

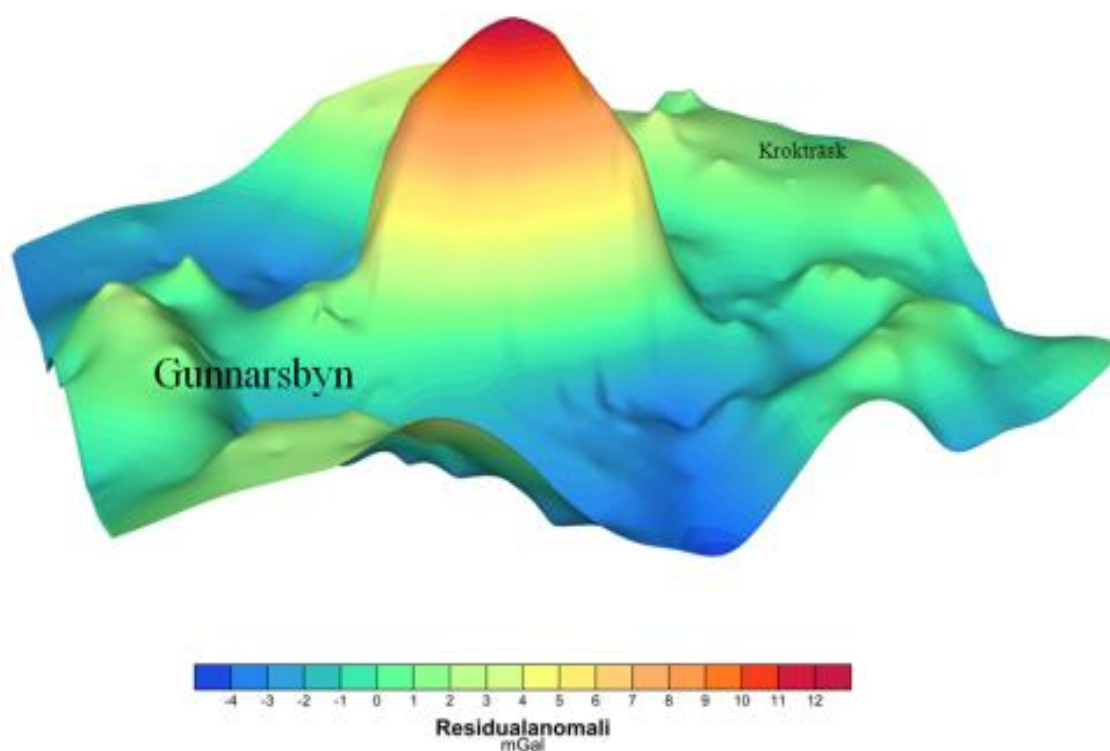
SGUs tyngdkraftsundersökningar – bakgrund, syfte och Gunnarsträckgabbbron



Sven Aaro, Patrik Johansson & Johan Jönberger

februari 2012

SGU-rapport 2012:2



SGU

Sveriges geologiska undersökning
Geological Survey of Sweden

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Sammanfattning.....	5
Tyngdkraften	6
Mätförfarande och mätinstrument	7
Varför mäter man tyngdkraften?	10
Berggrundsgeologisk kartläggning.....	10
Prospektering efter malm, olja och gas.....	11
Bedömning av vattenreservoarer, avfallsanläggningar och jordmäktigheter.....	11
Beräkning av höjd över havet.....	11
Geoidberäkning	11
Tekniska ändamål.....	12
Navigering och positionsbestämning.....	12
Vetenskapliga ändamål.....	12
Bearbetning av mätdata och felkällor	13
Bougueranomaliernas noggrannhet	15
Gunnarträskgabbron.....	18
Tyngdkraftsmätningar i området för Gunnarträskgabbron	19
SGU:s tyngdkraftsdatabas	22
Litteraturförteckning	25
Bilaga 1	28
Baspunktsbeskrivning.....	28
Bilaga 2	30
Instrumentdrift inklusive tidjord.....	30

Sammanfattning

Rapporten behandlar tyngdkraften och syftet med SGU:s tyngdkraftsundersökningar i allmänhet och undersökningarna i området för Gunnarsträskgabbron, cirka 30 km nordnordost Boden, i synnerhet. Mätningarna över aktuellt område har utförts inom projektet "Tyngdkraftsmätningar 2009-2012", med projektnummer 80028.

Mätningarna över Gunnarsträskgabbron med omgivningar är objektorienterade, dvs. betydligt tätare än vid en så kallad regional undersökning. Orsaken till detta är att gabbrons djupförhållanden ska undersökas mer i detalj inom ett 3D-projekt på SGU.

Mätningarna och bearbetningen av data har gjorts under hösten 2011. Tyngdkraftsmätningar har utförts på totalt 197 lokaler inom området för Gunnarsträskgabbron, och då huvudsakligen längs befintliga vägar. Tidigare mätningar omfattar cirka 70 punkter som har mätts i samband med regional kartläggning, i huvudsak på 1970-talet. Vid planeringen av förtätningar har främst den flygburna magnetfältsinformationen använts. I övrigt har en ytmässigt jämn fördelning av tyngdkraftspunkter eftersträvats, med ett inbördes avstånd på cirka 0,5 km. Fältinsatsen, som gjorts av Patrik Johansson och Sven Aaro, omfattar fyra dagar.

Under 2011 har även så kallade regionala tyngdkraftsundersökningar utförts över ett stort område väst Jokkmokk, på kartbladsområdet 25L Boden samt över delar av södra Värmland och delar av Halland. Vidare har objektorienterade mätningar gjorts strax öst Varberg, invid Kil och Råda-Uddeholm samt längs Fyrisåns dalgång strax norr Uppsala.

Tyngdkraften

Tyngdkraften är lika med jordens dragningskraft (jordens gravitation) minskat med den centrifugalkraft som orsakas av jordens rotation. Tyngdkraften varierar med latituden på grund av att centrifugalkraften är störst vid ekvatorn och avtar mot polerna samt av att jorden avviker från sfärisk form. På grund av avplattningen vid polerna är gravitationen större vid dessa än vid ekvatorn. Andra, lokala avvikelser förorsakas av höjdvariationer och av inhomogenteter i jordens massfördelning.

Rent allmänt gäller att

$$F = m a \quad (\text{kraft} = \text{massa} \times \text{acceleration})$$

vilket ger

$$F = m g \quad (\text{kraft} = \text{massa} \times \text{tyngdacceleration})$$

I svenskan och i flera andra språk används vanligtvis ordet "tyngdkraft" när man egentligen menar tyngdacceleration. Synonymt med tyngdacceleration används tyngdkraftsacceleration, tyngdkraft och gravitation. Gravitation är egentligen enbart en växelverkan mellan olika massor till skillnad från tyngdkraften som också innehåller en komponent som härrör från centrifugalkraften. Benämningen tyngdkraft (g) används genomgående i den fortsatta texten.

Enheten för tyngdkraft är i SI-systemet m/s^2 . Den gamla cgs-enheten Gal ($1 \text{ Gal} = 1 \text{ cm/s}^2$) används dock fortfarande allmänt av geofysiker och geodeter världen över. Enheten Gal är uppkallad efter den store naturforskaren Galileo Galilei (1564–1642). På grund av att avvikelserna inom geovetenskapliga tillämpningar är små, ibland mindre än en miljondel av den normala tyngdkraften, används delar av enheten Gal; mGal (milligal) och μGal (mikrogal). Enheten g_u (gravity unit), som introducerades för några decennier sedan, är relaterad till SI-systemet ($1 g_u = 1 \mu\text{m/s}^2 = 10^{-6} \text{ m/s}^2$).

$$1000 \mu\text{Gal} = 1 \text{ mGal} = 10 g_u = 10^{-3} \text{ Gal} = 10^{-3} \text{ cm/s}^2 = 10^{-5} \text{ m/s}^2$$

Storleken på tyngdkraften är beroende av latituden, höjden över havet (geoiden), geologin, månens och solens gravitation och den tidjord de förorsakar, samt av topografin. När man talar om en punkts g -värde på jorden är den normalt reducerad för tidjordeffekten, samt i vissa sammanhang för månens och solens gravitationskrafter. Dessa himlakroppars påverkan är maximalt någon tiomiljondel av tyngdkraften (g). Tidjorden som förorsakas av månen och solen ger upphov till att jordskorpan rör sig upp och ner vid två tillfällen per dygn. I centrala Sverige rör sig jordskorpan maximalt cirka 25 cm, vilket påverkar tyngdkraften på våra breddgrader med maximalt $+0,05 \text{ mGal}$. På jordellipsoiden varierar g teoretiskt mellan 9,78 och 9,83 m/s^2 . De högsta värdena erhålls vid polerna på grund av jordens avplattning och att den motverkande centrifugalkraften är lika med noll vid dessa.

