
20	GPSEST (L1)	Ger "fri" ( <i>loosely constrained</i> ) L1-lösning med fixerade periodobekanta från steg 18; sparar normalekvationer.
21	ADDNEQ2 (L1)	Ger "fast" ( <i>tightly constrained</i> ) L1-lösning, troposfärsskattning och troposfärs-SINEX (i förekommande fall) från normalekvationerna i steg 20; sparar normalekvationer.
22	ADDNEQ2 (L1)	Ger reducerade normalekvationer och SINEX-fil
23	HELMR1 (L1)	Ansluter L1-lösningen till SWEREF 99 (translation på KOBB.0)
24	GPSEST (L2)	Ger "fri" ( <i>loosely constrained</i> ) L2-lösning med fixerade periodobekanta från steg 19; sparar normalekvationer.
25	ADDNEQ2 (L2)	Ger "fast" ( <i>tightly constrained</i> ) L2-lösning, troposfärsskattning och troposfärs-SINEX (i förekommande fall) från normalekvationerna i steg 24; sparar normalekvationer.
26	ADDNEQ2 (L2)	Ger reducerade normalekvationer och SINEX-fil
27	HELMR1 (L2)	Ansluter L2-lösningen till SWEREF 99 (translation på KOBB.0)
28	GPSEST (L3)	Ger "fri" ( <i>loosely constrained</i> ) L3-lösning med fixerade periodobekanta från steg 18 och 19; sparar normalekvationer.
29	ADDNEQ2 (L3)	Ger "fast" ( <i>tightly constrained</i> ) L3-lösning, troposfärsskattning och troposfärs-SINEX (i förekommande fall) från normalekvationerna i steg 28; sparar normalekvationer.
30	ADDNEQ2 (L3)	Ger reducerade normalekvationer och SINEX-fil
31	HELMR1 (L3)	Ansluter L3-lösningen till SWEREF 99 (translation på KOBB.0)

---

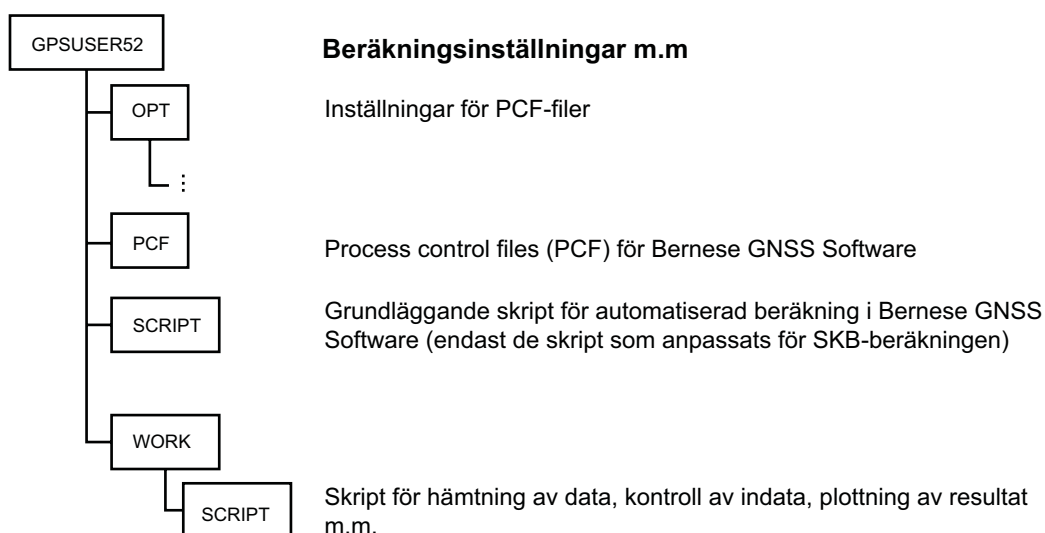
## Beskrivning av leveransen

Leveransen till SKB görs helt digitalt och förutom rapporten levereras data enligt nedan.

