

NGU Rapport 89.170

Et empirisk studium av "straight-
slope lengden" ved tolkning av
dyp til magnetisk grunnfjell,
med forslag til
korreksjonsfaktorer.
(Foreløpige resultater)

Rapport nr. 89.170		ISSN 0800-3416		Åpen/ Fortrolig #	
<p>Tittel: Et empirisk studium av "straight-slope lengden" ved tolkning av dyp til magnetisk grunnfjell, med forslag til korreksjonsfaktorer. (Foreløpige resultater)</p>					
Forfatter: Jan Reidar Skilbrei			Oppdragsgiver: NGU		
Fylke:			Kommune:		
Kartbladnavn (M. 1:250 000)			Kartbladnr. og -navn (M. 1:50 000)		
Forekomstens navn og koordinater:			Sidetall: 18		Pris: kr. 40,-
			Kartbilag:		
Feltarbeid utført:		Rapportdato: 20.01.1990		Prosjektnr.: 32.2440.00	
				Seksjonssjef: <i>Jan Skilbrei</i>	
<p>Sammendrag: Denne rapporten omhandler bruken av "Straight Slope" metoden for estimering av dyp til magnetisk grunnfjell anvendt på magnetiske profildata. Det er beregnet korreksjonsfaktorer for "Straight Slope lengden" (SS-lengden), der SS-lengden er den rette linja som kan måles ut på den steileste flanken på en magnetisk anomali. Dypet til den magnetiske kilden varierer mellom 1*SS-lengden og 2*SS-lengden for magnetiske anomalier over steiltstående plater ved høye magnetiske breddegrader (antatt to-dimensjonale modeller), avhengig av forholdet mellom bredde av kilden (b) og dyp til kilden (d). Tilsvarende må SS-lengden ganges med en faktor som varierer mellom 1.5 og 2.1 for å oppnå dypet til plater med begrenset dyprekkevidde (2 1/2-D og 3-D modeller/kilder). Kvantifiseringa er gjort ut fra korreksjonsfaktorer beregnet på syntetisk genererte anomaliprofiler. Et diagram som viser hvordan korreksjonsfaktorene varierer for 2-D og 2 1/2-D strukturer for; (1) tynne plater, og (2) tykke plater med stigende b/d forhold, er presentert. Dette har ikke vært publisert før. Dyp til magnetisk grunnfjell blir oftere underestimert enn overestimert. Dette kan skyldes to forhold: (1) Korreksjonsfaktorene som er anvendt for karakteristiske lengder målt ut på profildata har vært for små, og (2) geologiske forhold (de magnetiske bergartene som anomaliene er målt over har begrenset dyprekkevidde).</p>					
Emneord		Metode			
Geofysikk					
Magnetometri					

INNHOLDSLISTE

INNLEDNING	4
TOLKNINGSTEKNIKKER	6
GRUNNLEGGENDE FORMLER	8
EMPIRISK STUDIUM AV STRAIGHT SLOPE LENGDEN:	
ARBEIDSMETODIKK	11
KORREKSJONSFAKTORER	14
TOLKNING AV RESULTAT	15
KONKLUSJON	17
REFERANSER	18

INNLEDNING

En rekke tolkningsteknikker er utviklet for å estimere dyp til magnetisk grunnfjell basert på magnetiske data. De siste 10-20 årene har det særlig blitt lagt vekt på å utvikle automatiske tolkningsteknikker. Likevel er manuelle metoder basert på profil data, slik som Peters lengde, Sokolovs lengde og "Straight slope lengden", ennå populære, særlig i petroleumindustrien (Nettleton, 1976). Dette kommer av at slike "karakteristiske lengder" er enkle å bruke og er "til å stole på" (Åm, 1972). En må imidlertid huske på at disse "tommelfinger-reglene" strengt tatt bare kan anvendes ved spesielle geologiske/geofysiske forhold. F.eks. er metoden til Peters (1949), "half-slope lengden", bare gyldig for magnetiske anomalier over vertikale ganger med vertikal magnetisk polarisasjon.

