

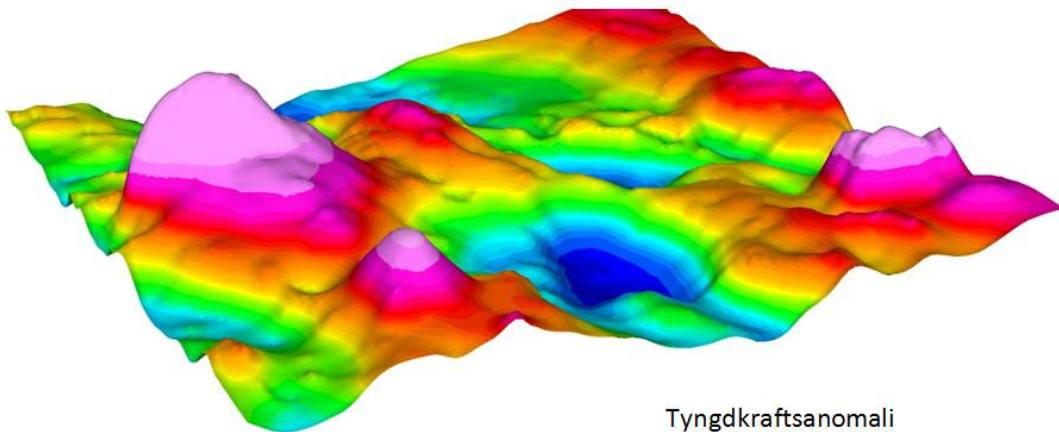
FoU-projekt 35221

Flygburen gravimetri och gradiometri -

Sven Aaro, Johan Jönberger & Mats Wedmark

februari 2012

SGU-rapport 2012:1



Tyngdkraftsanomali

SGU

Sveriges geologiska undersökning
Geological Survey of Sweden

Omslagsfoto: Mats Wedmark

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Inledning.....	5
Bakgrund.....	5
Exempel på mätningar och erfarenheter.....	7
Gradiometersystem.....	7
GTK:s testmätning 2009.....	7
GTK:s upphandling 2011.....	7
Ontarios geologiska undersökning (OGS) och Kanadas geologiska undersökning (GSC) 2011.....	8
Gravimetersystem.....	10
Ontarios geologiska undersökning (OGS) och Discover Abitibi, Timmins 2003.....	10
Sammanställning.....	13
Företag som utför flygburen gravimetri/gradiometri.....	13
Flygburna gradiometersystem.....	14
Kommentarer baserade på samtal med GTK.....	15
Övriga fakta och erfarenheter:.....	15
Litteratur enligt GTK 2011-03-17.....	16
BILAGA 1: PDAC 2011 / Johan Jönberger.....	17

Inledning

Nedan ges en sammanfattning av projektets kunskapsinhämtnings del. Informationen har dels insamlats vid ett arbetsmöte på Finlands geologiska undersökning (GTK), dels i samband med två konferenser, PDAC (Prospectors & Developers Association of Canada) i Toronto och vid EAGE (European Association of Geoscientists and Engineers) i Wien. Dessa möten finns dokumenterade i separata PM. Delar av promemorian från PDAC mötet framgår av Bilaga 1. Vid arbetsmötet på GTK representerades GTK av forskaren Seppo Elo. Vidare har skriftliga kontakter tagits med bland andra representanter för Ontarios geologiska undersökning (OGS).

Syftet med undersökningen är att få bättre kunskap om flygburna tyngdkrafts- och tyngdkraftsgradiometermätningar - noggrannhet och upplösning samt kostnader. Denna information redovisas kortfattat i tabell 2 (se avsnittet Sammanställning).

Huvudsyftet på sikt är att bedöma användbarheten för berggrundskartläggning, jorddjupsbestämning, malmprospektering, geoidbestämning, etc. Sannolikt är en relativt detaljerad tyngdkraftskarta över större områden ett mycket värdefullt underlag för EU:s framtida metallförsörjning. På grund av de konventionella flygburna tyngdraftssystemens relativt dåliga upplösning, 1-1½ km, har sammanställningen koncentrerats till gradiometersystemen.

Den första delen av projektet har varit kunskapsinhämtning och den andra delen är avsedd för testmätningar. Den senare delen genomförs 2012 - om medel tillskjuts.

Bakgrund

Flygburna geofysiska mätningar har utförts sedan 1960 av SGU. Under de första åren mättes enbart magnetfältet efter ett statligt initiativ att kartlägga norra Sveriges järnmalmstillgångar.

1967 fick SGU uppdraget att inventera Sverige med avseende på svenska urantillgångar, vilket ledde till att ett system för att mäta gammastrålning tillkom.