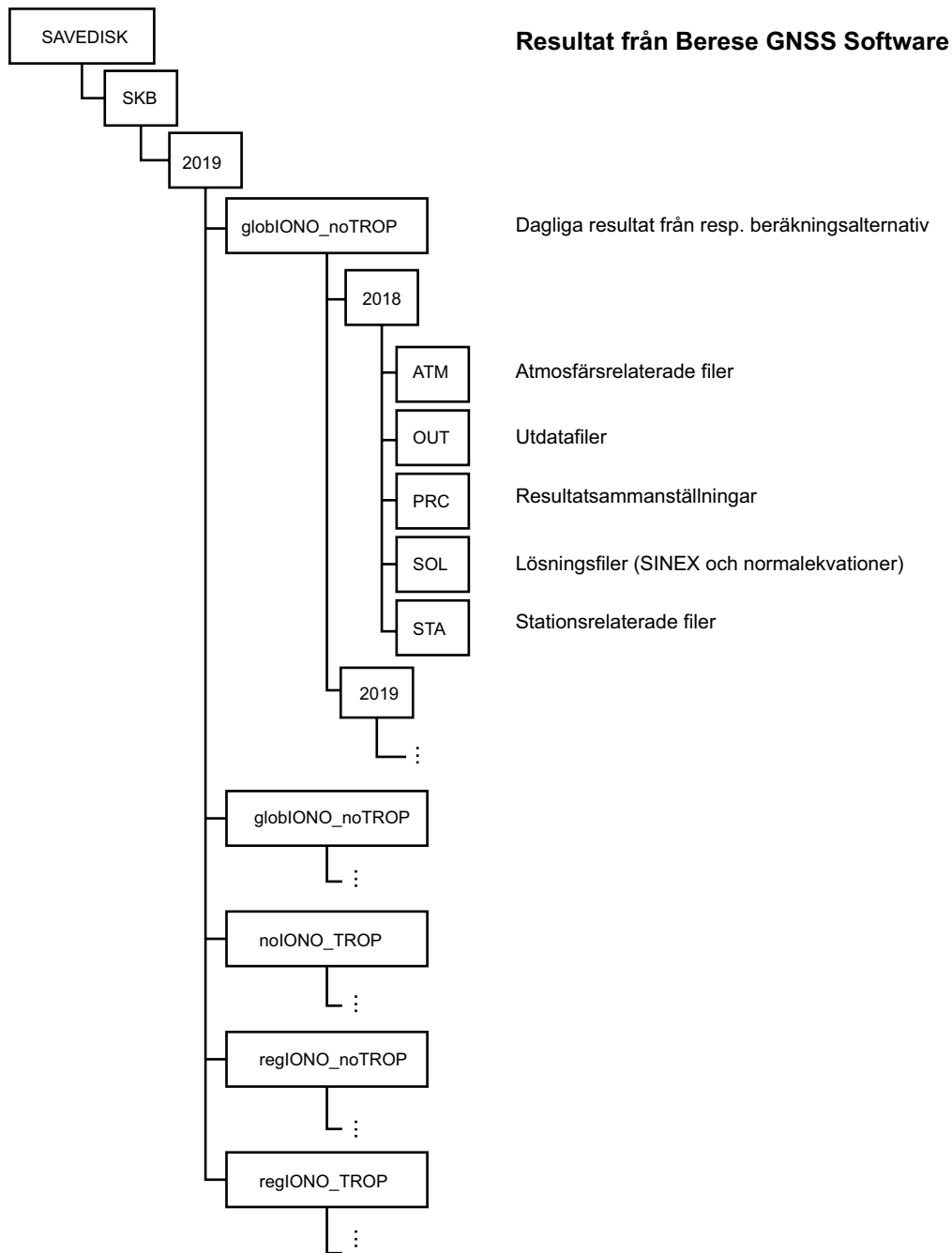
Strukturen följer den standard som brukar användas för beräkningar i Bernese GNSS Software, och innehåller sannolikt mer data än de som SKB primärt är intresserade av. Se Figur B4-0-4 för närmare beskrivning av resultaten.