Vill man skenbart väga så lite som möjligt skall man alltså väga sig vid ekvatorn och helst då på toppen av det högsta berget. Skillnaderna är emellertid små, en person som väger 100 kg vid

nord- eller sydpolen är enbart cirka 0,5 kg lättare vid ekvatorn. Förutsättningen för detta är att en fjäderbelastad våg används. Haller (1990) har ett mer matnära exempel baserat på nationell nivå. Han har räknat ut hur mycket en person med vikten 80 kg kan gå upp i vikt på en resa från Treriksröset till Smygehuk utan att personens vikt ökar (enligt den medhavda fjäderbalanserade badrumsvågen). Jo, personen kan frossa så att han eller hon ökar med 90 gram på resan.

Geofysiker och geologer är i allmänhet enbart intresserade av den del av tyngdkraften (g) som påverkas av massfördelningen i jordskorpan, dvs. av geologin. Därför reduceras g -värdet med hänsyn till latitud, höjd över geoiden, massan mellan mätpunkten och geoiden, samt med hänsyn till topografin. På detta sätt erhålls avvikelser, så kallade terrängkorrigerade Bougueranomalier, som nästan enbart är relaterade till geologin.

Mätförfarande och mätinstrument

Tyngdkraften mäts normalt på markytan med hjälp av en så kallad gravimeter (relativgravimeter). Gravimetern består i princip av en massa, som är upphängd i en mycket känslig fjäderanordning, förbunden med ett registreringsorgan i någon form. Jämförelsen med en vikt upphängd i en fjädervåg är relativt bra – större tyngdkraft förlänger fjädern och mindre tyngdkraft förkortar den. Numera finns även modifierade gravimetrar och gradiometersystem som även kan användas i flygfarkoster, som flygplan, helikoptrar och zeppelinare. Flygburna system med hög noggrannhet är dock fortfarande mycket dyra att använda. Tyngdkraften mäts också med hjälp av satelliter. Noggrannheten är hög men upplösningen lämpar sig enbart för mycket storskaliga avvikelser i våglängdsområdet 25–50 km. Satelliten Grace, som sköts upp 2002, har bland annat ett mycket känsligt gradiometersystem som idag också används för att kartlägga klimatförändringen.

SGU har tre relativgravimetrar. Den senaste köptes 2009 och är en Scintrex CG-5 gravimeter tillverkad i Kanada. SGU:s beteckning för detta instrument är CG51. De två tidigare är byggda av LaCoste & Romberg i Austin, USA. Den ena inköptes 1984 och har beteckningen G788 (L788 enligt SGU:s nomenklatur) och den andra 1995 med beteckningen G1059 (L059 enligt SGU:s nomenklatur). Gravimetern L788 är, trots reparation och service i januari 2006, något bristfällig. Den gravimetern har under de senaste åren, fram till 2009, enbart använts under besvärliga mätförhållanden, eftersom den inte är speciellt känslig för regn och snö. Under den senaste vårvinterundersökningen, dvs. under mars–april 2011, användes CG51 (Fig. 1A).

Med en relativgravimeter kan man enbart mäta skillnader i tyngdkraften, dvs. göra jämförande mätningar. Principen för mätningarna är att jämföra tyngdkraften på okända punkter med kända. De med känd tyngdkraft benämns baspunkter. Dessa upprättas normalt av Lantmäteriet, men av praktiska skäl upprättar även SGU sådana, så att transportavstånden inte blir alltför långa. Baspunktmätningar utförs normalt varje morgon och kväll inom ett undersökningsområde. De av SGU upprättade baspunkterna är anslutna till Lantmäteriets nät.

En mätning med en relativgravimeter, som med tillbehör väger omkring 8 kg, tar enbart ca 2 minuter. För att mäta tyngdkraften direkt, dvs. göra en absolutbestämning, behövs en absolutgravimeter. En modern absolutgravimeter väger något över hundra kilo och mätningen tar

några timmar. Dessutom kräver denna typ av instrument nästan laboratorieförhållanden med relativt stabil temperatur och stabilt underlag, helst betongplatta på berg. Detta, förutom den enorma prisskillnaden mellan de olika instrumenttyperna, är orsakerna till att relativgravimetern används framför absolutgravimetern i samband med reguljära mätningar. Med båda typerna av instrument uppnås en mätnoggrannhet av ca en hundramiljondel av den normala tyngdkraften, dvs. $1/98100000$. Om mätning med en absolutgravimeter utförs under ett helt dygn uppnås dock en noggrannhet som är cirka 10 gånger bättre än den för en äldre relativgravimeter, motsvarande de som SGU har.



Fig. 1A. Tyngdkraftsmätning med Scintrex CG-5 gravimeter i obanad terräng i Nattavaaraområdet, Lappland. Fig. 1B. Den rörliga GNSS-mottagaren, rovern, har vid SGU:s tyngdkraftsmätningar antennen fastmonterad på biltaket. Utrustningen styrs via en handdator inne i bilen.

Eftersom höjdbestämningen är avgörande för tyngdkraftsanomaliernas noggrannhet införskaffade SGU 1995 en GNSS (Global Navigation Satellite System) utrustning för statisk relativ positionsbestämning (Fig. 1B). Den typ av GNSS-mätning, som tillämpas av SGU vid den noggranna positionsbestämningen av plan och höjdkoordinater, benämns nedan "statisk GNSS" (engelsk benämning: Static positioning). Enligt definition i SIS (1995) innebär statisk positionsbestämning en positionsbestämning med stillastående mottagare. Fram till år 2008 har SGU enbart använt sig av GPS-satelliter varför det i tidigare skrifter alltid står GPS-mätning (GPS = Global Positioning System). GPS tillhör USA:s försvarsmakt och Glonass, som SGU börjat använda som ett komplement från och med 2009, tillhör Rysslands försvarsmakt. Galileo-systemet, som tillhör EU, är civilt och planeras vara fullt utbyggt 2017.

I GNSS-sammanhang underförstås statisk relativ positionsbestämning genom fasmätning, där mottagarna (den stationära referensstationen och den rörliga, "rovern") står stilla på stationerna

en längre tid. Vid SGU:s tyngdkraftskartläggning är satelliterna normalt låsta även vid transport av rovern mellan mätpunkterna, varför algoritmerna för snabb statisk mätning tillämpas. SGU eftersträvar vid regionala mätningar en höjdnoggrannhet på 0,5 meter (målet är att 95 % av mätningarna skall ligga inom intervallet $\pm 0,5$ m). Plankoordinaterna för tyngdkraftspunkter som bestämts med hjälp av så kallad statisk GNSS blir vid bilmätningar ± 1 meter och vid snöskoter- eller helikoptermätningar ± 2 meter. Orsaken till den relativt sett dåliga noggrannheten är att tyngdkraftsmätningen alltid sker på ett visst avstånd från GNSS-antennen.

Det så kallade SWEPOS-nätet består av ett stort antal fasta GNSS-stationer (Fig. 2). Dessa används idag bland annat som referensstationer vid realtidsmätningar, men också för efterbearbetning. De fasta stationerna är hörnstolpar för N-RTK (nätverks-RTK, där RTK står för "Real Time Kinematics"). Lantmäteriet svarar för drift och underhåll av SWEPOS-nätet.



Fig. 2. Det så kallade SWEPOS-nätet består av ett stort antal fasta GNSS-stationer (Global Navigation Satellite System). På kartan är dessa markerade som blåa punkter. Kartan publiceras med tillstånd från Lantmäteriet (2011-09-29).

I område med dålig satellitmottagning använder sig SGU av barometrar för höjdbestämmingar som komplement till den noggranna GNSS-utrustningen. Dessa har använts sedan 1993 vid SGU:s tyngdkraftsmätningar. Sedan några år tillbaka används en digitalt registrerande barometer i mätbilen. Lufttrycket registreras varannan sekund. Detta insamlingssystem är även kopplat till en termometer som är placerad under GNSS-antennen, vilket gör temperaturkorrektioner möjliga. För en detaljerad kontroll av lufttrycksförändringen registreras lufttrycket också var 10:e sekund vid fältförläggningen, dvs. i närheten av respektive mätområde.

Den absoluta positionsbestämningen sker normalt med ett GPS-instrument som nedan benämns "enkel GPS", vilket kanske inte är riktigt adekvat. I varje fall är "absolut positionsbestämning",

enligt SIS (1995), en positionsbestämning som sker direkt i förhållande till satelliterna. Termen "autonom positionsbestämning" har också använts men rekommenderas inte av SIS (op. cit.). Noggrannheten vid den absoluta positionsbestämningen var före den 2 maj 2000 +/- 50 meter (95%) och efter att SA-koden togs bort, +/- 5 meter (95%). SA står i detta sammanhang för "Selective Availability".

Mätförfarandet följer SGU:s kvalitetssystem och finns också beskrivet i Aaro och Byström (2001).

Varför mäter man tyngdkraften?