Under början av 1970-talet utökades mätsystemet med en VLF-mottagare. Sedan dess har inga ytterligare metoder tillkommit, dock har de befintliga förfinats under åren. Den tekniska utvecklingen i mät- och bearbetningssystem under de 50 år, som flygmätningen funnits vid SGU, har medfört att noggrannheten och kvaliteten har förbättrats väsentligt. Vid mätning av magnetfältet har noggrannheten blivit ca 100 gånger bättre. För kalium, uran och torium 3-5 gånger bättre. Ur informationen från VLF-systemet finns idag möjlighet att få, oberoende av riktning till VLF-sändarna, en bild av markens elektriska ledningsförmåga. Dessutom har produktiviteten ökat markant.

Resultaten av SGUs flyggeofysiska verksamhet har varit och är av stor betydelse för samhället.

Utvecklingen av nya flyggeofysiska mätmetoder har skett stegvis. Här är det främst olje- och mineralsektorn som drivit på. Under 1990-talet skedde stora förbättringar av bland annat

flygburna tyngdkraftssystem. I och med de satellitbaserade positioneringssystemen gick det att korrigera konventionella tyngdkraftsmätningar på ett hyfsat sätt. SGU medverkade 1999 i mätningen över främst Östersjön med ett konventionellt tyngdkraftssystem tillhörande universitetet i Bergen. Noggrannheten och upplösningen i dessa mätningar är tillräcklig för kartläggning av storregionala strukturer men inte bra nog för undersökningar över landområden i Sverige. För sådana tillämpningar krävs en upplösning på km eller sub-km nivå och en noggrannhet i storleksordningen under 1 mGal.

Objekt	Noggrannhet (mGal)	Horisontell upplösning (km)
Kontinentala plattgränser och -deformationer		
Storskalig veckning	5	50
Sprickdalar	3	10
Extension	2	5
Bergskedjor	3	5
Sub-glacial topografi	2	10
Vulkanologi		
Vulkanisk morfologi	1	10
Vulkanisk dynamik	0,5	5
Utforskning/undersökningar		
Sedimentära bassänger	1	3
Saltdomer	0,5	1
Mineralprospektering	0,1 - 2,0	1 - 10

Tabell 1. Nödvändig noggrannhet och upplösning för olika tillämpningsområden. (*Airborne geophysics and precise positioning: scientific issues and future directions. National Research Council (U.S.). Committee on Geodesy, 1995*)

I dag finns endast ett fåtal företag i världen som utför tyngdkrafts-/tyngdkraftsgradiometermätningar med hjälp av flygplan. Systemen har förbättrats avsevärt sedan mätningen 1999 över bland annat Östersjön. Noggrannheten och upplösningen vid mätningar med tyngdkraftsgradiometri är mycket bra men metoden är dyr, dels på grund av att det idag enbart finns några få företag i världen som utför mätningar, dels mycket dyr instrumentutveckling och få tillgängliga instrument.

Vad vi känner till har Boliden Mineral AB utfört tyngdkraftsgradiometermätningar över ett eller flera av deras intresseområden i Sverige. Resultaten sägs vara mycket positiva. Finlands geologiska undersökning (GTK) utförde en testmätning 2009. Utvärderingen av denna är också positiv, vilket föranledde beställning av ny mätning i norra Finland som genomfördes 2011.

SGUs tyngdkraftsmätningar, som enbart utförs på marken, är idag i mycket stor utsträckning beroende av ett bra vägnät. Inom andra områden måste snöskoter eller helikopter utnyttjas, vilket gör att kostnaderna per mätpunkt mer än fördubblas. För en bättre detaljeringsgrad krävs också betydligt fler mantimmar än som idag finns tillgänglig på SGU. Dessutom är det i många fall i

stort sett omöjligt att rationellt mäta på många ställen, t.ex. i skogsområden och på bergssluttningar samt i många fall hav, sjöar och vattendrag.

För att täcka stora områden snabbt och mer detaljerat finns enbart en möjlighet, nämligen flygburna gradiometermätningar.

Exempel på mätningar och erfarenheter

Gradiometersystem

GTK:s testmätning 2009

Informationen nedan kommer från kontaktperson på GTK, Seppo Elo

GTK har upphandlat och genomfört en testmätning över två mindre områden med flygburen gradiometri 2009. Testmätningarna har utvärderats. Dessutom har en upphandling gjorts avseende mätningar i norra Finland 2011 (se nedan). Denna senare upphandlingen är på sätt och vis riktad, men finns registrerad enligt EU: s direktiv.

Mätningen 2009 utfördes över två relativt begränsade områden, 1256 lkm över det ena och 2162 lkm över det andra. Det föregående mättes inom vissa små delar med 500 m linjeavstånd. Kostnaden blev 131 Euro/lkm (motsvarande 1140 kr/lkm). Sannolikt ingår tie-lines och dessa utgör kanske 20 % av ovanstående lkm.

2009-års testmätning utfördes av Bell Geospace – med ett relativt stort flygplan, typ Twin-Otter.

Bell Geospace lämnade ingen information vid etableringen. Informationen kom först efter påstötning från GTK. För att få ett hyfsat g-värde krävdes korrektion mot befintliga markmätningar. Ingenting finns publicerat på engelska!? Dock finns ett examensarbete av Mika Kallo – på finska (se nedan).

