



Sveriges geologiska undersökning

Bakgrund.....	2
Del 1.....	3
1.1 Syntetisk modellering.....	3
1.2 Förbättring av griddgenerering genom linjär interpolering	5
Del 2: Test med SGUs data	7
2.1 Testning av AN-EUL med resultat från FoU projektet i Fulufjällsområdet.....	7
2.2 Data över fjällbergarter inom kartområdet 18E och 19E.....	11
Slutsatser.....	14
Referenser.....	17
Underlagsmaterial.....	17

En kombination av Euler dekonvolution och analytisk signal för automatisk tolkning av magnetiska data

Bakgrund

Analytisk signal framtagen av Bastani & Pedersen (2001) används nu på SGU. Euler dekonvolution (Thompson 1982) används också alltmer. Man erhåller med automatik objektsrelaterade lösningar beträffande vissa parametrar som bl. a. stupning och djup till magnetisk överyta. Många nya publicerade rapporter om användningen av Euler dekonvolution förligger med föreslagna förbättringar av resultatredovisningen av de många möjliga lösningarna (FritzGerald m. fl., 2004). Nu finns även publikationer om kombination av analytisk signalbehandling och Euler dekonvolution och det ligger i linje med den utveckling som även gjorts och görs internt på SGU och som nu även beställts av SKB för Forsmarksområdet (preliminär SGU-rapport nr 40094).

Vi föreslår en systematisk genomgång och testning av metodikerna var för sig. Jämförelse av de lösningar som erhålls för olika koncept kommer att göras, samt automatisering av processen så långt det är rimligt. Det innebär en systematisk diskriminering av det stora antalet lösningar som erhålles för att därur iterera fram lämpliga ingångsparametrar för automatiseringen enligt ovanstående koncept på i första hand SGUs flygmättningsdata. AN-EUL fungerar dock oberoende av mätplattform.

Enligt ansökan önskade vi utföra projektet i två delar.

Del 1: Metod utveckling och programmering

Del2: Test med SGUs data

Nedan redovisas ett antal steg som tagits för att nå projektmålen.

Del 1.

Vi har studerat de senaste relevanta publikationerna om metoder för automatisk tolkning av magnetiska data. Nyckelartikeln är den av Salem & Ravat 2003. Metoden som de har presenterat kallas för AN-EUL. Den kombinerar just Analytisk signal med Euler dekonvolution och beräknar strukturellt index och tillhörande djup. Tabell 1 visar strukturellt index (SI) för geometriska modeller (Reid et al. 1990). I verkligheten avviker modellerna något från de geometriska modellerna. Detta betyder att man kan erhålla strukturindex med decimaler som visar att modellen har en geometri mellan de modeller som redovisas i tabellen. T.ex. SI=0.5 betyder att modellen är ett mellanting av magnetiska kontakt och gång.

SI	Modell
0	Kontakt
1	Gång
2	Pipa
3	Sfär

Tabell 1 Strukturella index för magnetiska kroppar.

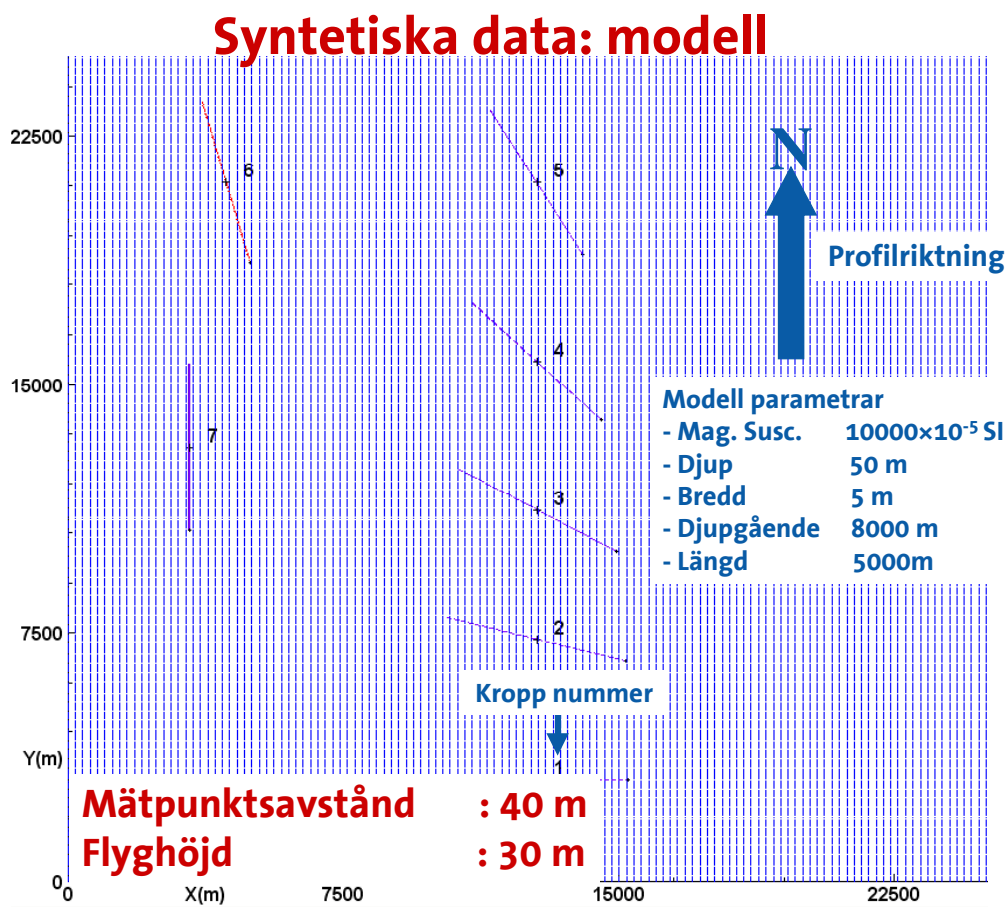
Enligt ansökan skulle vi skriva ett program för att kunna testa metoden i Oasis Montaj. Vi skrev en Geosoft-skript som genomför beräkningarna, men upptäckte att AN-EUL-modulen tillkommit i den aktuella versionen av Oasis Montaj så det var naturligt att koncentrera det vidare arbetet på att jämföra metoden AN-EUL mot de befintliga analytiska metoderna bl. a. standard Euler, Werner och SGUs Analytisk signal (Bastani & Pedersen, 2001).

1.1 Syntetisk modellering

För att kunna jämföra metoderna behöver man testa dem mot kända geometriska modeller.