Undersökning av jordens tyngdkraftsfält ger information om massfördelningen i jordens inre. Redan på 1700-talet var tyngdkraften så pass noggrant bestämd att det gick att konstatera att jordens medeldensitet var betydligt högre än den som bergarterna uppe vid jordytan antydde, därav har vi fått kunskap om att densiteten ökar mot jordens inre. Den franske matematikern och astronomen Pierre Bouguer, en av medlemmarna i en fransk expedition till Peru 1735–1742 för bestämning av jordens form, upptäckte att Andernas attraktionskraft var mycket mindre än förväntat. Sannolikt användes pendelinstrument för att mäta tyngdkraftsskillnader på den tiden. Detta var kanske den första observationen som indikerade att bergskedjorna har rötter. Pierre Bouguer har förärats med tyngdkraftstermerna "Bouguer-korrektion" och "Bougueranomali", men är kanske mest känd genom den meteorologiska termen "Bouguers halo". Även den store vetenskapsmannen och konstnären Leonardo da Vinci (1452–1519) har enligt Delaney (1940) haft tankar om bergskedjors lägre massa, dvs. i slutet av 1400-talet eller början av 1500-talet.

Idag kan tyngdkraften bestämmas med mycket stor noggrannhet och snabbhet. Detta har gett oss möjlighet att utnyttja tyngdkraften vid kartläggning av geologiska strukturer, malmers utbredning och till och med att utnyttja mätresultaten i samband med kartläggning av vattenreservoarer och övervaka avfallsmassors kompaktering. Försök har även gjorts att kartlägga bergarters vittringsdjup.

Det finns ett stort, men för de flesta okänt, behov av att känna tyngdkraften. Nedan är en hel del av användningsområdena nämnda. Vissa av användningsområdena är till viss del baserade på Haller (1990).

Berggrundsgeologisk kartläggning

Stora delar av Sveriges berggrund är täckt av jord. Uppskattningsvis är enbart några procent av berggrunden blottad och inom stora delar av inlandet är blottningsgraden klart under en procent. Detta innebär att bergartskontakter sällan är synliga på berghällar som analyseras av geologer. Även storskaliga strukturella drag kan vara svåra att återskapa från strukturmätningar på små berghällar. I stora delar av landet är det geofysisk information, speciellt magnetisk sådan, som används vid bedömningar av bergartskontacters lägen, sprickzonernas utbredning och berggrundens strukturella drag. Tyngdkraftsinformation kompletterar magnetisk information på ett utomordentligt sätt vid analys av bergarters utbredning, vid ytan och mot djupet. Sura, lätta bergarter, som graniter, ger upphov till negativa drag och tyngre, basiska bergarter, som gabbro ,

till positiva drag i tyngdkraftsfältet. Dessutom går det att beräkna bergarternas djupförhållanden när deras densiteter är kända. För mycket stora bergartsvolymer kan djupförhållandena förutsägas med relativt stor sannolikhet ner till stora djup, dvs. 10-tals km.

Prospektering efter malm, olja och gas

Lokala avvikelser i tyngdkraftsfältet kan avslöja mineral-, olje- eller gasförekomster i jordskorpan. Järn- och sulfidmalmer ger normalt upphov till positiva avvikelser medan porösa, gas- och/eller oljeförande bergarter, genomgående ger upphov till negativa avvikelser i tyngdkraftsfältet.

Genom tyngdkraftsmätningar i samband med järnmalmsinventeringen i Norrbottens län på 1970-talet fann man t.ex. en mycket stor hematitmineralisering vid Pattokk i norra Lappland. Denna järnmineralisering gav på grund av hematitens låga magnetiserbarhet inte upphov till någon speciell magnetisk avvikelse. Enligt personer som var med och mätte, så "klonkade det i gravimetern". Avvikelsen lär ha varit + 6 mGal. Ett annat exempel är Olympic Dam, en av världens största mineraliseringar, som man fann i Australien på 70-talet genom att kombinera berggrunds-, magnetfälts- och tyngdkrafts information (Sheard & Binks, 1987).

Bedömning av vattenreservoarer, avfallsanläggningar och jordmäktigheter

Vid genomförda studier i Finland (Valli & Mattsson 1998) och i Sverige (Jönberger 2003) har det visat sig att noggranna täta tyngdkraftsmätningar lämpar sig väl, som komplement till georadar- och seismiska- liksom till resistivitets- och EM-undersökningar, vid bedömning av vattenreservoarers kapacitet. Vidare har tyngdkraftsmätningar använts för att titta på förändringar i avfallsanläggningar (Elo & Uusihakala 2004) och för att kartlägga jordarters djupförhållanden (Elo 1995 och 2006).

Beräkning av höjd över havet

Tyngdkraften måste vara känd för att det ska vara möjligt att ur traditionella avvägningar kunna beräkna en punkts höjd över havet med stor noggrannhet. Vid avvägning ställs instrument och stänger upp med hjälp av vattenpass, vilket medför att avvägningen blir beroende av lodlinjen, dvs. tyngdkraftens riktning. Oregelbundenheterna i tyngdkraftsfältet medför att de mot lodlinjerna vinkelräta nivåytorna (vattenpassytorna) inte är parallella längs avvägningslinjen, vilket i sin tur medför att en avvägning mellan två punkter ger olika resultat längs olika vägar.

Exempelvis ger en avvägning mellan Västervik och Askersund längs vägen Västervik-Jönköping-Askersund upp till 1,5 cm större höjd över havet i Askersund jämfört med vägen Västervik-Nyköping-Askersund. Allt enligt Haller (1990).

Geoidberäkning

Om massfördelningen i jorden skulle vara homogen skulle den ostörda havsytan anta jordellipsoidens form. Men på grund av att massan i jordens inre är oregelbundet fördelad avviker havsytan med upp till +/- 100 meter från jordellipsoiden. Denna yta, som är den ostörda havsytan och dess tänkta fortsättning in under kontinenterna, kallas geoiden. Geoiden är en

ekvipotentialyta som beskriver jordens sanna form och är på sätt och vis en bild av jordens gravitationsfält. Geoiden bestämmer man med hjälp av tyngdkraftsinformation.

Man kan fråga sig varför man bör känna till geoiden med stor noggrannhet. Vid höjdbestämning med hjälp av GNSS får man höjden över ellipsoiden och inte den ortometriska höjden (slarvigt uttryckt höjden över havet), som man ju egentligen är intresserad av. Genom att korrigera ellipsoidhöjder med geoidhöjden, som anger avvikelsen mellan geoiden och ellipsoiden, får man reda på punktens ortometriska höjd. Tyngdkraftsinformation används för att beräkna geoiden. I Sverige är det Lantmäteriet som gör dessa beräkningar, och man utgår från ett tyngdkraftsnät med ett punktavstånd på ca 5 km, men för att uppnå en höjdnoggrannhet på 0,5 cm behövs sannolikt ett tätare tyngdkraftsnät.

GNSS-systemen med bra geoidkorrektioner har avsevärt minskat kostnaderna för mätningar inom infrastrukturområdet, t.ex. vid anläggning av vägar, järnvägar och avloppsnät. Samhällets besparingar är mycket stora.

Tekniska ändamål

Tyngdkraftsinformation används också för att kalibrera vågar och tryckgivare, som bl.a. sitter som säkerhetsbrytare i vajrar. SGU har bland andra haft ingående diskussioner med Arlanda flygplats om tyngdkraftens inverkan vid olika flygplatser. Exempelvis kan ett flygplan som startar vid ekvatorn ha betydligt större last än ett som startar från Arlanda eller ännu värre från en flygplats på Spetsbergen. Vidare har en hel del företag som sysslar med värdefulla metaller och legeringar, bland andra ABB, varit i kontakt med SGU för att få det exakta tyngdkraftsvärdet just vid den plats där de har sina laboratorier eller motsvarande. Senast var Rymdbolaget i kontakt med oss för att få reda på tyngdkraften vid deras testanläggning för raketmotorer.

Navigering och positionsbestämning

I flygplan och ubåtar utnyttjas så kallad tröghetsnavigering. Genom att mäta accelerationen i tre mot varandra vinkelräta riktningar och dessutom känna till tyngdkraftsfältet längs färdvägen, kan man navigera utan någon ytterligare information. Det sägs att även vissa kryssningsmissiler har tröghetsnavigeringssystem för att kunna orientera rätt över hav och öknar, där ingen topografi finns eller är relativt snabbt föränderlig. Detta är en orsak till att vissa nationer har hemligstämplat mer detaljerad tyngdkraftsinformation som täcker dylika områden.

Vetenskapliga ändamål

Landhöjningen kan noggrant kartläggas med hjälp av upprepade tyngdkraftsmätningar längs förutbestämda linjer. Förändringen av tyngdkraften ger därmed information om massförflyttningar (viskositetsförhållanden etc.) i jordens inre.

Jordens elastiska egenskaper kan bestämmas genom registrering av tidjorden – den fasta jordens motsvarighet till tidvattnet. Tidjorden har en periodicitet på drygt 12 timmar och en amplitud i Mellansverige på upp emot två decimeter.

Inom den platttektoniska forskningen används tyngdkraftsinformation för att bland annat utröna förhållandena vid plattgränserna.