GTK:s upphandling 2011

2011-års upphandling rör 893 km². med 500 m linjeseparation blir det 1805 lkm + tie-lines. Total kostnad cirka 300 000 Euro (motsvarande 2,61 Mkr, med ett Europris på 8,70 kr). Priset för produktionsmätningen blir cirka 1450 kr per lkm.

Uppdragstagaren gör alla beräkningar och korrektioner, bland annat g-värdet. Vid förra tillfället, 2009, tillhandahöll GTK en 25 x 25 m terrängmodell samt batymetri över aktuella sjöar. Detta gäller sannolikt även för mätningen 2011. Eftersom digital informationen om sjödjupen är bristfällig och ofta saknas, digitaliserades denna av GTK - ur befintliga, i många fall, sparsamt förekommande sjödjup.

Enligt Seppos beräkningar är flygburna gradiometermätningar cirka 60 % dyrare än konventionella markmätningar, sannolikt med bil. Den stora vinsten är tiden! Sedan har inte ens GTK tillräckligt med personal för motsvarande markmätningens insats. Vidare får man också information över sjöar

vid samma mättillfälle (med markmätningar blir det en kampanj på sommaren och en på vintern – om issituationen tillåter).

Bilden nedan visar mätplanet, en Cessna 208 Grand Caravan, innehållande mätutrusningen från Fugros Falcon AGG från de här mätningarna.



Bild 1. Mätflygplanet, Cessna 208 Grand Caravan med Fugros Falcon-system monterat. Foto: Heikki Salmirinne, GTK.

Ontarios geologiska undersökning (OGS) och Kanadas geologiska undersökning (GSC) 2011

Informationen nedan kommer från kontaktperson på OGS, Desmond Rainsford

De två ovan nämnda geologiska undersökningarna har ett samarbetsprojekt inom vilket det har genomförts en luftburen gradiometermätning över området "McFaulds Lake" i nordöstra Ontario,

Kanada. Topografin i området är flack och lämpar sig därför bra för den här typen av mätningar. I samband med upphandlingen fick man in anbud från Arkex, Fugro och Bell Geospace. Enligt kontaktpersonen på OGS är de olika systemen snarlika och det var priset som fick fälla avgörandet, till Fugros fördel.

Mätningen gjordes sålunda av Fugro med deras Falcon AGG system. Hela mätområdet utgjordes av 19 733 lkm med 250 m linjeseparation mellan de enskilda flygstråken. Den totala kostnaden inklusive etableringskostnader uppgick till ca 2 300 000 CAD, vilket motsvarar ca 14 600 000 SEK i dagens växlingskurs (1 CAD = 6,35 SEK). I det stora hela fungerade mätningarna bra med hänsyn till vädret, dock inverkade instrumentproblem negativt på produktionen. På grund av det drabbades nämligen mätningarna av anmärkningsvärt långa uppehåll på marken, ”significant downtime”, enligt kontaktpersonen på OGS. Men när det rullade på bra kunde så mycket som 1 000 lkm göras under en och samma dag.

Fugro räknade ut Gz-värden från gradienterna och anpassade dem till den mycket glesa, regionala tyngdkraftsinformationen som fanns i området (10 – 15 km stationsavstånd). Det stora avståndet mellan tyngdkraftsmätningarna på marken gjorde det omöjligt att göra någon jämförelse mellan flygburet och markmätt data. Dock finns det vissa områden där prospekteringsverksamhet har ägt rum vilket innebär att tyngdkraftsmätningarna på marken har förtätats högst påtagligt. En jämförelse mellan den flygburna och den förtätade tyngdkraftsinformationen visar överlag god korrelation, dock ger tyngdkraftsinformationen från de täta markmätningarna högre upplösning, föga förvånande.

Kontaktpersonen på OGS är nöjd med de resultat som genererades från den flygburna gradiometermätningen. Inom mätområdet är det långt mellan berghällarna och med informationen från mätningen kunde geologin kartläggas på ett sätt som inte varit möjligt tidigare. I den östra delen av området överlagras den prekambiska berggrunden av yngre paleozoisk berggrund och det är den prekambiska som är av primärt intresse med tanke på mineraliseringar. Tidigare hade man främst använt flygburen magnetfältsinformation för att dra slutsatser om geologin, men gradiometermätningen gjorde att mycket av det som tidigare ansågs vara sanning måste revideras. Upplösningen som finns i den flygburna tyngdkraftsinformationen, ca 300 m, gör det inte möjligt att detektera de mineraliserade kromhorisonterna som kan nå en mäktighet av ca 40 m, men de mafiska/ultramafiska bergartsleden syns tydligt. Mineraliseringarna är associerade med dessa.

Trots att data från den flygburna gradiometermätningen har genomgått omfattande databehandling finns det fortfarande kvar brus. När man griddar data så syns bruset som ”fläckar” i gridden. De som främst har haft synpunkter på det här är projektmedlemmarna från GSC. En dialog mellan GSC och Fugro har förts för att undersöka om data kan förbättras ytterligare.