Vi har skapat ett antal olika geometriska former med hjälp av modelleringsprogrammet Potent. I nästa steg har ett antal databaser skapats som finns arkiverade i

[\\Fs1\proj\arkiv\35089\Euler\AN_EUL](#). Varje databas innehåller de resulterande syntetiska magnetfältsanomalierna från de skapade modellerna. Bl. a. finns modeller framtagna som utgår från problemställningarna i Fulufjället och Hackåsområdet. Befintliga databaser kan framöver användas som referenser för att utvärdera nya tolkningsprogrampaket. Figur 1 visar ett exempel på syntetiska modeller för gånglika anomalier med varierande strykning. Dessa skapades för att studera effekten av olika strykningar på djupuppskattningarna. Resultaten av dessa studier visas i detalj nedan.

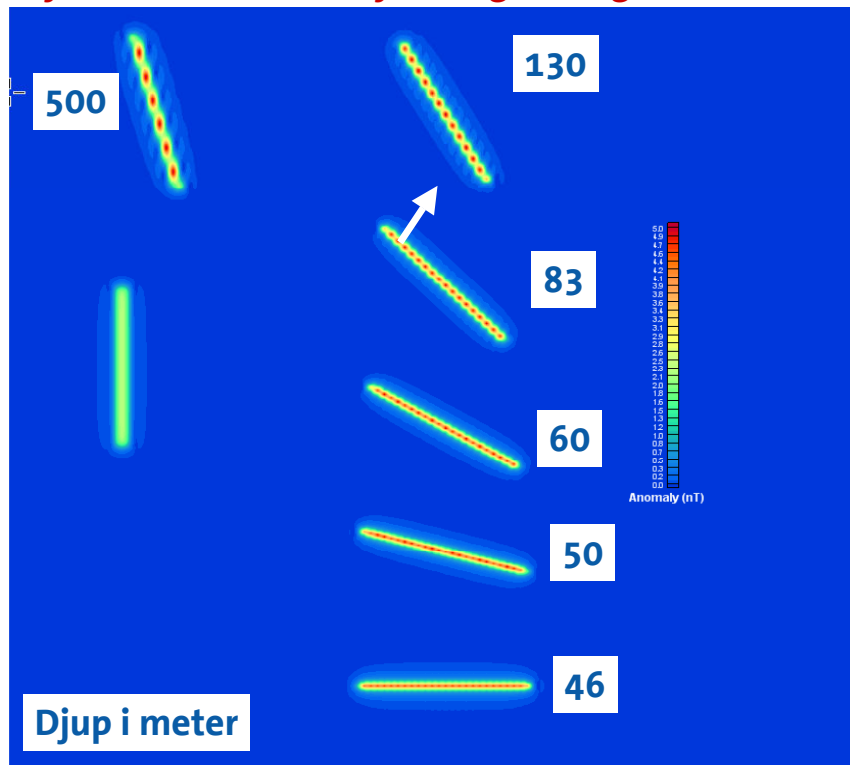


Figur 1: De 7 syntetiska modellernas strykning. Alla modeller har lika egenskaper och djupet är detsamma, 50 m. Anomalifältet beräknades längs linjer som motsvarar SGUs tidigare standardflygmätning.

Figur 2 visar anomalifältet från de syntetiska modellerna samt de beräknade djupen till överytan med SGUs Analytisk signal utan hänsyn tagen till den varierande strykningen. Resultaten visar redan att anomalins strykning i förhållande till mätriktningen har en stor påverkan på djupberäkningarna om man inte korrigerar för detta. Vi har också provat alla befintliga analytiska metoder i Oasis Montaj nämligen 1D extended Euler dekonvolution, 1D Werner dekonvolution, 1D Analytisk signal samt 3D-metoderna Standard Euler, Eulers

lokala lösningar och AN-EUL lösningar. De har testats på de skapade syntetiska datamodellerna.

Syntetiska data: Analytisk signal, ingen korrektion



Figur 2. Resultatet från analytisk signal överlagrat anomalifältet från de syntetiska modellerna i figur 1. Vinkelrätt mot mätriktningen erhålles det riktiga djupet 50 m. Större avvikelse i styrkningsriktningen ger allt större fel på djupberäkningarna.

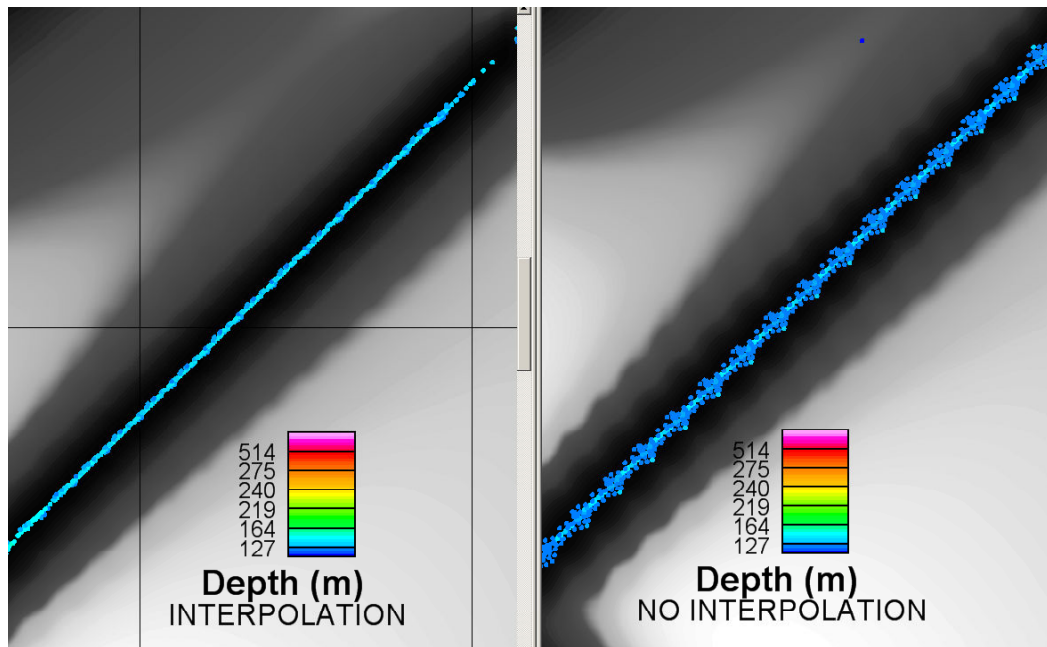
1.2 Förbättring av griddgenerering genom linjär interpolering

Den analytiska signalbearbetningen från Bastani & Pedersen 2001 har använts för att skapa bättre interpolerade värden mellan flyglinjerna.