Bearbetning av mätdata och felkällor

Bearbetningen av insamlad tyngdkrafts-, GNSS- och barometer-information följer SGU:s kvalitetsystem. De slutgiltiga beräkningarna utförs med hjälp av SGU:s programsystem "GRAVIA" (Lindgren m.fl. 1994). För terrängkorrektionerna används digitala höjdmodeller (DEM) med ett 500x500 m nät och ett 50x50 m höjdnät från Lantmäteriet. När den "Nya Nationella Höjdmodellen" (NNH) får en bättre täckning över landet kommer närkorrektionen, eventuellt inom en radie av 3,52 km, att beräknas utgående från dessa data. Höjdnätet för NNH har ett punktavstånd på 2 meter. Förkortningen DEM står för "Digital Elevation Model". DEM bör inte förväxlas med den digitala höjdmodellen DTM (Digital Terrain Model) som egentligen beskriver markytans, terrängens, form.

Varje observationspunkt korrigeras för tidjordseffekten (se ovan). Instrumentets drift beräknats därefter som en linjär funktion av tiden mellan baspunktsuppställningarna. Normalt utförs numera, tack vare instrument med liten drift, baspunktsmätningar enbart på morgonen och på kvällen.

Observationspunkternas lägen (plankoordinater) bestäms sedan 1990-talet med en enkel GPS. Denna utgör sedan 2000-talet dock enbart ett komplement till den noggrannare GNSS-utrustningens positionsbestämning. Tidigare användes främst kartor i skala 1:50 000, men även i skala 1:100 000 eller 1:20 000. Vilken typ av koordinatbestämningsmetod som använts för respektive mätpunkt finns inlagrat i SGU:s tyngdkraftsdata. Latituden och longituden på Bessels ellipsoid 1841 beräknas utgående från xy-koordinaterna (RT90). För att vara strikt vetenskaplig borde Hayfords ellipsoid 1910 ha använts även vid SGU:s bearbetning av tyngdkraftsdata. Felen som finns på grund av fel ellipsoid berör enbart latitudkorrektionen och inverkar obetydligt på anomalivärdena. Sannolikt valdes Bessels ellipsoid på grund av att den är den svenska referensellipsoiden, som Lantmäteriets kartor använt sig av under praktiskt taget hela 1900-talet och fram till 2007/2008. Framöver är det GRS80 som gäller. Det nya koordinatsystemet, sweref99TM, innebär, förutom ellipsoidbyte, även övergång från höjdsystem RH70 till RH2000. Ändringen av koordinatsystem kommer att göras 2011. Enligt tidigare plan var det 2009, men blev framskjutet på grund av andra mer angelägna arbetsuppgifter.

Beräkningsformlerna, som används vid den slutgiltiga beräkningen av anomalivärden, är beskrivna av Lagmanson (1981) och av Lindgren m.fl. (1994). Formlerna är till stor del hämtade från Jung (1961).

De formler som använts är följande:

Teoretiska tyngdkraften (γ_0) enligt Internationella formeln 1930:

$$\gamma_0 = \gamma_{ekv} (1 + \alpha \sin^2\Phi - \beta \sin^2 2\Phi)$$

där $\gamma_{\text{ekv}} = 978,04900 \text{ gal}$ (teoretiska tyngdkraften vid ekvatorn)

$$\alpha = 0,0052884$$

$$\beta = 0,0000059$$

Φ = latitud

Friluft- och Bougueranomalin, Δg_F respektive Δg_B enligt formel:

$$\Delta g_F = g - \gamma_0 + F h_m + \delta_F$$

där g = tyngdkraften (benämns "beräknad tyngdkraft" av Lagmanson (1981))

h_m = markhöjden i meter

$$\delta_F = 0$$

$$F = 0,3087777 - 0,000454 \sin^2\Phi + 0,0000000725 h_s$$

Enligt Lagmanson (1981) sker beräkningen av Bougueranomalin med hjälp av nedanstående formel, men i bearbetningsprogrammet (Lindgren m.fl. 1994) används en formel som är beskriven av Jung (1961). Den formeln är en approximation av en Bouguerhätta, men trots approximationen betydligt mer komplicerad än nedanstående formel som använder sig av Bullards term. Enligt Patrik Johansson (2009) ger formeln med Bullards term ett ungefär lika stort fel som den approximativa formeln, fast med motsatt tecken, av Bouguerkorrektionen jämfört med den fullständiga formeln. Vid ändringen från ECS62 (RG62) till RG82 kommer SGU att utnyttja nedanstående formel vid beräkning av Bougueranomalin. Eventuellt kommer vissa parametrar, t.ex. jordens medelradie, att uppdateras.

$$\Delta g_B = \Delta g_F - (0,0419 \rho_B + b) h_m$$

där ρ_B = Bouguerdensiteten (vid SGU genomgående $2,67 \text{ g/cm}^3$)

h_m = markhöjden i meter

$$b = \text{Bullards term} = 0,0419 \rho_B (\sin(1^\circ 29' 58'' / 2) - h_m/R)$$

där R = jordens medelradie i meter = $6\,372\,000 \text{ m}$

Bullards term (b) utgör skillnaden i tyngdkraft mellan en sfärisk "Bouguerhätta" med en radie av cirka $166,7 \text{ km}$, motsvarande $1^\circ 29' 58''$, och en oändligt utsträckt Bouguerplatta. Radien $166,7 \text{ km}$ svarar mot yttre radien för Hayfords zon O (O_2 ; Hayford & Bowie 1912). I och med att bearbetningen av tyngdkraftsdata framöver kommer att göras med Geosofts programvara, används en modifikation av Bullards term, benämnd "BB" (LaFehr 1991).

Terrängkorrektionen beräknas med hjälp av programmet "tercorr" (Holdar 1980). Programmet, som ursprungligen konstruerats av Mathisen (1976), tar hänsyn till terrängen runt mätpunkten

inom en radie av 166,7 km (Hayfords zon O). För när- och intermediäravstånd, ut till radien 3,52 km, används en beräkningsmetod som bygger på Gauss-Legendres numeriska kvadratur (Dyrelius 1994).

Terrängen runt observationspunkterna approximeras med hjälp av Lantmäteriets höjddatanät (500x500 meter) och med höjder ur medelhöjdskartor över Norden (bl.a. RAK 1963). Maskvidden för de senare är 5'x10' vilket motsvarar ca 9 x 9 km. Det täta höjddatanätet (500x500 m) används inom en radie av 20 km från observationspunkten och det glesare (5'x10') för avstånd 20–166,7 km. Från och med 1996 används Lantmäteriets 50 x 50 m nät inom en radie av 3,52 km (yttre radien för Hayfords zon G) och 500x500 m nätet för avstånd 3,52-20 km.

Sfärisk geometri tillämpas i samband med terrängkorrektionerna vilket medför att negativa korrektioner kan förekomma. Detta gäller i synnerhet för observationspunkter omgivna av flack topografi och vars höjder ligger lågt i förhållande till den bortre omgivningen.

SGU:s mätningar är genomgående anslutna till ECS 62 (European Calibration System 1962), vilket motsvarar RG62, med hjälp av Lantmäteriets 1:a ordnings tyngdkraftsnät (Pettersson 1967). Numera används också referenspunkter i RG82, som också framtagits av Lantmäteriet. Dessa omvandlas till ECS62 genom addition av 14,60 mGal. Differensen mellan ECS62 (RG62) och RG82 är ännu inte strikt definierad (muntlig information från Lantmäteriet). Sannolikt varierar korrektionstermen beroende på var i landet man befinner sig. Detta är orsaken till att felgränsen för baspunkter, som använts och anslutits till det nya systemet, sätts så högt som 0,05 mGal.

Bougueranomaliernas noggrannhet

Noggrannheten för de enskilda mätpunkternas Bougueranomali (m_B) kan beräknas enligt nedan

$$m_B = \sqrt{m_p^2 + m_h^2 + m_g^2 + m_T^2}$$

där m_p = noggrannhet i latitudkorrektion. Ges av noggrannheten i geografisk position

m_h = noggrannheter i höjdkorrektioner. Ges av noggrannheten i höjd

m_g = noggrannhet i uppmätt g-värde

m_T = noggrannhet i terrängkorrektion

Noggrannheten i geografisk position (xy-koordinater) är numera tack vare enkla GPS-instrument +-5 meter. Före maj 2000, då den militära störcoden fanns kvar, var noggrannheten omkring +-50 meter. Dock har siffran +- 70 meter också nämnts, men har liten betydelse i detta fall. Innan GPS-instrumenten började användas, före 1990-talets första hälft, var noggrannheten främst beroende av observatörens förmåga att orientera sig och av kartunderlaget. Felet i x-koordinaten, dvs. approximativt N-S i RT90-systemet, är avgörande för storleken på felet i anomalin (tabell 1), dvs. latitudkorrektionen blir fel. För terrängkartan i skala 1:50 000, som varit det mest använda kartunderlaget,

uppskattas positionsfelet till 50 meter, vilket i stort sett motsvarar fel för GPS-instrument före maj 2000. I vissa områden har dock andra kartskalor använts, 1:100 000 och 1:20 000. För dessa uppskattas positionsfelet till 100 respektive 20 meter. Ovanstående feluppskattningar gäller i huvudsak mätningar längs vägar. Inom landområden utan farbara vägar, så kallad obanad terräng, kan positionsfelen vara betydligt större än vad som angetts ovan. I samband med till exempel järnmalmsinventeringen i Norrbottens län på 1960- och 1970-talet utfördes bland annat regionala tyngdkraftsmätningar inom stora väglösa områden. De i många fall mycket skickliga mätteknikerna gick, åkte skidor eller snöskoter och orienterade med hjälp av kompass och karta. Ibland var markerna svårorienterade, med få sjöar eller motsvarande, vilket sannolikt föranledde relativt stora positionsfel. Felen i höjdbestämningen blev därmed också stora, eftersom höjdkurvor användes för höjdbestämningen. I realiteten stod mätteknikern på ett annat ställe än det han trodde sig stå vid. Uppskattningsvis förekom felorienteringar med ett par hundra meter i enstaka fall. Detta gör det besvärligt att rätt korrigera en angiven höjd utgående från den nya nationella höjdmodellen (NNH).