Nyligen publicerades data från en flygburen gradiometermätning av Bell Geospace från ett delområde vid ”McFaulds Lake”. Det här mindre området går under benämningen ”Ring of Fire” på grund av den rika förekomsten av mineraliseringar. Bell Geospace gjorde mätningen med sitt

FTG-system och en jämförelse mellan Fugro och Bell Geospace visade stora likheter, till och med brusset från de båda systemen var snarlika. Kontaktpersonen på OGS anser att det är sannolikt att man får leva med den här brusmattan. Kanske det blir möjligt om några år.

En viktig sak som de inte hade lagt så stor vikt vid under mätningen var möjligheten att mäta om vissa flygstråk. Innan mätningen genomfördes hade Fugro bedyrat att ett sådant förfarande var helt onödigt eftersom de använde sig av två oberoende gradiometersystem (Falcon AGG) vilket innebär att varje tensor mäts två gånger. Det gör att man erhåller två oberoende resultat från varje mätning och att man därigenom får ett mått på de brusnivåer som finns i respektive mätning. Med facit i hand skulle man dock ha insisterat på att mäta om minst en handfull flygstråk även med tanke på den merkostnad som det skulle generera. Enligt kontaktpersonen på OGS skulle en sådan strategi gjort det möjligt att uppskatta hur mycket av "bruset" som genereras från själva mätningen och hur mycket som är naturligt förekommande variationer.

Gravimetersystem

Ontarios geologiska undersökning (OGS) och Discover Abitibi, Timmins 2003

Informationen nedan kommer från projektrapporten "Airborne Gravity Evaluation Survey; Timmins, Ontario 2003". Kontaktperson på Discover Abitibi, Robert Calhoun.

Under försommaren 2003 gjorde Sander Geophysics en flygburen gravimetermätning över ett område strax norr om Timmins i Ontario, Kanada. Bilden nedan visar mätplanet från Sander Geophysics, en Cessna 208B Grand Caravan.



Bild 2. Mätflygplanet med Sander Geophysics gravimetersystem monterat.

Mätningarna gjordes längs flygstråk med en linjeseparation av 500 m. För att knyta ihop flygstråken gjordes kompletterande, vinkelräta "tie-lines" med linjeavståndet 5 000 m. Produktionsmätningar bedrevs under totalt fyra dagar varvid 1836 lkm mättes (460 lkm/dag). De topografiska variationerna inom projektområdet ligger inom intervallet 250 – 400 m.ö.h. Mätplanets höjd över markytan var ca 200 m.

Sander Geophysics insamlingsystem benämns AIRGrav (Airborne Inertially Referenced Gravimeter). Systemet består av tre vinkelräta accelerometrar som genom en sinnrik konstruktion ska vara helt oberoende av mätplanets rörelser och tåla relativt hög turbulens. Data registreras 128 ggr/sek och brusnivåerna i mätningarna håller sig under 0,5 mGal med en upplösning strax under 2 km.

Deras positionssystem är en D-GPS som loggar positionsdata 10 ggr/sek. Den slutliga noggrannheten i position för mätplanet uppskattas till ± 5 cm. Höjden över marken registreras av bl.a. LiDAR, lasermätning, med upplösningen 10 cm och noggrannheten 5 cm. Data från LiDAR registreras 100 ggr/sek. Som komplement till LiDAR har de också radar- och barometersystem vilka loggar höjddata 4 ggr/sek. Upplösningen från radarn är ca 0,5 m med noggrannheten 1 % medan motsvarande siffror från barometern är ± 2 m respektive ± 4 m.

För att få en uppfattning om noggrannheten i mätningarna tittade man på de mätdata där flygstråken från produktionsmätningarna korsade "tie-lines". Felet uppskattades till strax under 0,5 mGal. Man skapade också två griddar, dels från flygstråk med jämnt nummer, dels från flygstråk med udda nummer. Griddarna blev då oberoende av varandra med en linjeseparation av 1 km för respektive grid. Standardavvikelsen mellan griddarna var 0,29 mGal och brusnivåerna för hela mätningen (med 500 m linjeseparation) uppskattades till 0,15 mGal.

En jämförelse gjordes mellan den flygmätta tyngdkraftsinformationen och markmätt tyngdkraft. Inom mätområdet finns 780 markmätta punkter med avståndet 500 – 3000 m. 573 punkter mättes under 2001 medan övriga har mätts i olika kampanjer mellan åren 1949-1970. Alltså är punkterna av skiftande kvalitet. Griddarna som gjordes på respektive dataset visar relativt god korrelation, dock med en konstant skillnad i nivå som enkelt togs bort genom att lägga till 1,4 mGal till gridden från flygmätningarna. Enligt OGS är det den enklaste och mest pålitliga vägen att vandra för att knyta flygburen tyngdkraft till markdata.