"Straight slope lengden" (heretter kalt SS-lengden) er den horisontale projeksjon av den rettlinja delen av den bratteste gradienten på infleksjonspunkter på anomalikurver. Vacquier m.fl (1951) ga ulike korreksjonsfaktorer for de ulike SS-lengdene målt på forskjellige flanker på anomalier over prismatiske kropper med ulike dimensjoner og orientering. Bare lengder målt ut på kotekart ble studert. Disse korreksjonsfaktorene er derfor ikke gyldige for profildata (kotekart er mer eller mindre glatta versjoner av originaldata). Et slikt studium er ikke gjort på SS-lengden målt ut på kurveprofiler, såvidt som jeg vet. Jeg har følt behov for å undersøke hva en må gange SS-lengden med for å få dyp til anomalikroppene ved ulike b/d forhold (b=bredde av kropp, d=dyp til kropp). Det er også gjort en undersøkelse av SS-lengden for kropper hvis dyprekkevidde (t=tykkelse målt fra topp til bunn på kroppen) er begrenset. Alle lengder er i det følgende gitt i dyphenheter.

Matematisk sett eksisterer det ingen SS-lengde. Teknikken er derfor empirisk. Åm (1972) mente at SS-lengden målt på teoretiske (rene) profiler måtte multipliseres med en faktor 1.5 for å få dypet. Ram Babu m. fl. (1986) fant at dypet til

magnetiske kilder generelt kan finnes ved å gange SS-lengden med 1.25. Mitt arbeid viser at dette er en overgeneralisering. Resultat som rapporteres her viser at denne faktoren varierer mellom 1 og 2 for 2-dimensjonale kropper med varierende b/d forhold. Resultatet avviker også en del fra de som Achuta Rao og Ram Babu (1984) fant.

TOLKNINGSTEKNIKKER

Figur 1 viser tre forskjellige størrelser som hver for seg kan brukes til å estimere dyp til magnetiske kilder. Alle tre er knyttet til vendetangenten, dvs. tangenten med maksimalt stigningsforhold.

1. Sokolovs lengde: Horisontalavstanden mellom skjæringspunktene for vendetangenten og henholdsvis null (minimalt) og maksimalt nivå. Denne metoden er beheftet med feil forbundet med å definere (tolke) regionalanomalier eller basis nivå.

2. Peters lengde: Horisontalavstanden mellom de to punktene på anomaliflanken hvor tangenten har et stigningsforhold lik halvparten av det maksimale.

3. Straight slope lengden: Horisontalprojeksjonen av den del av kurven som danner en tilnærma rett linje gjennom vendepunktet.

Sokolovs lengde og Peters lengde kan defineres matematisk. Matematisk sett finnes ingen Straight slope. Visuelt kan den finnes relativt lett. Ofte vil en anomali være forstyrret av "naboanomalier". I slike tilfeller vil det være lettere å måle ut Straight slope lengden enn de andre to lengdene fordi SS-lengden befinner seg høyere oppe på anomalikurva, og dermed oftere vil være uforstyrret av naboanomalier.