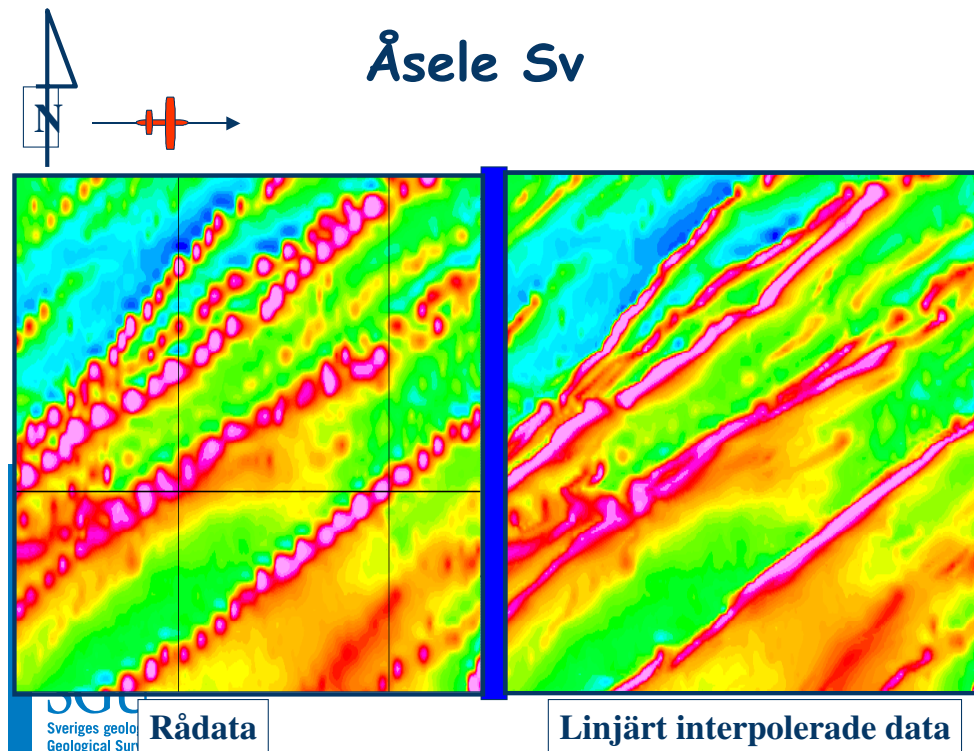
Metodiken presenterades redan i EAGE 2002 i Florens (Bastani et al. 2002). Metoden använder korrelerad signal mellan två närliggande flyglinjer för att förstärka de långsträckta anomalierna genom en linjär interpolation. I projektet studerades effekten av gridkvalitet på djupbestämning från standard Euler. Vi har bearbetat en syntetisk databas med två metoder. Den första är en standard gridmodul i Oasis Montaj och den andra är en standardmodul tillsammans med en linjär interpolationsrutin. Det betyder att vi använt samma utgångsdata och bearbetar dem på olika sätt. Figur 3 visar ett exempel där vi bearbetat syntetiska data med Euler 3D från en gångmodell. Bilden till höger visar en spridning av resultaten (både djup och läge) och speglar gridens sämre kvalitet.

Figur 4 visar ett utsnitt av magnetiska data från Åsele SV. Bilden till vänster visar griden skapad med standardmodulen. De rundade diskreta till synes punktformade anomalierna s.k. "Bulls eyes" är en typisk effekt av tät datainsamling, (40 m mätpunktsavstånd) längs linjerna

och ett glesare flyglinjeavstånd på 200 m. Bilden till höger är griddan som skapades med samma griddmodul, men där resultaten från en linjär interpolationsrutin ingick.



Figur 3. Resultat från 3D Euler. Till vänster grid med linjär interpolation, till höger utan. Notera att resultaten är mer fokuserade i den vänstra bilden. Kroppens djup till överytan är 150 m.

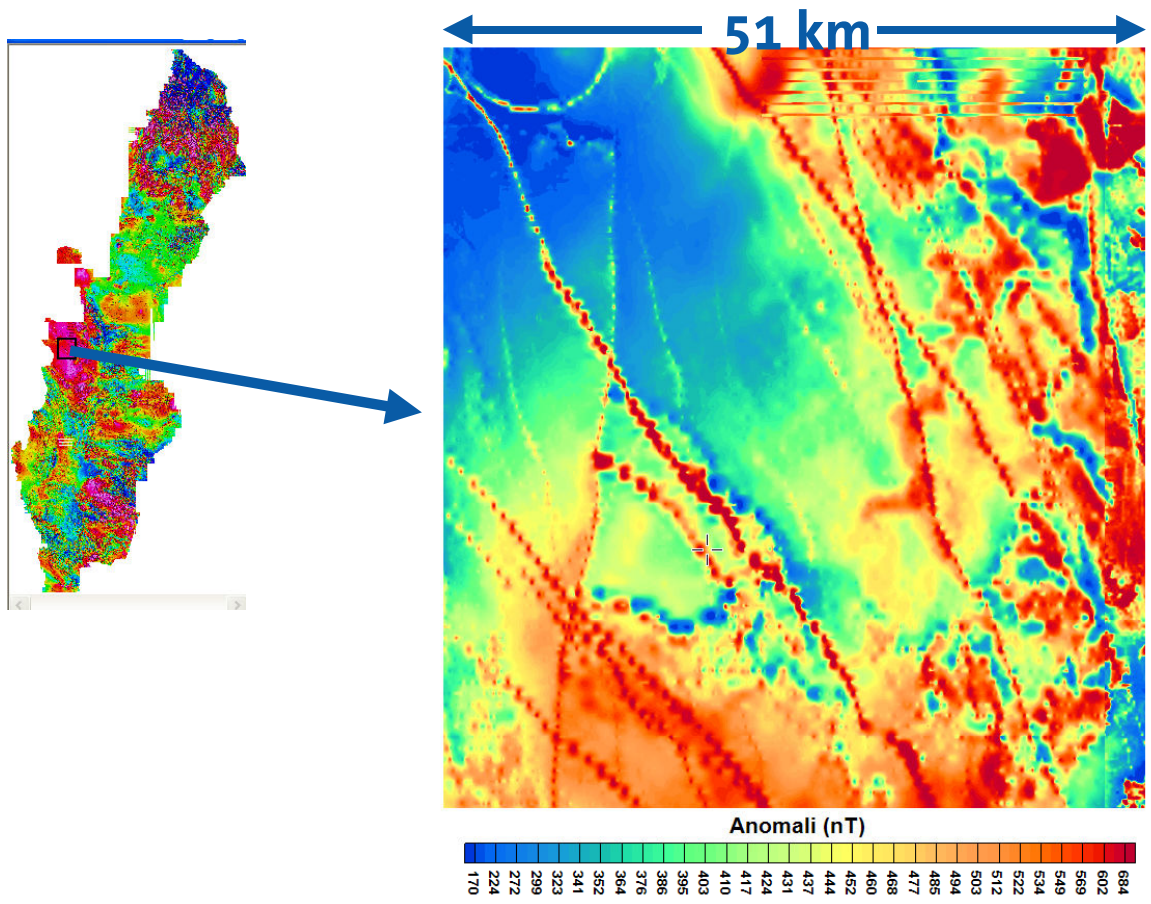


Figur 4. Ett utsnitt av magnetiska data från Åsele SV.