Den bästa jämförelsen nås genom att jämföra varje punkt på marken med punkter från flygmätningen. Det beror på att när data griddas så interpoleras information till de områden där inga data finns och för ett område med så varierande punktavstånd mellan den markmätta tyngdkraften så går det inte att göra en mer kvalitativ jämförelse mellan griddarna. För varje markmätt punkt jämfördes dess lägeskoordinat med motsvarande punkt i gridden från flygmätningen. Den markmätta tyngdkraftsinformationen genomgick en analytisk fortsättning uppåt till 200 m höjd över markytan vilket motsvarade flyghöjden. Standardavvikelsen för samtliga 780 markmätta punkter jämfört med flygdata var 0,62 mGal.

Det finns flera orsaker till att överensstämmelsen inte blev bättre. De viktigaste är att geologin i området gör att den markmätta tyngdkraftsinformationen innehåller högre frekvenser vilka har dämpats avsevärt på flyghöjden 200 m samt att kvaliteten hos de markmätta punkterna varierar mycket på grund av de olika mätkampanjerna under åren 1949-2001.

Sammanställning

Företag som utför flygburen gravimetri/gradiometri

Nedanstående företag utför flygburen gravimetri eller gradiometri:

- Sander Geophysics
- Geotech Airborne
- Fugro
- Bell Geospace
- ARKeX

Av dessa har de två översta enbart gravimeterkapacitet. Instrumenten är modifieringar av flygburna gravimetrar, sannolikt LaCoste&Romberg instrument. Eventuellt att Geotech har en rysk gravimeter. Fugro, Bell Geospace och ARKeX har olika modifieringar av den ursprungliga Lockheed Martin gradiometern, som utvecklats för USA:s atomubåtar. Enligt Seppo Elo, GTK, är Fugros system "Falcon", som det internationella mineral och oljeföretaget BHP Billiton varit med och utvecklat, bäst. Dock är Fugros system inte fullt ut ett FTG-system (Full Tensor Gravity system). Vertikalkomponenten beräknas i stället ur de två horisontalkomponenterna. De enda företagen med kompletta FTG-system tillhandahålls av Bell Geospace och ARKeX. Fördelen av FTG gentemot en beräknad vertikalkomponent är [enligt Desmond FitzGerald, INTREPID, personlig kommunikation vid EAGE-mötet i Wien 2011] inte avgörande stor. I bilaga 1 presenteras respektive organisations tyngdkrafts-/tyngdkraftsgradiometer-system.

Företag	Fugro	Bell Geospace	ARKeX	Sander Geophysics	Geotech Airborne
Teknik	Gradiometer, Falcon AGG	Gradiometer, Air-FTG	Gradiometer; G-Cube, BlueCube	Gravimeter, AIRGrav	Gravimeter, GT-1A
Upplösning	Strax över flyglinjeavståndet	Som flyglinjeavståndet	G-Qube: 1 km BlueQube: 300 – 350 m	1 – 1,5 km	Ca 3 km
Noggrannhet	0,2 mGal	0,3 mGal	< 0,5 mGal	Ca 0,2 mGal	1 mGal
Höjdbestämmning	LiDAR	Radar	LiDAR	LiDAR	Ingen uppgift
Kostnad, prod.	180 USD/lkm	185 USD/lkm	< 200 USD/lkm	Ingen uppgift	< 150 USD/lkm
Etableringskostnad	80000 USD	Ingen uppgift	Ingen uppgift	40000-70000 USD	Ingen uppgift
Stilleståndskostnader	3500 USD/dag	5000 USD/dag	Ingen uppgift	Ingen uppgift	Ingen uppgift

Tabell 2. Sammanställning av aktörernas olika instrumentering och kostnader. Uppgifterna är i stort sett baserade på respektive företags egna utsagor.