FIG. 1

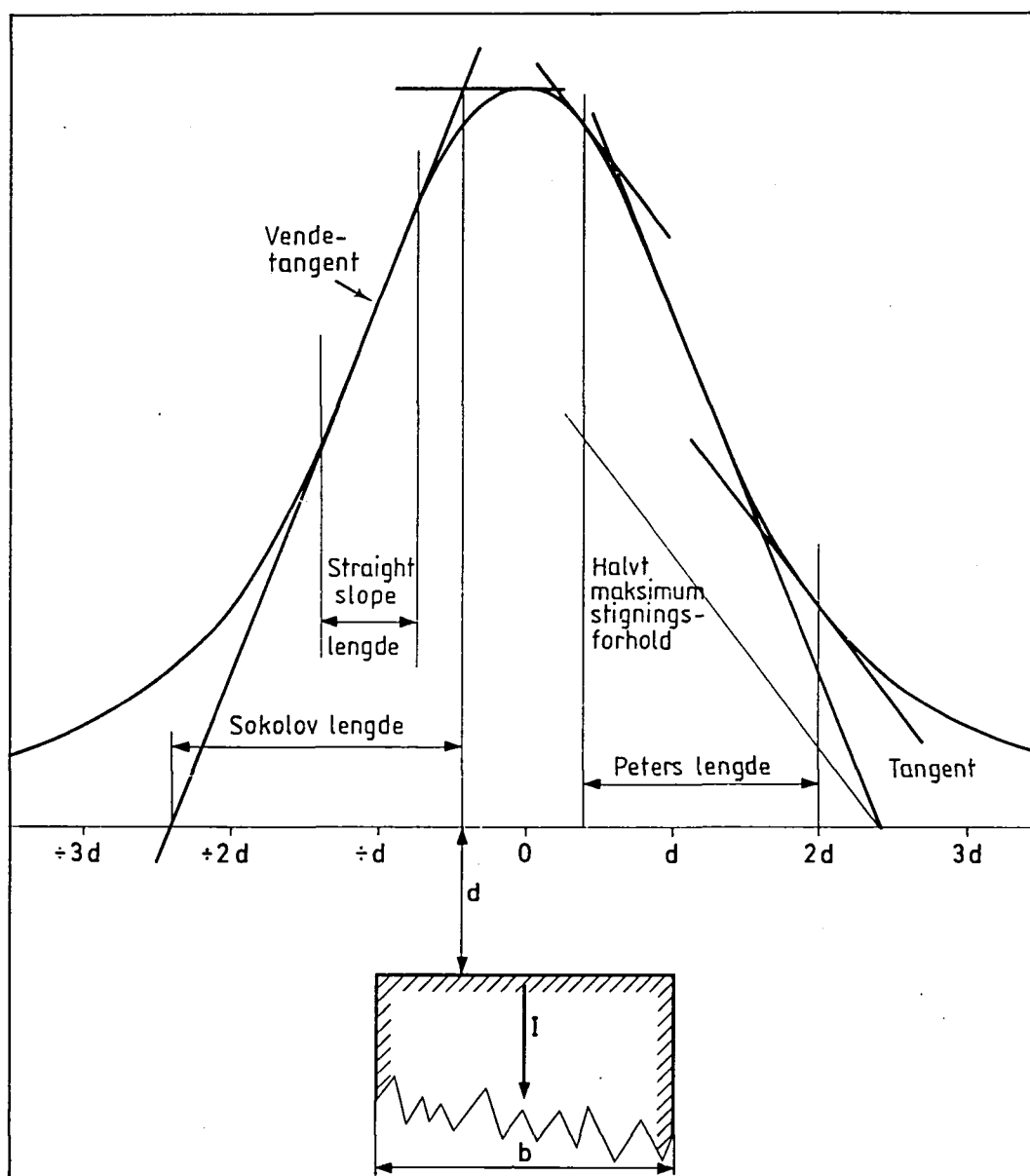


FIG. 1. Karakteristiske lengder som benyttes til estimering av dyp til magnetiske kilder.

GRUNNLEGGENDE FORMLER

Ved tolkning av dyp til magnetisk grunnfjell under sedimentære bassenger har erfaring fra flere tiår vist at en antagelse om at magnetiske anomalier skyldes intrabasement kontraster i magnetisk susceptibilitet er nyttig og oftest gir mest korrekt tolkningsresultat. Dette har ført til to modeller som er anvendt på mange typer anomalier; prismemodellen og platemodellen ("dyke-modellen"). Prismemodellen ble grundig studert allerede av Vacquier m. fl. (1951), og de presenterte tolkningsprosedyrer anvendt på kotekart. Teknikken er forholdsvis langsam å benytte. I det følgende gjennomgås platemodellen.

Tynn plate

En generell formel for et magnetisk profil målt vinkelrett strøkretninga til platen er gitt ved (etter Parker Gay, 1963; Åm, 1972):

$$\Delta F = -C'_F * \cos \psi * \sin(\psi - \theta);$$

der: ΔF er anomalien i komponenten av jordens magnetfelt som en betrakter, C'_F er et koeffisientledd = $2P' * (t/d * F'/F)$, ψ gir posisjon på profilet, og $\theta = I'_F + I'_P - \delta$.