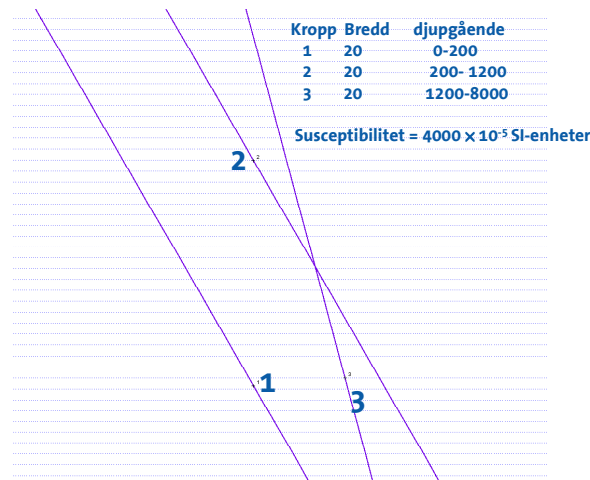
Del 2: Test med SGUs data

2.1 Testning av AN-EUL med resultat från FoU projektet i Fulufjällsområdet

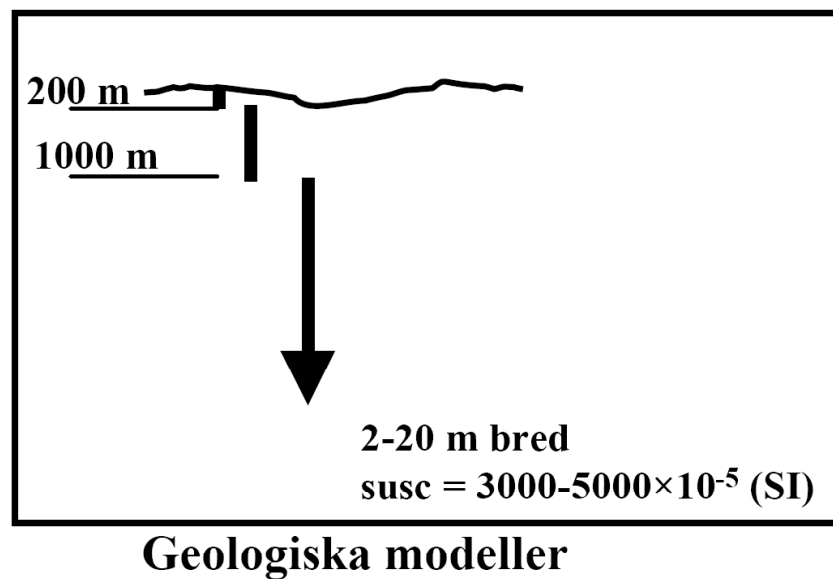
I samarbete med projekt nr. 35082 testades de analytiska metoderna med en preliminär syntetisk modell som är baserad på resultat av detta projekt. Vi har valt en del av flygmagnetiska data i området (Figur 5) som tyder på korsande linjära strukturer och möjligtvis med olika djup till överytan. Figur 6 visar den syntetiska modellen. Den skapades med hänsyn till den geologiska modellen (Figur 7) som presenterats för området samt de flygmagnetiska data.



Figur 5. Magnetisk totalfältanomalikarta. Till vänster anomalikarta över Sverige, till höger anomalikartan över det valda området.



Figur 6. Syntetisk modell som skapats i Potent enligt den presenterade geologiska modellen. Alla kroppar är vertikala och antas ej ha någon remanent magnetisering.



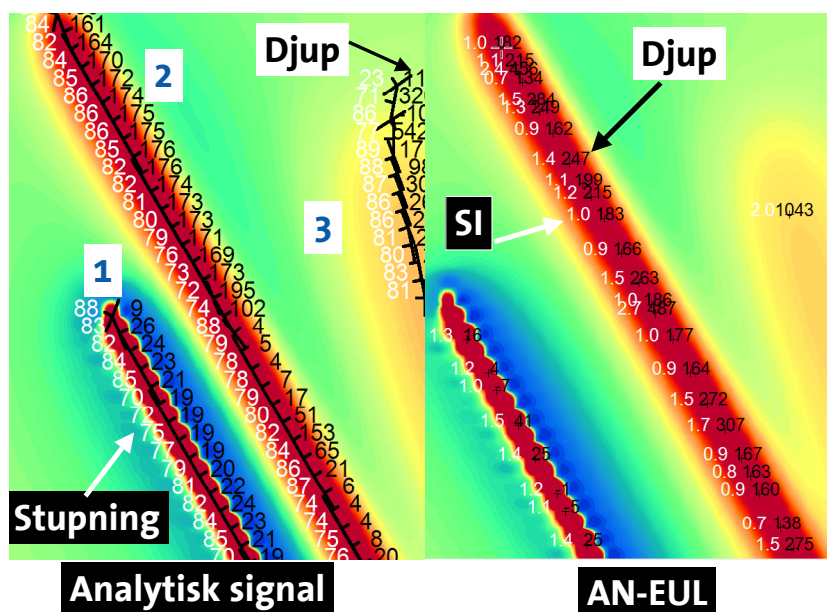
Figur 7. Modellen är baserad på den geologiska diabasgångshypotesen om horisontella förskjutningar.

Magnetfältsanomalin från den syntetiska modellen visas i figur 8 tillsammans med djup- och stupningsbestämningarna som beräknades med SGUs analytisk signal. Resultaten tyder på att stupningarna är mycket välbestämda för de två ytära kropparna. Djupberäkningarna har god överensstämmelse med de riktiga värdena där anomalierna har ringa påverkan från angränsande kroppar.