Flygburna gradiometersystem

- Alla tre företag, som utför flygburen tyngdkraftsgradiometri, använder sig av ett gradiometersystem som ursprungligen utvecklats av Lockheed Martin (världens största vapentillverkare!?).
- Fugros Falcon system är inte ett "FTG-system" – fullt ut. Enbart horisontal gradienterna mäts.
- Enbart Bell Geospace har gjort statliga uppdrag, det i Finland 2009. Fugro har fått GTKs uppdrag 2011. Eventuellt att något av företagen mätt för den Sydafrikanska staten.
- Fugro har kontor också i Norge.
- Bell Geospace har kontor i Skottland - för Europa.
- Flygplanets position mäts med DGPS. Normalt med egen referensstation.
- Flyghöjden över markytan, 80 -150 m, mäts med LIDAR-system (ARKeX och Fugro). Systemet ger också möjlighet att beräkna markytans höjd över havet med stor noggrannhet. Bell Geospace har ett radarsystem, vilket inte ger speciellt bra höjder (se nedan).
- Inflygningssträckan, för att komma in på nästa mätlinje, varierar från bolag till bolag. Fugro: 3-5 km, ARKeX: 10 km och Bell Geospace: 2-3 km. Detta är betydelsefullt för priset vid mätning av ett område. ARKeX ansåg 3-5 km mycket kort och antydde att det inte kan vara så. Detta, med 10 km, är kanske orsaken till att ARKeX är dyrast? Priset per lkm rör enbart det område som man specificerat.
- ARKeX har två olika gradiometersystem, "BlueQube" och "G-Qube". "BlueQube" har en upplösning på cirka 0,3 km och "G-Qube" på 1 km. Kostnaden per lkm skiljer sig rätt så mycket - "BlueQube" är dyrast, 150-200 USD/lkm.
- Vid helikopterburna system blir upplösningen bättre – allt hänger ihop med hastigheten.
- Mätområdet bör vara optimalt långsträckt med hänsyn till kostnaden per lkm! Se ovan. Vidare är minsta ytan 100 km².
- Enligt Desmond FitzGerald, INTREPID, som haft i uppdrag att utvärdera Bell Geospaces och Fugros mätningar över ett och samma område för ett Brasilianskt gruvbolags räkning, är det ingen större skillnad i upplösning och noggrannhet. Bell Geospace har dock en klart sämre terrängkorrektion på grund av radarhöjdmätaren.
- Sammanbindningslinjerna, "tie-lines", måste ligga tätt om linjeavståndet är större än 150 meter. Linjeavståndet för sammanbindningslinjerna är cirka 5 x normala linjeavståndet.
- Området som undersöks bör ha en relativt "snäll" topografi.
- Alla tre bolag kan göra andra geofysiska mätningar samtidigt som man mäter med gradiometer, dock inte EM.
- Alla har mätt över 100 000 lkm, främst för mineral- och diamantprospektering.
- Vid bra förhållanden mäts över 1 000 lkm per dag.
- Alla påstår sig kunna beräkna g-värdet och Bougueranomali, med stor noggrannhet.

- Alla ansåg att det är möjligt att fritt sälja data, dock inte till USA: s fiender, Nordkorea, Iran m.fl.
- Enligt Fugro är ett flygburet gravimetersystem väldigt beroende av lägesnoggrannheten i GPS-systemet, eftersom det är från de data man sedan korrigerar för den vertikala accelerationen.
- Om ARKeX genomför ett uppdrag så måste data först processeras innan uppdragsgivaren får tillgång till data. Sedan är det fritt att sälja det vidare. Rådata får ej säljas (vi tror inte man ens får se det).
- Om man låter Sander göra ett mätuppdrag så har man fulla rättigheter att sälja data vidare.

Kommentarer baserade på samtal med GTK

- Många bolag anger något som benämns "target sensitivity". Den är oftast betydligt bättre än den verkliga känsligheten!
- Gradiometrin ger en upplösning på strax under 500 meter med en tillräcklig noggrannhet då instrumentet sitter i ett flygplan.
- Mätssystemet är bra för korta våglängder. För det långvågiga fältet behövs stöd från regionala markmätningar.
- Omvandling av gradienter till absoluta g-värden är problematisk.
- Systemet är mycket väderberoende, speciellt avseende byig vind.
- Sjöars djupförhållanden inom undersökningsområdet måste eventuellt kartläggas av uppdragsgivaren.

Övriga fakta och erfarenheter:

- GTK:s upphandling går att få via EU.
- De första dokumenten tog några veckor att göra. Juridisk kompetens krävs vid upphandling.
- GTK:s upphandling 2011 utgör 10 sidor. Info på EU nätverk februari/mars 2011 med planerad mätning juni-september 2011. Upphandlingen är på sätt och vis riktad, till ovanstående fem företag.
- För att fritt få delge den köpta mätningen till tredje person bör detta finnas med redan vid upphandlingen.
- 2011-års mätning görs inom ett område med få markmätta punkter.
- Om det blir aktuellt för SGU att upphandla flygburen gravimetri/gradiometri våren-hösten 2012, kan vi konsultera Seppo Elo.

Litteratur enligt GTK 2011-03-17

Se konferens i Australien 2010: Airborne Gravity 2010.

https://www.ga.gov.au/products/servlet/controller?event=GEOCAT_DETAILS&catno=70673

Utvärdering av 2009-årsa mätning: Mika Kallo, 2010: Aerogravimetrien tensotian..., Oulun Yliopisto.