Symbolene er forklart i figur 2.

Tykk plate

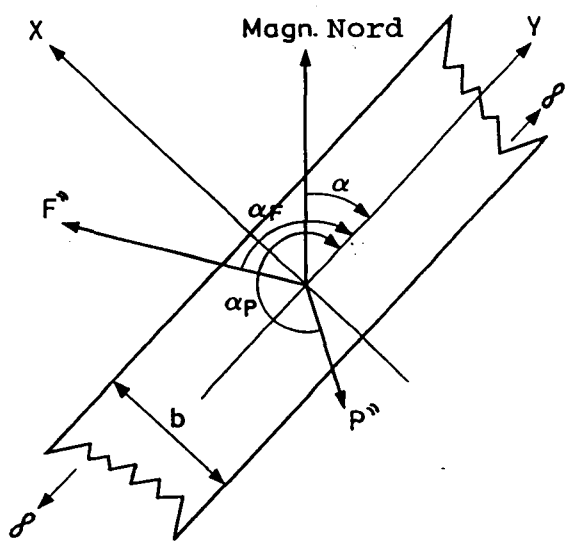
Formelen er etter Hall (1968):

$$\Delta F = C_F * (\phi * \sin \theta + \cos \theta * \ln (R_2/R_1));$$

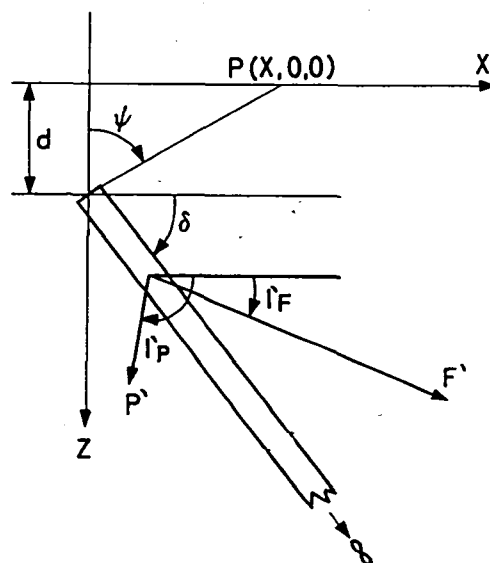
der: $C_F = 2P' * (F'/F) * \sin \delta$, ϕ og R er definert ved posisjon på profilet.

Symbolene er forklart i figur 2.

Ved normalisering og skalering i dyp-enheter har formelen bare to uavhengige variable: **samlevinkelen** $\theta = I'_p + I'_F - \delta$, og **b/d** (bredde/dyp). Formen til et magnetisk profil som er målt vinkelrett på strøkretninga til en plate er altså bare avhengig av forholdet mellom b (bredde) og d (dyp), og vinkelen θ .



HORISONTALSNITT, TYKK PLATE



VERTIKALSNIITT, TYNN PLATE

$$-90 < \psi < 90, \quad 0 < \phi < 180,$$

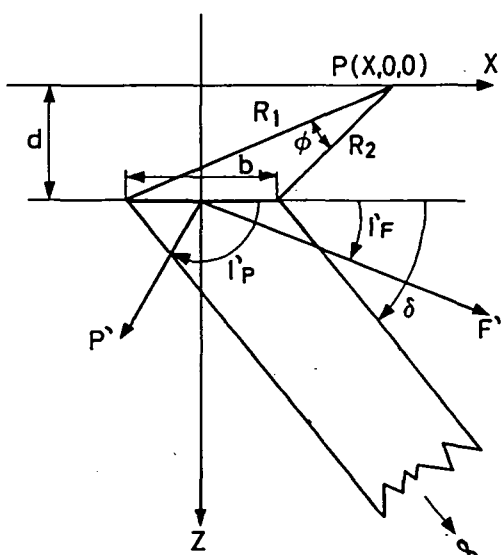
$$0 \leq \delta < 180, \quad 0 \leq \alpha < 180$$

$0 \leq \alpha_P, \alpha_F < 360$ Vinkel mellom horisontalprojeksjonen av magnetiseringsvektoren eller måleretning og y-akse

$-90 \leq I_P, I_F \leq 90$ Inklinasjon av polariseringsvektor eller målt komponent

P' and F' = Projeksjon av polariseringsvektor og målt vektor i xz-planet

$$\text{tg} I' = \text{tg} I / \sin \alpha$$



VERTIKALSNIITT, TYKK PLATE

FIG. 2. Forklaring i tekst. (Modifisert etter Åm, 1972).