Tabell 1. Inom den centrala delen av Sverige ger positionsfel upphov till nedanstående fel i anomalivärdet, uttryckt i mGal. För t.ex. Skåne blir positionsfelet ca 15 % större och för Norrbotten ca 12 % mindre.

Fel i geografisk position (N-S) för tyngdkraftspunkt	GNSS (statisk GPS)	2 meter	0,001 mGal
	GPS (efter maj 2000)	5 meter	0,003 mGal
	Skala 1:20 000	20 meter	0,013 mGal
	Skala 1:50 000 eller GPS före maj 2000	50 meter	0,033 mGal
	Skala 1:100 000	100 meter	0,066 mGal

Höjdnoggrannheten är beroende av om mätningen utförts med hjälp av precisions-GNSS eller barometrar eller på fixpunkt, höjdpunkt, avvägd sjöyta, sjöyta eller höjdkurva (tabell 2). Höjdkurvor och om möjligt sjöytor, användes allmänt vid mätningar före GNSS-systemens införande, 1995 för SGU:s del. Kriterierna vid val av mätlokaler var relativt flack topografi och väldefinierade ställen på kartan och i terrängen, t.ex. vägkorsning som skärs av höjdkurva. Enligt Johansson och Krosse (1964) är medelfelet för sådana höjder mindre än 3 meter. Precisions-GNSS ger normalt en höjdkvalitet bättre än 0,1 meter (Aaro m.fl., 2001), dock är bedömningen att man får räkna med fel upp emot 0,5 meter i vissa fall, eller ännu värre när antalet tillgängliga satelliter är få och/eller har ogynnsamma lägen vid mätningen. Barometersystemet ger under bra förhållanden, dvs. stabila tryckförändringar och relativt korta tider, max 0,5 timme, mellan referenspunktsmätningar, bra höjdvärden. Uppskattningsvis bättre än 1 meter. För mätningar utförda och bearbetade 2008 avviker de interpolerade höjderna baserade på Lantmäteriets 50 x 50 m digitala höjdmodell (DEM) med, i genomsnitt, cirka 0,1 meter från GNSS-bestämda höjder. Standardavvikelsen är 2,0 meter. Totalt har 1090 punkter jämförts.

Den nya nationella höjdmodellen (NNH) ger synnerligen bra noggrannhet längs vägar och andra jämna hårda ytor. I terrängen är noggrannheten i vissa fall relativt dålig enligt Lantmäteriets

nyhetsbrev 2010:3 (2010). Noggrannheten i plankoordinaterna är avgörande för en bra höjdbestämmning utgående från NNH (Aaro 2011).

Tabell 2. Klassindelning av höjdnoggrannheten och uppkomna fel i anomalivärdet, uttryckt i mGal.

Fel i höjd	Fixpunkter	0,05 meter	0,01 mGal
	Precisions GNSS	0,1 meter	0,02 mGal
	Korrigerad havsyta	0,1 meter	0,02 mGal
	DEM 2 x 2m. Bra plankoord., <1 m	0,1 meter	0,02 mGal
	Höjdpunkter, avvägda sjöytor etc.	0,2 meter	0,04 mGal
	Okorrigerad havsyta	0,5 meter	0,1 mGal
	DEM 2 x 2 m. Plankoord. från enkel GPS	1 meter	0,2 mGal
	Barometer, bra förhållanden	1 meter	0,2 mGal
	Barometer, normala förhållanden	2 meter	0,4 mGal
	Interpolerade höjder (50 x 50m DEM)	2,5 meter	0,5 mGal
	Höjdkurvor och övriga sjöytor	3 meter	0,6 mGal

Noggrannheten för tyngdkraftsmätningen på respektive mätpunkt indelas i två klasser, bra eller dålig (störd) avläsning. En dålig avläsning uppkommer på grund av blåst, intensiv trafik eller mindre jordbävningar. Vid större skalv avbryts mätningarna normalt. Indelningen görs i samband med mätningen. För att få det totala felet i det uppmätta g-värdet måste man lägga till felet i baspunkten. I många fall upprättas en egen baspunkt invid fältförläggningen. Den mäts vanligtvis in från en relativt närbelägen 1:a ordningens punkt, vilka upprättats av Lantmäteriet.

Uppskattningsvis är det absoluta felet för 1:a ordningens baspunkter 0,05 mGal och för 2:a ordningens baspunkter 0,07 mGal. Orsaken till att SGU uppskattat felet så högt hänger delvis samman med att relationen mellan RG82 och RG62 inte är fullt utredd (se ovan). Om mätning och bearbetning sker i system RG82 uppskattas felet i baspunkten till 0,01 mGal.

Utnyttjas 3:e ordningens punkter som baspunkter försämras noggrannheten med ytterligare ca 0,02 mGal, förutsatt att mätinstrumentet är bra och att observatören har synnerligen gott handlag. I samband med att anslutningen till en känd punkt görs bör de yttre förhållandena vara bra. Förekommer störningar, till exempel tung trafik eller jordbävning i samband med mätningen, blir utgångsvärdet upp till 0,1 mGal sämre.

Tabell 3: Relativa fel i g-värde för punkter som ansluts till en och samma baspunkt.

Fel i uppmätt g-värde	bra förhållanden och LaCoste & Romberg gravimeter	0,02 mGal
	bra förhållanden och Scintrex CG-5 gravimeter	0,01 mGal
	störda förhållanden	0,1 mGal

Noggrannheten i terrängkorrektionen är beroende av topografin inom mätområdet och höjddatanätets täthet. Numera används Lantmäteriets relativt sett gamla digitala höjddatamodell med 50 x 50 meters nät. Felet i terrängkorrektionen är i stort sett mätoberoende. Olämpligt val av observationspunkt, t.ex. på hög sten, intill vägskärning eller på vägbank, kan dock inverka kraftigt eftersom näreffekter inte beaktas. Felet i terrängkorrektionen på grund av dåligt val av observationspunkt och brister i digital höjdmodell (DEM) uppskattas till 0,00–0,2 mGal. Den nya nationella höjdmodellen, NNH, kommer dock att ge möjlighet att göra uppdateringar av terrängens inverkan. I och med att NNH har ett punktavstånd på enbart 2 meter, kommer näreffekterna att beaktas på ett tillfredsställande sätt. Dock måste tidpunkten för tyngdkraftsmätning vägas mot tidpunkten för NNH-skanningen.

Med utgångspunkt från ovanstående blir medelfelet i Bougueranomalin enligt nedan:

I bästa fall:	Juni 2000 -	Mindre än 0,06 mGal
I sämsta fall:	Juni 2000 –	Mindre än 0,5 mGal
	1996-maj 2000	Mindre än 0,6 mGal
	Före 1996	Mindre än 0,7 mGal

Gunnarsträskgabbbron

Gunnarsträskgabbbron ligger strax öster om Gunnarsbyn, cirka 30 km nordnordost om Boden. Benämningen "Gunnarsträskgabbbron" är inte riktigt adekvat eftersom gabbbron inte ligger vid Gunnarsträsk, utan i anslutning till Gunnars-Djupträsket. Eftersom benämningen Gunnarsträskgabbbron använts i de flesta tidigare publikationer används den även i denna rapport. Filén (1987, 1990) har dock använt Gunnarsdjupträsk som namn på intrusionen.

Det finns få beskrivningar av Gunnarsträskgabbbron. Huvuddelen rör gabbbrons fysikaliska egenskaper samt analys av magnetfälts- och tyngdkraftsdata (Arkko 1986, Lundmark 1992).

Vidare finns gabbbron omnämnd i Hansson (1985). Filén (1987) visade att den 8x5 km Gunnarsträskgabbbron är en s.k. lagrad basisk intrusion. Enligt Cawthorne (1996) återspeglar magmatisk lagring förändringar i mineralogi, modal mineral sammansättning, kornstorlek och textur. Lagren kan variera i tjocklek allt ifrån någon centimeter till hundratals meter. Normalt är sammansättningen i den lagrade intrusionen ultramafisk till mafisk eller syentoid och uppträder i form av en lagergång eller lopolit. Det finns ett flertal processer som kan medverka till bildning av lagrade magmatiska bergarter då magma fylls på i magmakammaren, i samband med konvektionströmmar i magman och vid in situ kristallisation vid magmakammarens golv eller väggar. Dessa processer inkluderar t.ex. gravitativ avsättning av kristaller, kristallsortering i magma strömmar, kompaktion, magmapåfyllning eller blandning av olika magmor, samt variationer i kristallnukleation, kristalltillväxt och syrefugacitet etc. Oavsett process så kommer

separationen av utfällda kristaller från magman leda till en förändring i kemisk sammansättning hos smältan, en så kallad magmatisk differentiation, då de utfällda mineralen urlakar bergartssmältan på de element som bygger mineralfaserna. Ovanstående är av intresse vid analys av tyngdkrafts- och magnetisk information, eftersom en och samma bergartskropp kan ha systematiska skillnader i densitet och i magnetiska egenskaper till följd av modala variationer mellan olika lager.