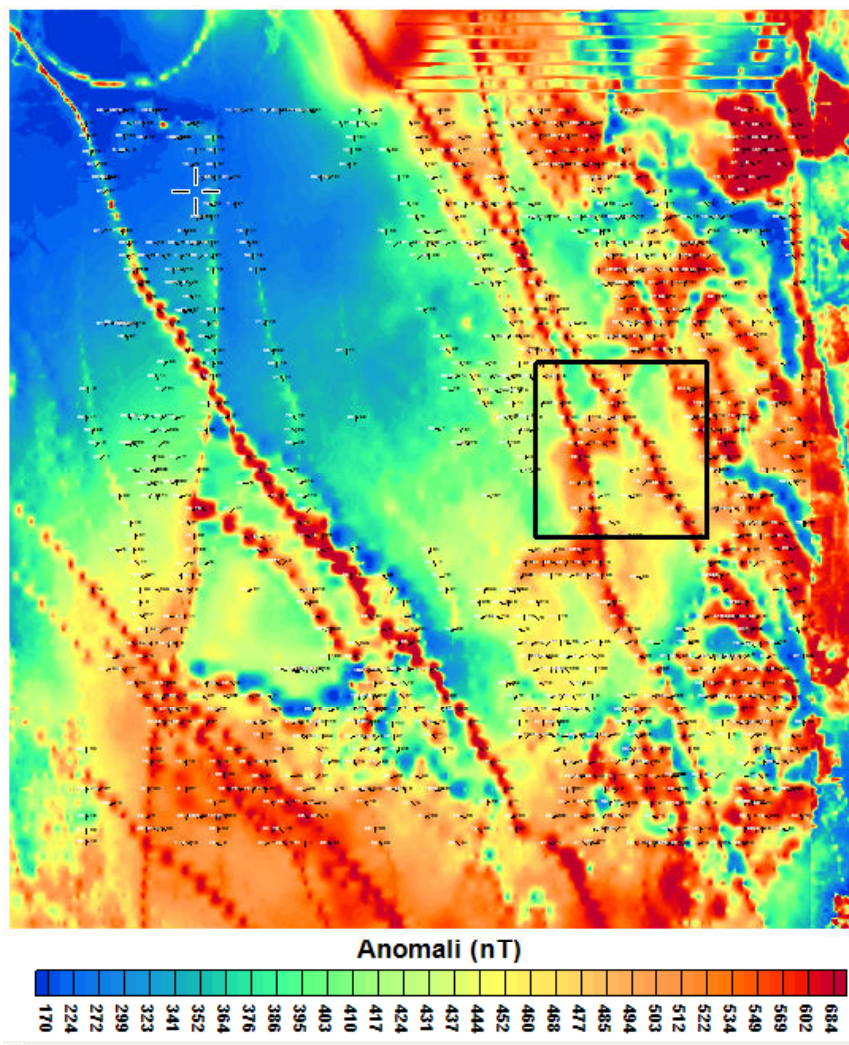
Figur 8. Magnetfältsanomali från, till vänster SGUs data, till höger den syntetiska modellen. Notera att SGUs data i det valda området har efterliknats med syntetiska data.

Test med AN-EUL modulen på samma data visade att metoden har mindre antal djupbestämningar men med bättre precision för den djupare kroppen (nummer 3). Den visade även att påverkan från de korsande anomalierna är mindre med AN-EUL. En jämförelse mellan resultaten från bearbetning av de syntetiska data (med SGUs analytisk signal till vänster och AN-EUL till höger) redovisas i figur 9. Det viktigaste resultatet är att metoderna kompletterar varandra. Detta betyder att AN_EUL tillför information om strukturtypen (genom SI) samt djup och analytisk signal tillför information om geometrin (bredd, djup, stupning och strykning).

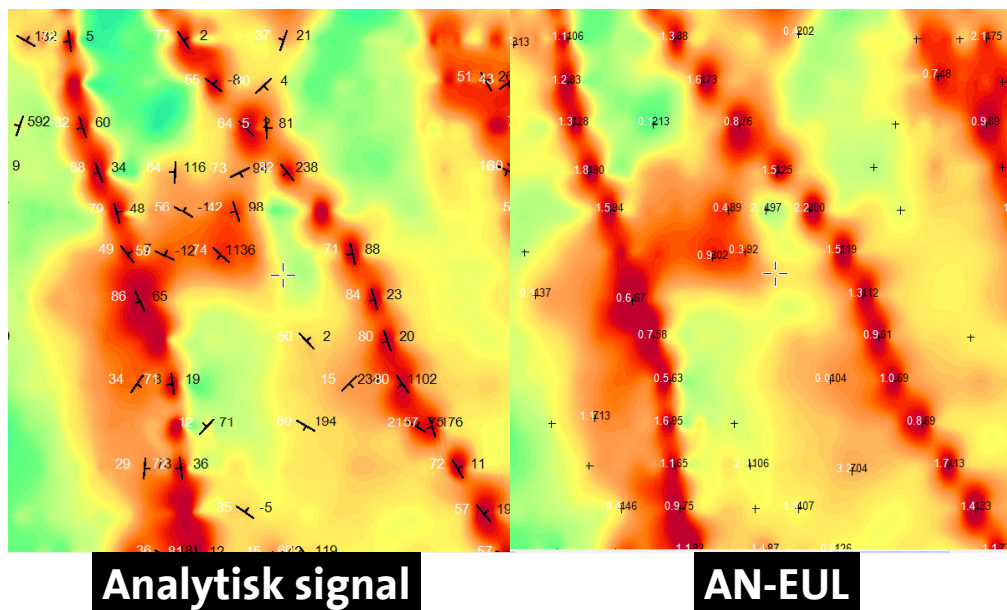


Figur 9. Resultaten från bearbetning av de syntetiska data med analytisk signal och AN-EUL.

SGUs nya flygmagnetiska data (figur 10) har bearbetats med analytisk signal, AN-EUL och standard 3D Euler i en del av närområdet till Fulufjället (15C). Linjeavståndet på 800 m är för gles för att kunna skapa en tillräckligt bra gridd samt utgöra en yttäckande detaljerad bearbetning. Resultaten från analytisk signal (stupning, strykning och djup) och AN-EUL (SI och djup) i ett mindre område (markerat med den svarta rutan i figur 10) visas i figur 11. De beräknade värdena på stupning, strykning och SI verkar vara stabila medan djupen varierar för mycket mellan och inom metoderna. En orsak är det stora linjeavståndet som påverkar griddgenereringen samt att vi har upptäckt att AN-EUL modulen har ganska osäkra djupbestämningen när datakvaliteten är dålig.



Figur 10. SGUs flygmättningsdata i undersökningsområdet överlagrat med analytisk signalresultaten. Den svarta rutan visar det valda området för bearbetningsjämförelsen i figur 11.