EMPIRISK STUDIUM AV STRAIGHT SLOPE LENGDEN: ARBEIDSMETODIKK

Straight slope lengden (SS-lengden) er i praksis den raskeste manuelle metoden å bruke for dyptolkninger. Dessverre kan den ikke defineres matematisk. Derfor må den studeres empirisk. Jeg har gjort dette på syntetisk genererte magnetiske profiler. Teoretisk respons for ulike verdier av intensitet og retning på magnetisk polarisasjonsvektor, b/d og samlevinkelen . Til dette er det brukt et program skrevet av O. Kihle ved NGU. De teoretiske anomalikurvene er plottet ut grafisk og jeg har så målt ut SS-lengdene direkte på plottene. Målingene ble gjort etter at plottene var "randomisert", det vil si at jeg ikke viste hva "facit" skulle være under utførelsen av målingene. Et eksempel på et syntetisk generert plott hvor SS-lengden er inntegnet er vist i figur 3. (Responsen er kalkulert for en tynn plate, $b/d=0$, med 2-D struktur, dvs. uendelige dimensjoner mot dypet og i retning ut på hver side vinkelrett profilet).

For hver verdi av b/d (bredde/dyp) ble det gjort ca. 5 uavhengige målinger på 5 ulike plott. Forholdet mellom SS-lengden og dypet til toppen av platen (d er kjent), SS/d , ble så plottet i diagram. SS/d ble avsatt langs y -akse mot de tilhørende b/d -verdier avsatt langs x -akse. Diagrammet er vist i figur 4.

Alle anomaliene er teoretisk beregnet for bare en verdi av samlevinkelen $\approx 72^\circ$. Dette vil i praksis være omtrent den reelle verdi for samlevinkelen ved våre breddegrader for steiltstående plater med hovedsakelig indusert magnetisering.

Jeg har også brukt samme framgangsmåte på anomalier generert for magnetiserte plater med begrenset dyprekkevidde. Dette er gjort for kropper som har et forhold mellom tykkelse (t =avstand mellom toppen av platen og bunnen av platen) av plate og dyp til plate (d) på 1 ($t/d=1$). Se fig. 4. Dette er gjort for å undersøke effekten av begrenset dyprekkevidde av anomaliårsakene på korreksjonsfaktorene for SS-lengden.