Hällar med välutvecklad modal lagring finns i synnerhet i de västra delarna vid Gunnars-Djupträskets östligaste strand (Filén 1987). Gunnarsträskgabbbron framträder på den flygmagetiska kartan som en högmagnetisk, cirkulär anomali. En viss koncentritet i kan skönjas i magnetmönstret, vilket förmodligen speglar variationer i magnetithalt mellan olika lager i intrusionen. Enligt Filén (1987) visar lagringsobservationer att intrusionen bildar en tillplattad, något överstjälpt kon. Den magmatiska lagringen är parallell med kontakten till sidoberget och stupar medelbrant in mot intrusionens centrum. Gabbbron omges enligt berggrundskartan över Fennoskandiska skölden (Koistinen m.fl. 2001) i stor utsträckning av sura till intermediära plutoniska bergarter, vilket gör att densitetskontrasten är hög. Detta medför att förutsättningarna för att beräkna gabbrons djupförhållanden utgående från tyngdkraftsinformation är goda.

Enligt Arkko (1986) antyder de interna, magnetiska strukturerna i Gunnarsträskgabbbron en differentiation av magman och periodisk utfällning av titanomagnetit, vilket stöds av förhållandevis stora variationer i densitet och magnetisk susceptibilitet för petrofysikprover från gabbbron. Lundmark (1992) hävdar å sin sida att intrusionerna skett under en längre tid med flera olika pulser och att man på så sätt fått en lagrad gabbro. Han hävdar att trots en samlad NRM-riktning (Naturlig Remanent Magnetisering), vilket är vanligt för icke lagrade intrusioner (op. cit.), så räknas Gunnarsträskgabbbron till de lagrade intrusionerna. Orsaken till den samlade bilden i NRM riktningarna är enligt Lundmark att provtagningen skett inom en och samma intrusionspuls.

Tyngdkraftsmätningar i området för Gunnarsträskgabbbron

Mätningarna över aktuellt område har utförts av Patrik Johansson och Sven Aaro i samband med mätningar på kartbladsområdet 25L Boden. Mätningarna som omfattar Gunnars-Djupträskområdet utfördes under fyra dagar i augusti 2011 och bearbetningen under hösten 2011. Totalt har 197 punkter mätts inom området för Gunnarsträskgabbbron. Huvuddelen har mätts längs med bil farbara vägar med ett mätpunktsavstånd av 300 till 500 meter. Ett mindre antal punkter har mätts i skog. Tidigare mätningar omfattar cirka 70 punkter varav få på själva gabbbron. Dessa mätningar har utförts 1970, 1975 och 1983. Granskningen av tyngdkraftsinformationen, med hänsyn till Rikets säkerhet, har gjorts av Lantmäteriet i Gävle. Mätningarna har utförts under perioden 16 augusti – 1 september 2011. Detta gäller då även kartbladsområdet 25L Boden.

Undersökningsområdet omfattar norra delen av kartbladsområdet 25L Boden och södra centrala delen av kartbladsområdet 26L Pålkem. Den äldre kartbladsindelningen har använts på grund av att fälldata insamlats och bearbetats i RT90-systemet. Tyngdkraftskartläggningen har projektkod

RALC och följer SGU:s standard för tyngdkraftskartläggning inom malmpotentiella områden (GDFMTSt). Anslutningspunkten till det svenska, numera europeiska, tyngdkraftssystemet framgår av bilaga 1. Mätningarna har i stor utsträckning varit objektorienterade.

Väderleksförhållandena var ogynnsamma med mycket regn under flera fältdagar. Vid enstaka tillfällen förorsakade blåst och regn en del problem. De enda problemen med mätinstrumenten var att N-RTK-tjänsten inte fungerade inom den nordligaste delen av undersökningsområdet. Höjdbestämningen gjordes därför med hjälp av statisk mätning och efterbearbetning. Driften inklusive tidjorden för gravimetern framgår av bilaga 2. Diagrammet (bilaga 2) visar hela mätperioden, dvs. även mätningarna över övriga delar av kartbladsområdet 25L Boden.

Vid tyngdkraftsmätningarna användes Scintrex CG-5 gravimeter med SGU:s beteckning CG51. Enligt kalibreringsmätning 2009-05-14 mellan Lantmäteriets två nya (2001) baspunkter, Uppsala astronomiska observatorium och höjdfix 7401 utanför Vallvik, är felet för CG51 0,05 %. Skillnaden mellan de två valda punkterna är 103,1 mGal. Lantmäteriet använde sig av en LaCoste & Romberg gravimeter vid inmätning av de nya (2001) baspunkterna. Tyvärr ligger sensorn för de olika instrumenten, CG-5 respektive LaCoste & Romberg, inte på samma höjd, varför terrängeffekterna på respektive punkt skapar vissa olikheter i tyngdkraft. Dessutom finns en osäkerhet vid korrektionen för den relativa landhöjningen. Kalibreringen av CG51 visar att en skaldel motsvarar en mGal. Eftersom skillnaden i det absoluta g-värdet inom det aktuella undersökningsområdet är maximalt 50 mGal har maxfelet med anledning av brister i mätinstrumentet beräknats till 0,025 mGal. För regionala bedömningar är dessa fel fullständigt försumbara. Vid varje mättillfälle registrerades tyngdkraften under 60 sekunder varför medelfelet i själva mätningen normalt är under 0,01 mGal. En registreringstid på 30 sekunder, som diskuterats, bör ge en tillräckligt bra kvalitet vid denna typ av mätning.

Höjdbestämningarna har gjorts med SGU:s precisions-GNSS-system (TopCon GR3) med hjälp av N-RTK (nätverks-RTK) med 60 s observationstid. För ett mindre antal punkter har rutinerna för efterbearbetning tillämpats. För dessa punkter har observationstiden varit över 2,5 minut. Vid efterbearbetningen användes SWEPOS-stationen i Gunnarsbyn (GUNN.0), som inte låg alltför långt, max 30 km, från de aktuella mätpunkterna. Orsaken till att rutinerna för efterbearbetning använts var att N-RTK-mätningen inte fungerade. Det var inte möjligt att etablera kontakt mot SWEPOS-nätet med hjälp av NTRIP inom den centrala nordligaste delen av undersökningsområdet. I vissa lägen verkade det som om bilens blinkfyrrar påverkade N-RTK-mätningarna på ett ogynnsamt sätt.

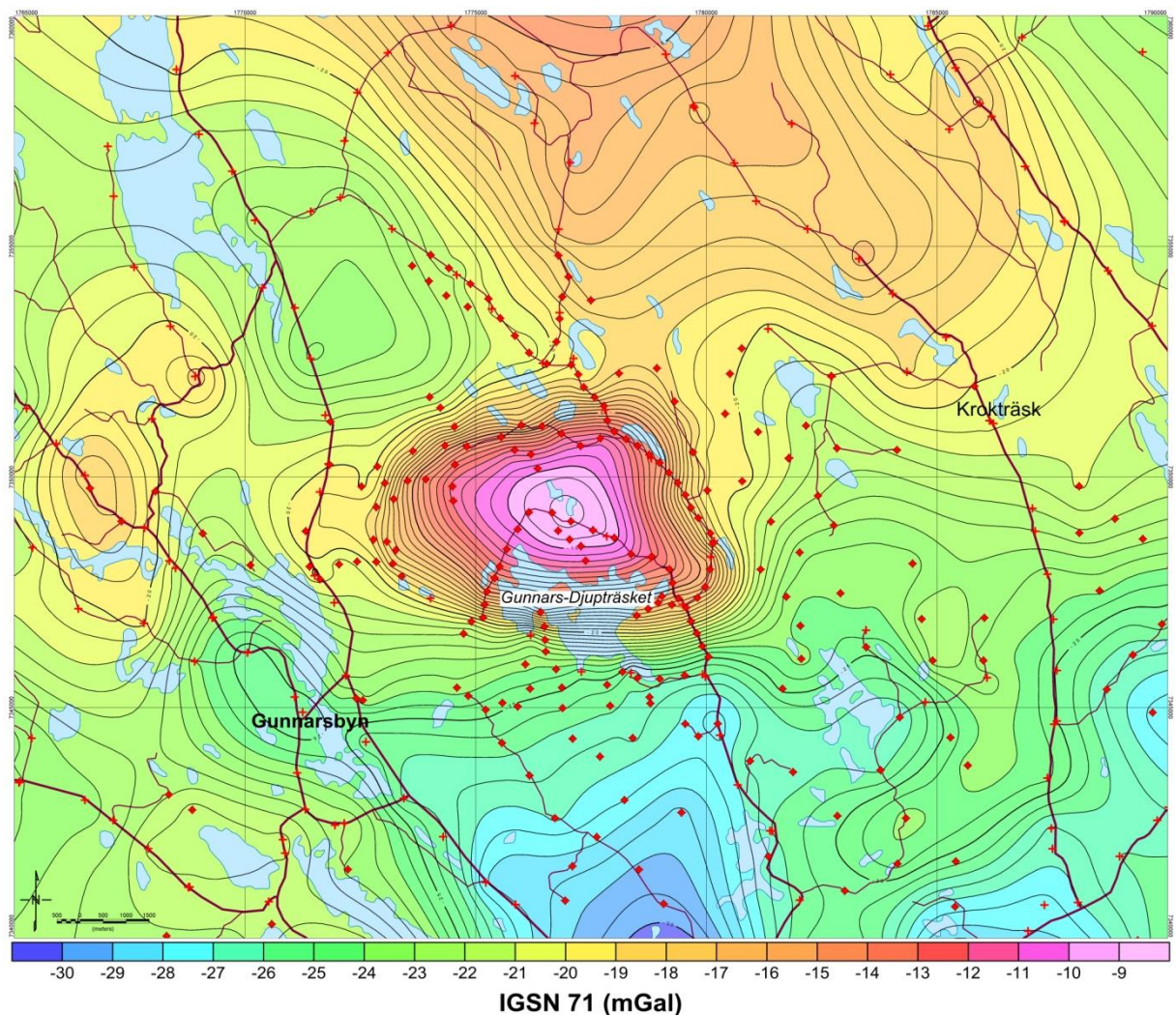
Som reservsystem för höjdbestämningarna har barometrar används, en stationär i fältkvarteret i Boden och en som medföljer mätbilen. Vid slutbearbetningen av data har även höjder från den nya nationella höjdmodellen använts för punkter med dåliga GNSS förhållanden. Höjderna har bestämts i RH2000 varvid geoiden SWEN08 använts. Felen i höjdbestämningarna uppskattas till 0,2 meter (96 %), vilket motsvarar ett fel i Bougueranomalin på 0,04 mGal.