http://arkisto.gtk.fi/tr/tr183/tr183_pages_65_104.pdf

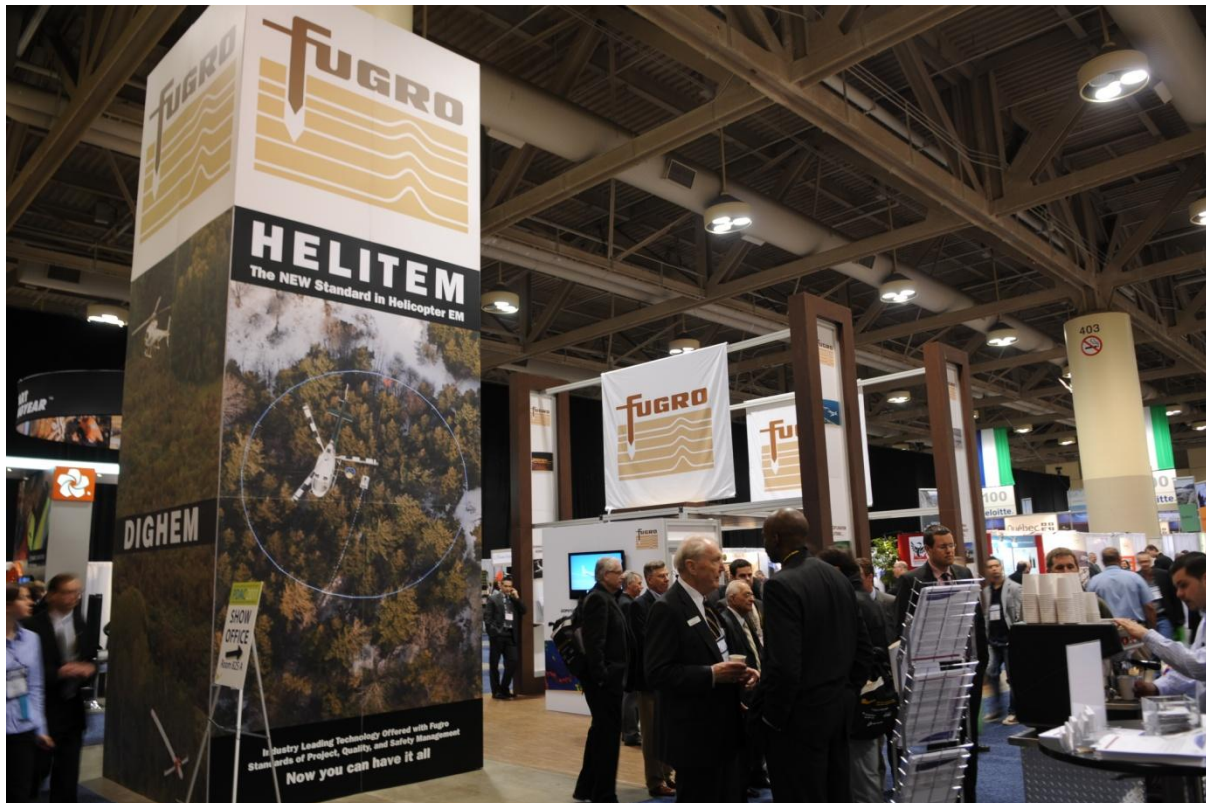
Se även "Free software" (GRABLOK och BLOXER) av Marku Pirttjärvi.

<https://wiki oulu.fi/pages/viewpage.action?pageId=20677906>

Se också: GTKs hemsida/Nya publikationer

BILAGA 1: PDAC 2011 / Johan Jönberger

Fugro



Besökte deras monter och diskuterade med Davin Allen om deras Falcon-system och "fixed-wing" mätning. Det är ett AGG-system (Airborne Gravity Gradiometer) som är uppbyggt av två separata gradiometrar. Enligt Davin är det överlägset andra konstruktioner eftersom Falcon-systemet får data från två oberoende instrument.

Idag har Fugro fyra Falcon-system, inom kort är de fem.

Upplösningen för Falcon-systemet är 150 m och noggrannheten är under 5 E. För G-värdet är noggrannheten 0,2 mGal.

Enligt Fugro är det inte nödvändigt med stöd från markmätt tyngdkraft för att räkna ut G-värdet från gradientmätning, dock kan det vara bra för längre, mer regionala våglängder.

Mängden tie-lines för en undersökning utgör ca 10 % av hela mätvolymen.

Flyghöjden är mellan 80 – 100 m, men över områden med kraftig topografi kan flyghöjden variera.

När det gäller väderförutsättningar så är det speciellt turbulens som kan vara ett problem. Om systemet är tvingat att stå på marken så är kostnaden \$3500 US per dag.

När det gäller försäljningen av data så var Davin lite svävande. Han trodde att det var OK för de som har köpt tjänsten att sälja data vidare, men kunde inte ge klara besked.

Kostnaden för att bedriva undersökning är ca \$180 US per flygkilometer. För ett område på 25 km x 25 km med 1 km flyglinjeavstånd uppgår flygkostnaden till drygt \$120 000 US inklusive tie-lines.

En annan viktig aspekt är etableringskostnaden. Om Falcon-systemet kommer från Kanada så uppgår transportkostnaden till ca \$80 000 US. Då är det mycket bättre att kunna samordna

mätningen i Sverige med ett annat europeiskt land för att på så sätt få ner transportkostnaden. T.ex. nämnde Davin att Fugro kommer att göra AGG-mätningar i Frankrike under våren eller försommaren.

Bell Geospace

Besökte deras monter och diskuterade deras Air-FTG (Full Tensor Gravity) system för "fixed-wing" mätning. Bell Geospace har i dagsläget tre Air-FTG system.