Figur 11. Resultat från analytisk signal och AN-EUL för samma utsnitt. De vita siffrorna i vänstra bilden visar stupning och i den högra bilden visar SI. Djupen visas med svarta siffror och strykning-stupning visas med de svarta symbolerna.

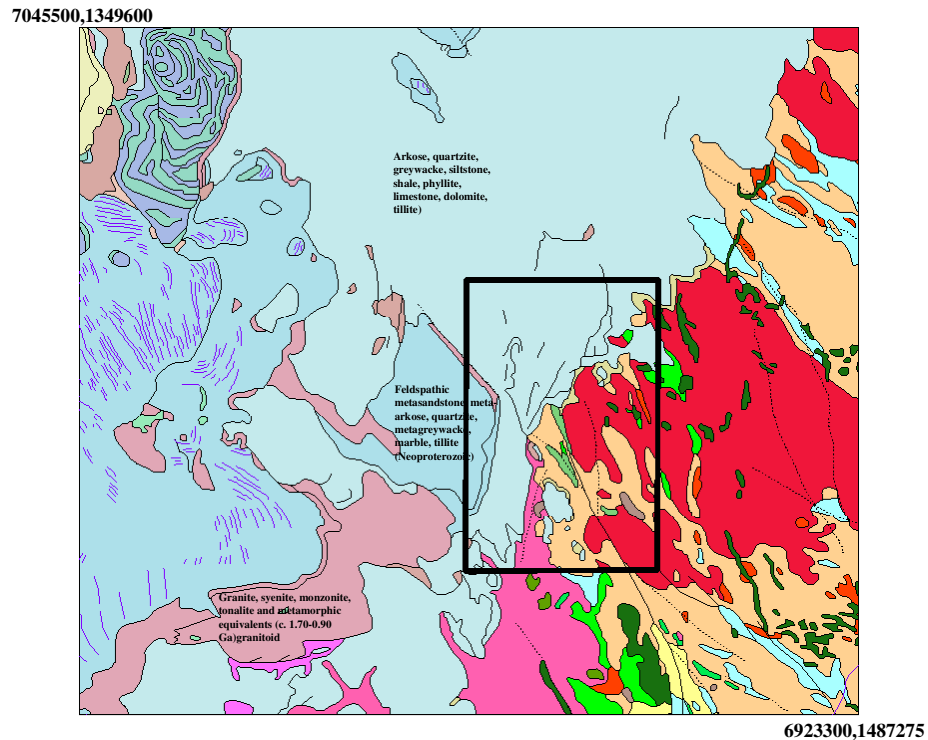
2.2 Data över fjällbergarter inom kartområdet 18E och 19E.

AN-EUL-metoden har testas för att bestämma fjällbergarternas mäktighet i fjällranden vid Hackås. Även data från 2006 års flygmätning har använts, vilket visade på metodens möjligheter och begränsningar. I figur 12 visas den Fennoscandiska berggrundskartan inom testområdet. Enligt seismiska mätningar och tolkningar stupar kontakten mellan fjällberggrunden och det kristallina urberget c 1.5 grader åt väster. Det gick ej att återskapa denna yta, även om lutningen bitvis visade sig ha den storleksordningen.

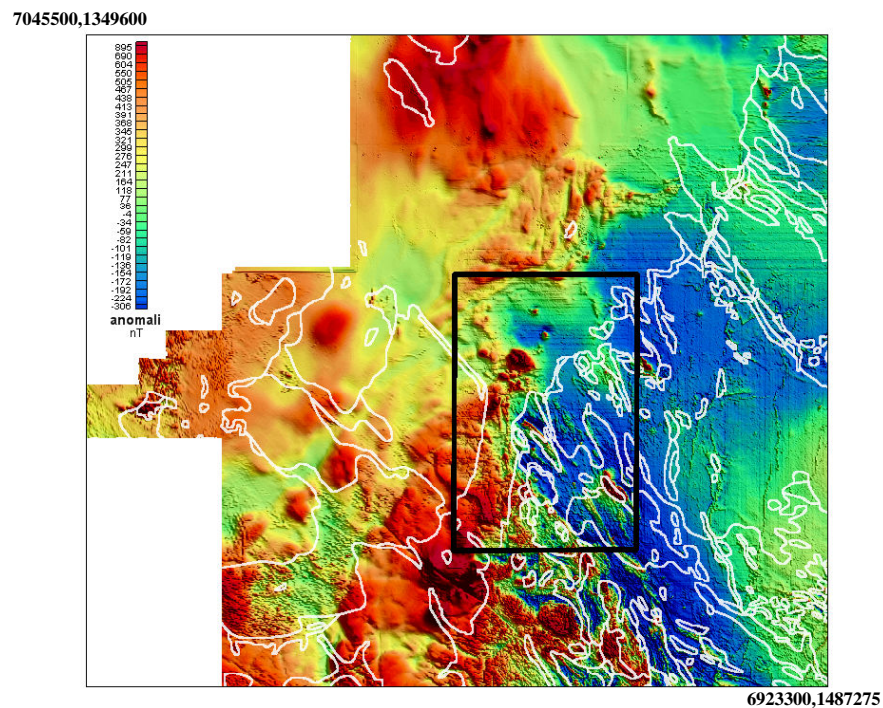
En förutsättning för användningen av AN-EUL-metoden för bedömningen av djupet till det magnetiska urbergets överyta är att ovanliggande fjällbergarter är lågt magnetiserade. I figur 13 visas att det inom fjällbergarterna finns delar som uppenbarligen har en viss magnetisering. De många diabasgångarna inom de sedimentära områdena i västra delen har högre magnetiseringsnivå än omgivningen. Detta gäller i ännu högre grad inom de ljusröda partierna, (c. 1.70 – 0.90 Ga granitoider), som i den magnetiska mätningen har ett mycket tydligt ytligt magnetiskt mönster. Till en del kan uppåträkning av de magnetiska data till högre höjd släta ut kortvägiga ytliga anomalier, men precisionen på djupbestämningen blir då sämre.

Urberget i öst visar betydligt kraftigare anomali-amplituder. De sedimentära områdena inom fjällberggrunden är till största delen lågmagnetiska. De nämnda magnetiska bergarterna inom fjällberggrunden orsakar en mängd kortvägiga anomalier som genererar ytliga träffar i AN-EUL-filtreringarna. Därför har det tidigare valda detaljområdet använts. Det markeras med svart linje. Där finns referensdata från ett antal borrhningar ner till urberget och/eller oavslutade borrhningar till stora djup (Gee m fl, 1982).

Det finns mycket få mätningar av magnetisering, susceptibilitet, på håll inom detaljområdet.