FIG. 3 TOTALFELTANOMALI FOR TYNN PLATE

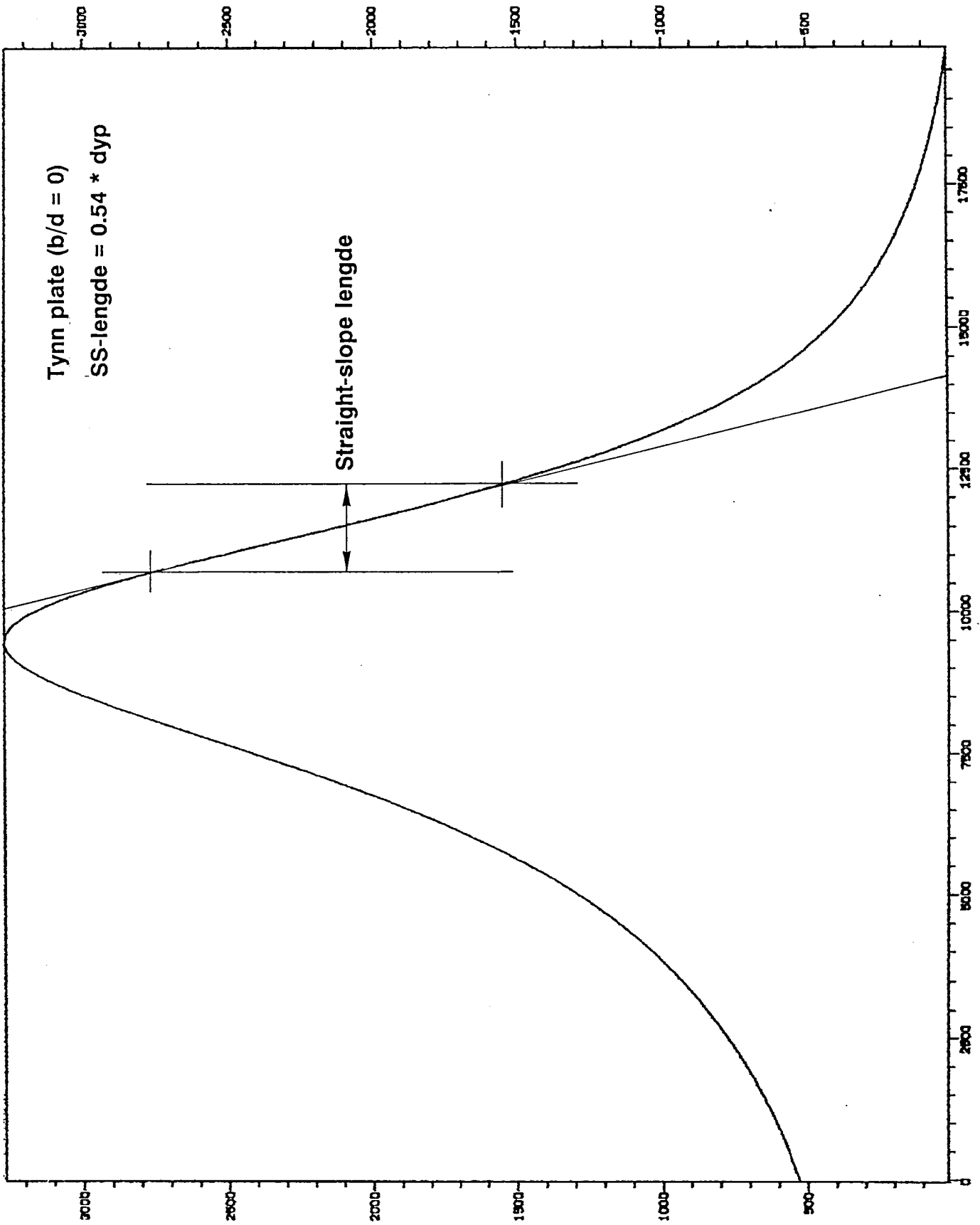


FIG. 4.

Alle størrelser i dypenheter

d =dyp til topp av plate

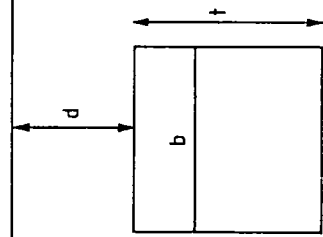
b =bredde av plate

t =tykkelse av plate

Alle beregninger gjort for samlevinkel (θ)=70°

$x:t \rightarrow \infty$ \circ : $d/t = 1$

målenivå

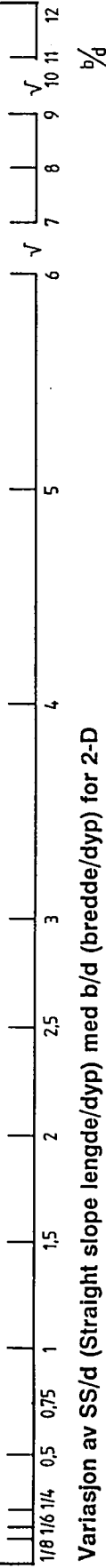


d/SS	SS/d
0.91	1.1
1.0	1.0
1.11	0.9
1.25	0.8
1.43	0.7
1.67	0.6
2.0	0.5
	0.4

2-D struktur

2 1/2-D struktur

Variasjon av SS/d (Straight slope lengde/dyp) med b/d (bredde/dyp) for 2-D strukturer (∞ -dyprekkevidde) og for 2 1/2-D strukturer ($d/t = 1$, der t =tykkelse = d =dyp = 1)