Enligt informatörerna från Bell är upplösningen hos gradiometersystemet detsamma som flyglinjeavståndet eller lägre (lite luddigt). Noggrannheten för gradientmätningarna är 3 – 4 E, och under 0,5 mGal för G-värdet (enligt tumregeln $1 E = 0,1 \text{ mGal/km}$).

De kunde inte se någon anledning för att ha stöd från markmätt tyngdkraft när G-värdet skulle bestämmas från gradienterna.

Mängden tie-lines för en undersökning utgör ca 10 % av hela mätvolymen. Mätningarna brukar bedrivas på flyghöjden 80 m.

När det gäller väderberoendet så är det främst turbulens som kan ställa till problem. Om flygplanet tvingas stå på marken så är kostnaden \$5000 US per dag.

Om ett företag eller myndighet som har köpt mättjänsten vill sälja data vidare så var det OK. Kostnaden för varje flygkilometer är \$185 US.

ARKeX

Besökte deras monter och diskuterade med Duncan Bate. Vi diskuterade deras gradiometersystem som kallas G-Qube och Blue-Qube. Det som skiljer sig från andra gradiometersystem är att de även innehåller en konventionell gravimeter, alltså får man både FTG-data och G-värdet. Enligt informationsbladen om de två systemen så är det inte mycket som skiljer dem åt.

Enligt Duncan är upplösningen hos gradiometersystemet 300 – 350 m med en noggrannhet på < 10 E. För G-värdet är noggrannheten ca 0,3 mGal.

Det är inte nödvändigt att ha stöd från tyngdkraftsmätningar som är gjorda på marken.

Mängden tie-lines för en undersökning är i storleksordningen 10 % av den totala mätvolymen.

Mätningarna genomförs vanligtvis på flyghöjden 100 – 150 m. Enligt Duncan är systemet relativt okänsligt för turbulens, istället är det sikten som sätter begränsningar för flygmätningarna.

Duncan kunde inte specificera vare sig etableringskostnaden för mätsystemet till Sverige eller kostnaden om flygplanet måste stå på marken, p.g.a. dimma eller annat som hindrar mätningen.

Om de genomför ett uppdrag så måste data först processeras innan uppdragsgivaren får tillgång till data. Sedan är det fritt att sälja det vidare. Rådata får ej säljas (jag tror inte man ens får se det).

Kostnaden för att genomföra mätningar kunde inte specificeras, istället ville Duncan att man skulle ta kontakt med dem för att se hur mätområdet ser ut. Sedan fick man ett prisförslag.

Sander Geophysics

Besökte deras monter och diskuterade med Adrian Archer och Malcolm Argyle angående deras luftburna gravimetersystem. De använder sig av ett system som kallas AIRGrav (Airborne Inertially Referenced Gravimeter). Den är byggd på en treaxlad, gyrostabiliserad plattform tillsammans med en D-GPS som gör det möjligt att korrigera för flygplanets rörelser p.g.a. turbulens, vibrationer, etc. Plattformen gör gravimetern mindre känslig för horisontella accelerationer jämfört med modifierade sjögravimetrar, vilket i sin tur ger högre upplösning.

Enligt informatörerna är upplösningen hos systemet 1 km – 1,5 km med noggrannheten 0,2 mGal. De luftburna mätningarna knyts till en punkt nära mätområdet som har ett känt G-värde. Av den totala mätvolymen utgör mängden tie-lines ungefär 20 %. De mäter på 80 – 150 m flyghöjd, men oftast inom intervallet 100 – 120 m. Enligt informatörerna utgör olika väderförutsättningar inga hinder för att bedriva mätverksamheten. Om flygplanet ändå är tvunget att stå på marken så kunde de inte svara på hur mycket det skulle kosta per dag. Om man låter Sander göra ett mätuppdrag så har man fulla rättigheter att sälja data vidare. Etableringskostnad för att flyga mätplanet till Sverige kostar \$40000 – 70000 US.

Geotech Airborne



Besökte deras monter och diskuterade med Robert Wilson. De har ett luftburet "fixed-wing" gravimetersystem med en GT-1A gravimeter. Enligt Robert så är upplösningen 3 km med noggrannheten 1 mGal. Det är inte nödvändigt med stöd från markmått tyngdkraft. Mängden tie-lines uppgår till ca 10 % av den totala mätvolymen. Flyghöjden är normalt 250 m och ingen "drape"-lösning tillämpas (alltså att man följer terrängens variationer). Det som kan ställa till problem under en mätning är turbulens. De mäter därför under tidiga morgnar och kvällar då lugna vindförhållanden råder. Robert kunde inte specificera någon kostnad om flygplanet är tvunget att bli stående på marken p.g.a. väderförhållanden.

Om Geotech gör en mätning åt en uppdragsgivare så har den fulla rättigheter att sälja data vidare. Kostnaden för att mäta ett område på 25 km x 25 km med 1 km flyglinjeavstånd är inom intervallet \$90 - \$150 US per km, alltså \$62000 - \$103000 US inklusive tie-lines.