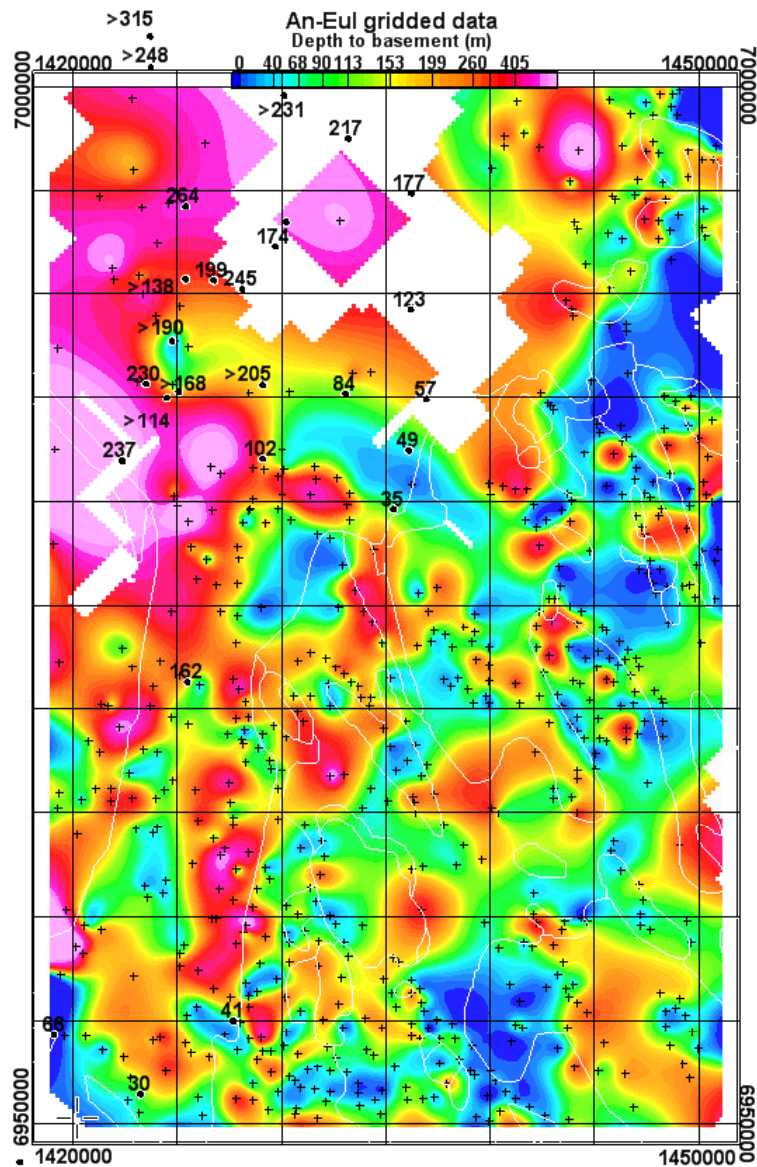


Figur 12. Utsnitt ur Fennoscandiska kartan över testområdet. Den svarta ramen visar området som utvalts för en detaljerad analys.

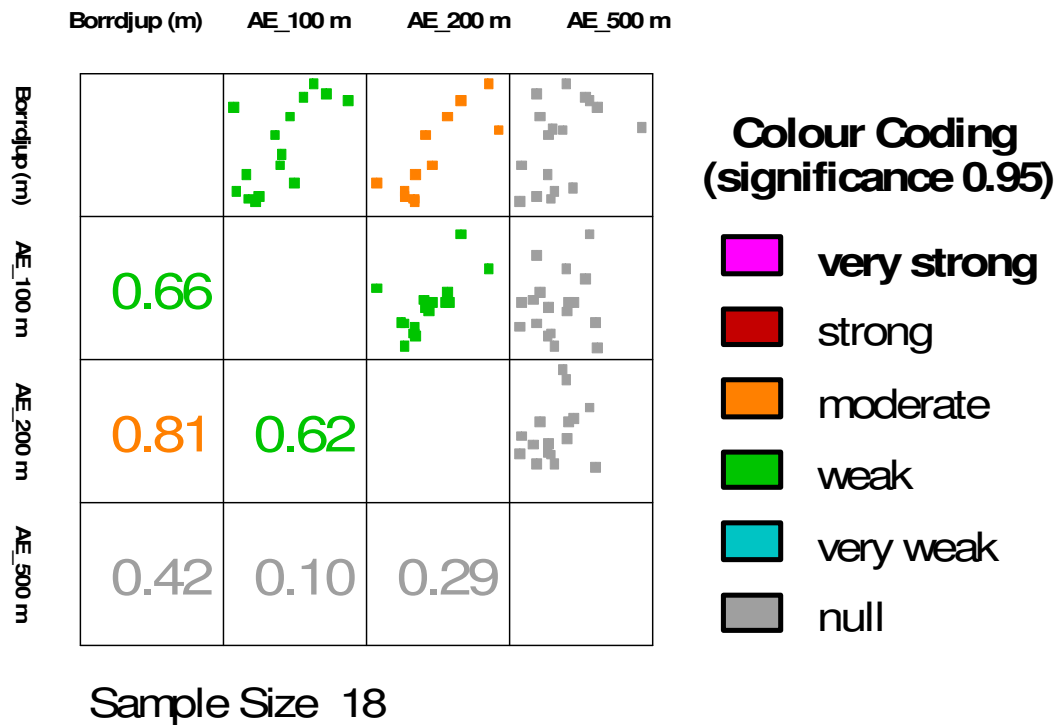


Figur 13. Samma utsnitt som i figur 12 med det magnetiska anomalifältet med data även från 2006 års flygmätning. Bergartskonturerna från Fennoscandiska kartan visas som vita konturer. Den svarta ramen visar området som utvalts för en detaljerad analys.

För att erhålla och kunna jämföra djup mellan borrhjup och djup enligt AN-EUL-metoden har uppåträknings till olika höjd utförts. Gridder av AN-EUL-lösningarna har skapats med minimum kurvatur och griddjupet vid borrhäget har jämförts med verkligt borrhjup. Det finns dock, i norra delen av testområdet, områden där godkända AN-EUL-djup ej erhållits, men där borrhjupar föreligger, se figur 14. Bästa korrelation erhöles med en uppåträkning till 200 m (se figur 15).



Figur 14. Detaljområdet med en grid i färgskala skapad av godkända AN-EUL-lösningar som redovisas som +. Borrhjupen visas som punkter med djupet till urberget och/eller borrhjup som ej nått ner till urberget.