Mätpunkterna har anslutits till ECS 62 (RG62) med hjälp av lokal baspunkt vid kyrkan i Boden, som i sin tur är anslutna till Lantmäteriets nya 1:a ordningens punkt i Hundsjön, cirka 14 km nordnordost om Boden. Baspunkten i Boden är beskriven i bilaga 1.

Bearbetningen av mätdata följer SGU:s processer för tyngdkraftskartläggning. Kontrollmätningarna samt övriga jämförelser visar att några av de tidigare mätpunkterna är felaktiga. Dessa har raderats från databasen. Bearbetningen av mätdata har utförts av Sven Aaro.

Instrumentdriften och tidjorden är presenterade i bilaga 2. Kurvorna för de enskilda dagarna antyder ett relativt normalt beteende för gravimetern. Driften varierar något från dag till dag och är maximalt cirka 0,2 mGal. Orsaken till variationen är sannolikt olika vägförhållanden, vissa dagar sker transporter till stor del längs gropiga vägar och andra dagar i huvudsak längs asfalterade vägar.

Mätresultaten inklusive tidigare års mätningar är sammanställda i figur 3. Tyngdkraftsanomalins storlek antyder att gabbrens djupgående är cirka 1 km.



Figur 3. Bougueranomalin över Gunnarsträskgabbron med omgivning. Södra delen av gabbron har sitt utgående i höjd med Gunnars-Djupträsket och sträcker sig cirka fyra km norr därom. Utgåendet i öst-väst är cirka 5 km. Anomalins storlek, cirka 13 mGal, antyder ett djupgående av 1,0 till 1,2 km. Röda plustecken anger äldre mätningar och röda punkter mätningar 2011. Anomalin är relaterad till IGSN 71, vilket i stort motsvarar RG82. Ekvidistans 0,5 mGal.

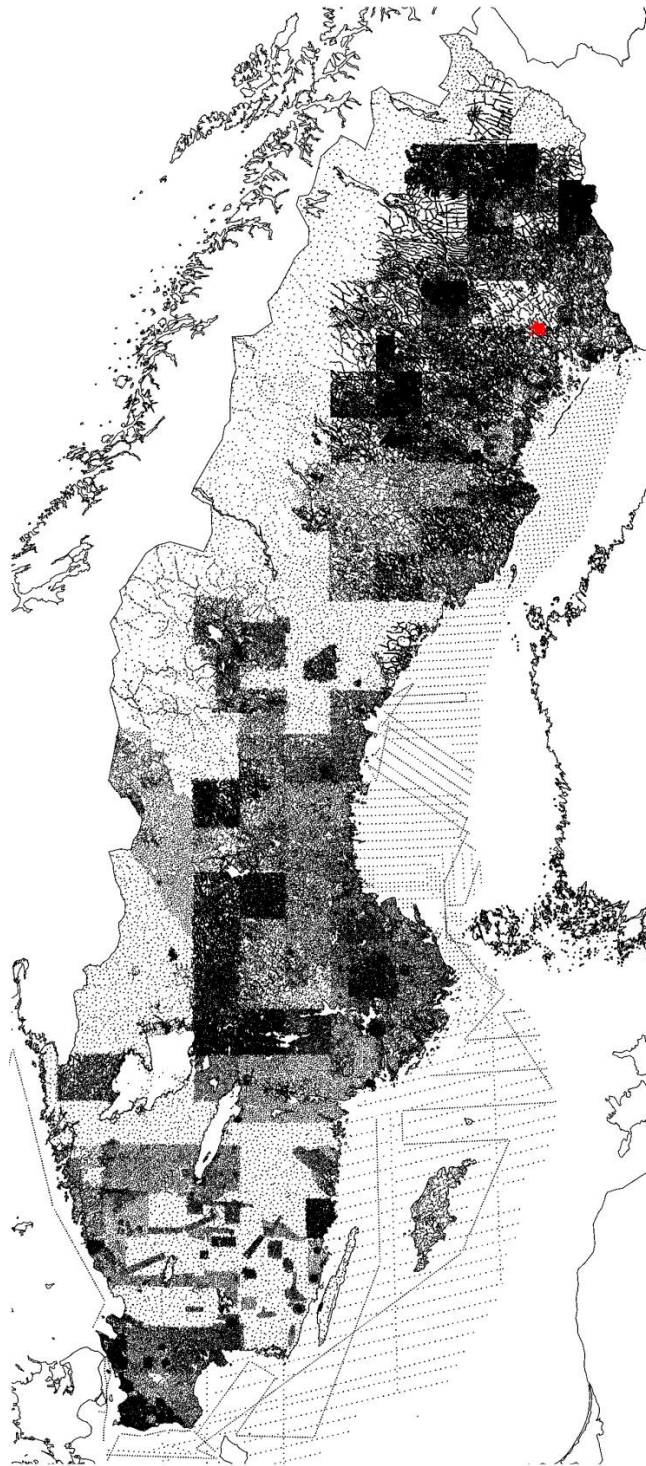
SGU:s tyngdkraftsdatabas

SGU:s tyngdkraftsdatabas omfattar 176 375 tyngdkraftspunkter, varav 9941 med likartade koordinater, dvs. det finns två eller flera inom en 100 meters radie. Av dessa senare kan 136 anses vara rena dubletter. Förutom de punkter som är inlagrade i databasen finns det tre olika datamängder; cirka 2 600 punkter som insamlats i samband med mätningar längs Västkusten och i Östersjön samt Bottenhavet 1996, cirka 2000 som insamlats främst över Östersjön 1999 och cirka 120 000 punkter som mätts inom den statliga prospekteringen på 1960-, 1970- och 1980-talet. Mätningarna i och över havsområdena har utförts med hjälp av båt respektive flygplan. Mätningarna i Bottenviken och Bottenhavet har utförts på is under extremt kalla vintrar på 1970-

och 1980-talet. Kompletterande mätningar i Bottenhavet utfördes med båt 1996. I samband med dessa mättes också enstaka stråk i Östersjön och på Västkusten. Över främst Östersjön utfördes flygburna mätningar med en stråkseparation av cirka 15 km sommaren 1999. Vid is-, båt- och flygmätningarna har SGU samverkat med nordiska och baltiska institutioner. Antalet punkter som angivits ovan, 2 600 respektive 2 000, utgör enbart en del av det totala antalet mätpunkter som insamlats i samband med dessa projekt. Enligt försvarsmaktens direktiv måste avståndet mellan inbördes punkter vara större än 3 km över havsområden.

Under mars 2011 har cirka 2000 nya punkter tillförts databasen. Fördelningen av mätpunkterna inom svensk ekonomisk zon framgår av figur 4.

I samband med att databasen transformeras till RG82, swerf99TM, GRS80, RH2000 etc. kommer alla tillgängliga data att läggas in i en och samma databas. Detta gäller även de som bearbetats i samband med projektet Fennoskandiska skölden (Korhonen m.fl. 1999). Till skillnad från de övriga är data från projektet Fennoskandiska skölden interpolerade och dessutom uppräknade med hjälp av analytisk fortsättning. Den nya databasen beräknas bli färdig 2012.