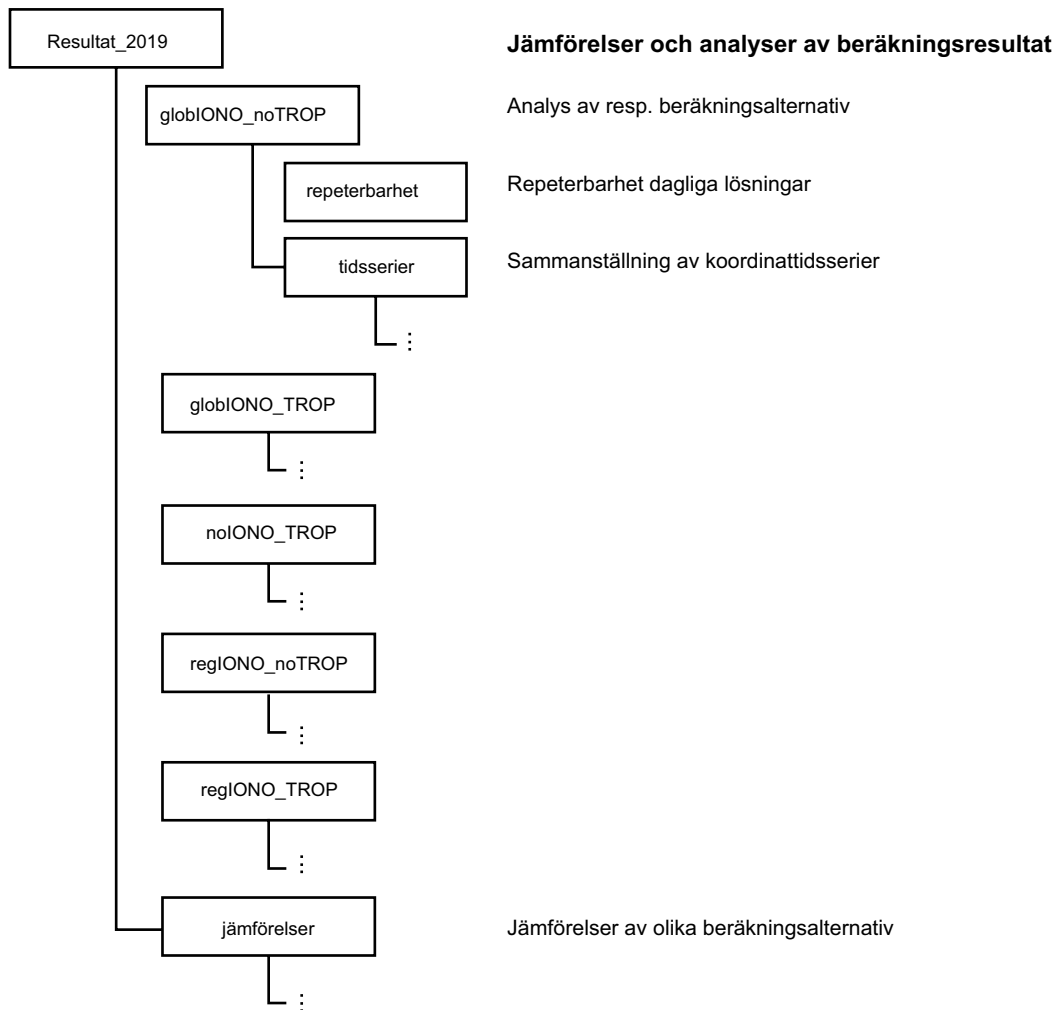
**Figur B4-1.** Strukturen för indata till GNSS-beräkning med Bernese GNSS Software.



**Figur B4-2.** Strukturen för inställningar för automatiserad beräkning med Bernese GNSS Software; process control files (PCF) inkl. inställningar och grundläggande skript.



**Figur B4-3.** Strukturen för dagliga beräkningsresultat från Bernese GNSS Software. De olika beräkningsalternativen lagras i olika mappar.



**Figur B4-4.** Strukturen för redovisning av resultatbearbetningar; daglig repetierbarhet, sammanställning av koordinattidsserier och olika jämförelser.

**I tidsserie-mapparna finns dagliga koordinatfiler (SWEREF 99, geocentriska kartesiska koordinater) från de olika lösningarna. I tidsseriemappen för den valda lösningen (regIONO\_TROP) finns även dagliga koordinat-filer i SWEREF 99 18 00 och ellipsoidhöjd samt stationsvisa koordinatfiler som ligger till grund för tidsserieplottarna.**

SKB:s uppdrag är att ta hand om använt kärnbränsle och radioaktivt avfall från de svenska kärnkraftverken så att människors hälsa och miljö skyddas på kort och lång sikt.

**skb.se**