Figur 15. Korrelation mellan de faktiska borrdjupen och erhållna djup till magnetisk överyta med AN-EUL-metoden från magnetfältsdata uppräknat från flyghöjd till nivåerna 100 m, 200 m och 500 m.

Slutsatser

Vi använder Euler dekonvolution, Werner och Analytisk signal standardmässigt på SGU för att snabbt ta fram kvantitativ information om magnetiska anomaliers tänkbara läge, orsak och form. Nu finns en ny metodik som kombinerar vissa delar av dessa metoder som kallas AN-EUL. Den har nyligen implementerats i en modul som nu ingår i Oasis licensen (Salem & Ravat 2003). Resultaten som erhålles har visats i denna rapport och innehåller djup (Euler, Werner och Analytisk signal), stupning, strykning och bredd (Analytisk signal, 2D-antagande). Analyserna som genomförts i projektet är baserade på både syntetiska och SGUs flygmättningsdata samt borresultat från tidigare projekt i ett område i Jämtland där information från borrhningar är tillgänglig. Borrhningarna har genomförts i samband med det så kallade Alunskifferprojektet (Gee m fl, 1982).

Våra analyser av syntetiska magnetiska data från långsträckta 2-dimensionella kroppar visar att Werner, Euler 2D och Analytisk Signal i nuvarande programmodul har en avvikelse som beror på stryknings avvikelse från det vinkelräta antagandet. Om avvikelsen ökar erhålles ett för stort djup. Vi har genom de syntetiska modellerna upptäckt att djupbestämningen kan korrigeras genom en multiplikation med sinus för vinkelavvikelsen. Vi har korrigerat den Analytiska Signalmodulen (Bastani & Pedersen 2001) för detta vinkelproblem. Det är, vad vi

känner, till den enda metoden f. n. som *automatiskt* bestämmer strykriktningen ur profildata och även korrigerar de framräknade djupen. Modulen har uppdaterats och installerats på den Oasis-plattform som nu används inom SGU. I denna modul ingår också en unik möjlighet att erhålla bredd, stupning och djup för orsaken till magnetiska anomalier.

På samma syntetiska modell gav Euler 3D den bästa djupbestämningen där flyglinjerna korsade anomalien och när de korrekta ingångsvärdena (strukturindex) användes. Däremellan erhöles större djup, se figur 3, utan linjär interpolation mellan mätlinjerna.

AN-EUL är en snabb tolkningsmetod som tar fram information om djup och strukturtypen. Metoden använder en *automatisk* diskriminering av den stora mängden lösningar som Eulerfiltreringen skapar genom att jämföra med lösningarna från en analytisk signalbearbetning av samma data.

Analyserna med 3D metoderna påverkas av griddens kvalitet. Strykningen erhållen från Analytisk signal kan användas för att förbättra griden.

Test med syntetiska data visar att analytisk signal ger den bästa anpassningen för 2D strukturer och skapar användbara parametrar.

Bearbetning av SGUs nya flygmagnetiska data med analytisk signal, AN-EUL och standard 3D Euler i en del av närområdet till Fulufället (15C) har presenterats ovan. Det stora linjeavståndet på 800 m är ett problem för bearbetningarna. Resultaten från analytisk signal (stupning, strykning och djup) och AN-EUL (SI och djup) visade att de beräknade värdena på stupning, strykning och SI verkar vara stabila. Det betyder att integrering av metoderna levererar de ovannämnda geometriska parametrarna som ger en 3D-bild av orsakerna till de magnetiska anomalierna oavsett blottningsgrad i karteringsområdet.

Djupen varierar för mycket mellan och inom metoderna. En orsak är de stora linjeavståndet som påverkar griddgenereringen, samt att AN-EUL modulen naturligtvis har ganska osäkra djupbestämningen när datakvaliteten är dålig.

AN-EUL-metoden visar sig påverkas mindre negativt av datakvaliteten för beräkningar av djup till magnetisk överyta. För att minska databrusinverkan rekommenderas en uppåträkning av grunddata. Detta kan styrkas vid en korrelationstest av borrhålsdjup och beräknat AN-EUL-djup där bästa korrelationen erhöles med en uppåträkning med 200m (se figur 15)

AN-EUL-metoden har även använts för bedömningen av djupet till det magnetiska urberget för hela området inom fjällbergarterna (se figur 12). Djupet till magnetiska objekt under fjällbergarterna beräknades under förutsättningen att ovanliggande bergarter är lågmagnetiska. Det föreligger dock magnetiska bergarter som orsakar en mängd kortvågiga anomalier i flygdata och som genererar ytliga träffar i AN-EUL-filtreringarna (se figur 13). Den typ av ytnära anomaliorsaker som finns från bergarterna i väster kan med stora uppåträknningar av magnetfältet undertyckas för att erhålla djup till underliggande urberg. Detta är gjort med en uppåträkning till 500m i denna rapport. Det blir då en sämre korrelation mellan de befintliga borrhålsdjupen och de AN-EUL beräknade djupen vilket kan studeras i figur 14. Därför har som detaljområde valts det område där det finns data från ett antal befintliga borrhningar ner till urberget och/eller oavslutade borrhningar till stora djup. Resultaten i figur 15 visar en ganska

bra korrelation mellan de beräknade djupen till magnetiska berget och borrhdata. Bästa resultat nås när man använder ett uppåträkningsfilter på 200m.

Referenser

Bastani, M. and Pedersen, L. B., 2001. Automatic interpretation of magnetic dike parameters using the analytical signal technique: *Geophysics* Vol. **66**, 551-561.

FritzGerald D., Reid A., McInerney P.,. 2004. New discrimination techniques for Euler deconvolution. *Computers & Geoscience* **30** () 461-469

Gee, D. G., Snäll, S., Stejskal, V., 1982. Alunskifferprojektet - Undersökningar mellan Östersund och Svenstavik. Sveriges geologiska undersökning PRAP 82502.

Reid, A. B., Allsop, J. M., Granser, H., Millett, A. J., Somerton, I. W., 1990, Magnetic interpretation in three dimensions using Euler Deconvolution, *Geophysics*. Vol.55, pp.80-91.

Salem A., Ravat D., 2003. A combined analytic signal and Euler method (AN-EUL) for automatic interpretation of magnetic data. *Geophysics* Vol **68** No.6 P.1952-1961.

Thompson, D. T., 1982, EULDPH: A new technique for making computer-assisted depth estimates from magnetic data. *Geophysics*, Vol. 47, pp.31-37

Underlagsmaterial

Alla referenser ligger under: <\\fs1\proj\arkiv\35089\Euler\Papers>

Alla powerpoint-presentationer ligger under: <\\Fs1\proj\arkiv\35089\Euler\Presentation>