Figur 4. SGU:s och andra organisationers, främst Lantmäteriet, regionala tyngdkraftsmätningar 1940–2010 innanför svensk ekonomisk zon. Totalt omfattar datamängden cirka 183 400 regionala mätpunkter. Mätningar som utförts inom Gunnars-Djupträskområdet i augusti 2011 är markerade med röd färg.

TACKORD

Statsgeolog Fredrik Hellström, SGU, har noggrant granskat texten och kommit med genomtänkta förslag till ändringar. Detta gäller speciellt avsnittet som behandlar Gunnarsträskgabbrens petrologi och mineralogi.

Litteraturförteckning

Aaro, S. & Byström, S., 2001: Tyngdkraften och magnetfältet – två viktiga nycklar till Jordens inre. *Geologiskt forum* 32, 21-28.

Aaro, S., Johansson, B. & Stenberg, L., 2001: GPS-höjdkvalitet – Syd Tämnaren. *Sveriges geologiska undersökning PM*.

Aaro, S., 2011: SGU:s höjdbestämningar och den nya nationella höjdmodellen. *Sveriges geologiska undersökning PM*, 29s.

Arkko, V., 1986: The Nordkalott project – Geophysical aspects of large mafic intrusions in northern Sweden. *Sveriges geologiska undersökning BRAP 86401*, 80 s.

Cawthorne, R.G.(Ed.), 1996: *Layered Intrusions*. Elsevier, Amsterdam, 531 pp.

Delaney, J.P., 1940: Leonardo da Vinci on isostasy. *Science vol. 91*.

Dyrelius, D., 1994: Tercor – Algoritm för beräkning av terrängkorrektioner inom när- och intermediäravstånd. *Sveriges geologiska undersökning FRAP 94403*, 38 s.

Elo, S., 1995: Gravity anomalies due to overburden, bedrock weathering and fracture zones. *57th EAEG meeting*, Extended abstracts, Poster 141.

Elo, S. & Uusihakala, M., 2004: GPS-gravity applications at a waste treatment centre. In: *Sharing the Earth: EAEG 66th Conference & Exhibition*, Paris. Extended abstracts, 4 p.

Elo, S., 2006: Progress and problems in near-surface gravity. *EAEG meeting in Helsinki*. Extended abstracts, 4 p.

Filén, B., 1987: PGE-Prospektering 1986, Etapp II. SGAB PRAP87003, 28 s.

Filén, B., 1990: PGE-Prospektering i Sverige 1985–1990, SGAB PRAP 90043, 67 s.

Haller, L.Å., 1990: TYNGDKRAFT FÖR NYBÖRJARE. Manuskript baserat på föredrag vid kartdagarna i Västerås 1990. *Lantmäteriverket*.

Hansson, K.-E., 1985: Projekt 4024 Korpilomboloområdet – gabbroinventering. *LKAB Ki-85-23*, xx s.

- Hayford, J.F. & Bowie W., 1912: The effect of topography and isostatic compensation upon the intensity of gravity. *USCGS no 10*.
- Holdar B., 1980: Nytt terrängkorrektionsprogram för regional gravimetri. *Sveriges geologiska undersökning Geofysiska byrån 8024*.
- Johansson, O. & Krosse H., 1964: Kontrollområde Torsåker. *Rikets allmänna kartverk A32*.
- Johansson, P., 2009: Formler för Bouguer-korrektion på SGU. *Sveriges geologiska undersökning PM*.
- Jönberger, J., 2003: The Importance of Gravity for Integrated Geophysical Studies of Aquifers. *Uppsala universitet, 1650–6553 Nr 66*.
- Jung, K., 1961: Schwerkraftverfahren in Der Angewandten Geophysik. *Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig, 348 s*.
- Koistinen, T., Stephens, M.B., Bogatchev, V., Nordgulen, Ø., Wennerström, M. & Korhonen, J., 2001: Geological map of the Fennoscandian Shield, scale 1:2 000 000. Geological Surveys of Finland, Norway and Sweden and the North-West Department of Natural Resources of Russia.
- Korhonen, J., Koistinen; T., Elo, S., Säävuoari, H., Kääriäinen, J., Nevanlinna, H., Aaro, S., Haller, L. Å., Skilbrei, J. R., Solheim, D., Chepik, A., Kulinich, A., Zhdanova, L., Vaher, R., All, T. and Sildvee, H., 1999: Prelimi magnetic and gravity anomaly maps of the Fennoscandian Shield 1:10 000 000.
- LaFehr, T.R., 1991: An exact solution for the gravity curvature (Bullard B) correction. *Geophysics* 56, 1179–1184.
- Lagmanson, M., 1981: Regionala tyngdkraftsmätningar vid SGU. *Sveriges geologiska undersökning Geofysiska byrån ID-NR 8109*.
- Nyhetsbrev 2010:3, 2010: Ny nationell höjdmodell. *Lantmäteriet*.
- Lindgren, J., Larkin S. & Aaro S., 1994: GRAVIA. Beskrivning av gravimetribearbetningssystemet vid SGU. *Sveriges geologiska undersökning FRAP 94402*.
- Lundmark, L.-E., 1992: Den naturliga remanensens riktningar i jämförelse mellan lagrade och inte lagrade mafiska intrusioner *Sveriges geologiska undersökning PRAP 92007, 11 s*.
- Mathisen, O., 1976: A Method for Bouguer Reductions with rapid Calculation of Terrain Corrections. *Geographical Survey of Norway Geodetic Publications 18*.
- Pettersson, L., 1967: The Swedish First Order Gravity Network. *Rikets allmänna kartverk A35, 44 s*.
- RAK, 1963: Mean Height Map of Sweden. *Rikets allmänna kartverk A30*.

Sheard, S. N. & Binks, P. J., 1987: An Exploration case Study for Olympic Dam style Mineralization on the Stuart Shelf, S.A. 5th ASEG Conference.

SIS, 1995: Satellitbaserad positionsbestämning – GPS - Terminologi. *Svensk standard SS637001 utgåva 2*, 29 s.

Valli, T. & Mattsson A., 1998: Gravity method – an effective way to prospect groundwater areas in Finland. *In: Casas, A. (ed.) Proceedings of the IV Meeting of the Environmental and Engineering Geophysical Society (European section), September 14–17, 1998, Barcelona, Spain. Madrid: Instituto Geográfico Nacional, 185–188.*

Bilaga 1

Baspunktsbeskrivning

Baspunkter som inmätts från Lantmäteriets nya 1:a ordningens nät har genomgående givits felgränsen $\pm 0,05$ mGal, eftersom g-värdet omvandlats från RG82 till RG62 (ECS62) genom addition av 14,60 mGal. Korrektionstermen är ännu inte strikt definierad (muntlig information från Lantmäteriet).

Vid inmätning av baspunkten 3301, kyrkogårdstrappa i Boden, har SGU:s Scintrex CG-5 använts. SGU:s benämning på gravimetern är CG51 sedan 2011.

TYNGDKRAFTSMÄTNING – BASPUNKTSBESKRIVNING
SGU, Box 670, 751 28 UPPSALA, 018-179000

25L SV

Baspunkt	Område	Gravimeter	Projekt kod
3 3 0 1	Överluleå kyrka, Boden	C G - 5	R A K R

Datum	Inmätningsskvens - Se manual (Ex. 1801 - Pustnäs 2 - 1801 eller 1801 - 2401 - Pustnäs 2 - 2401 - 1801 eller Pustnäs 2 - 1801 - Pustnäs 2 etc)	Observatör
1 0 0 8 0 9	Hundsjön – 3301 – Hundsjön	Sven Aaro

Anmärkning: Hundsjön är en av LMs nya baspunkter

Datum	Inmätningsskvens	Observatör
1 1 0 8 1 6	3301 – Hundsjön – 3301	Patrik Johansson och Sven Aaro

Anmärkning: Mätning i samband med produktionsmätning Avvikelsen var 0,02 mGal



X/Y: 7315 735 / 1768 583 Best.: N-RTK invid punkten

H.: 19,8 Best.: N-RTK /SWEN08/RH2000.
 Höjden baseras på GNSS-bestämningar vid flera olika tillf.

g-värde: 98 2319,16 +- 0,02 mGal RG82
 98 2333,76 +- 0,05 mGal ECS62

Bilaga 2

Instrumentdrift inklusive tidjord

För att kontrollera mätinstrumentets drift utförs så kallade baspunktsmätningar normalt på morgonen och på kvällen, dvs. före och efter själva tyngdkraftskartläggningen.

För gravimetern CG51 gäller att en skaldel motsvarar en mGal. Vanligtvis utförs två mätningar i följd vid varje mättillfälle på en baspunkt. Den absoluta avvikelsen mellan morgon och kväll bör inte överstiga 0,25 mGal. Till avvikelserna bidrar tidjordseffekten med maximalt 0,17 mGal. På grund av tidjordeffekten ändras avvikelserna relativt systematiskt under dygnet. Uppkommer stora avvikelser helt plötsligt tyder detta på att instrumentet hanterats ovarsamt.