KORREKSJONSFAKTORER

Straight slope lengden må ganges med 2 ved tynn plate modell, og med 1.5 for bredde til dyp forhold lik 2 ved tykk plate modell, for å få det aktuelle dypet til platen. Korreksjonsfaktorene varierer totalt mellom 1 og 2 for 2-D strukturer. Fra plottet ses at variasjonen over b/d verdiene ikke er uniform. Dette skyldes trolig at metoden er empirisk. Jeg har trukket rette linjer mellom plottene.

Effekten av 3-D strukturer på SS-lengden er at SS-lengden underestimerer dypet også ved store b/d. Ved b/d lik 2 underestimerer SS-lengden dypet ca 25% i forhold til når antakelsen om 2-D struktur er oppfylt. Ved store b/d er denne underestimeringa relativt større.

TOLKNING AV RESULTAT

Resultat viser at en må bruke SS-lengden med forsiktighet. Imidlertid vil ofte geologiske forhold tilsi at b/d er ca. 2. Dette har vist seg fra undersøkelser av bredde til anomaliårsaker basert på 0-konturen til kurvaturen av totalfeltanomaliene (2.-deriverte) (Steenland, 1970), og kan også begrunnes ut fra generelle geologiske betraktninger. Det vil f. eks. sjelden kunne måles veldefinerte anomalier fra tynne plater der platens magnetiske bredde ($=$ produktet av bredde på plate og magnetisk susceptibilitet multiplisert med intensiteten på jordfeltet) blir for liten, unntatt ved svært små dyp. Ved å estimere b/d ut fra anomaliforma kan gode korreksjonsfaktorer oppnås.

Fordelen med SS-metoden er at den er rask å bruke og pålitelig når man har nok trening/erfaring. Jeg brukte noen dager på å få sikkerhet nok til reprodusere mine egne SS-lengder ved uavhengige målinger. Det anbefales sterkt å trene på syntetisk genererte profiler slik at man kan kontrollere sine egne resultater. SS-metoden bør brukes til å kontrollere automatiske tolkningsteknikker, og den er uvurderlig når man arbeider seg gjennom profilplott som er plottet i stor målestokk. Med nok trening er den så rask å bruke at den konkurrerer ut automatiske tolkningsteknikker. Ofte er det slik at det er bare en eller noen få anomalier på et flyprofil som krysser anomalier på kotekart på en slik måte at gode dypestimer kan oppnås. Min erfaring med SS-metoden er at på den tiden man kjører igjennom et tolkningsprogram (som bruker grafisk output) for et profil, så har man tolket dypet ved hj. av SS-metoden. Samtidig med at man tolker SS-lengden fra profilet kan en lete etter grunne og små anomalier, eller tegn på støy (f. eks. tidsvarisjoner).

Det bør understrekes at bruken av flere tolkningsteknikker øker sikkerheten på dypestimatene. Det blir i litteraturen hevdet at presisjonen på dypestimatene er rundt 5-10%. Det er forfatterens erfaring at dette gjelder selve det grafiske, visuelle tolkningsarbeidet. Feil forbundet med at antakelser som metoden krever ikke er oppfylt (systematiske feil) kommer

i tillegg til de grafiske feilene, og kan være langt større enn disse.

Steenland (1970) fant empirisk at dyp til magnetisk basement langt oftere ble underestimert enn det ble overestimert. Dette kan skyldes geologiske forhold. Det er velkjent at når anomaliårsakene er dypbegrenset vil dypene underestimeres kraftig. Dette vil gjelde alle metoder som baserer seg på helningen på anomaliflankene. Når anomaliårsakene har endelig utstrekning vinkelrett profilet (i plant snitt), vil dette ses fra kotekart og dette forhold kan korrigeres for (f. eks. ved å bruke korreksjonsfaktorer gitt i Vacquier m. fl., 1951). Når anomaliårsakene har endelig begrensning mot dypet av betydning, vil dette vanskelig kunne oppdages eller tolkes fra anomaliformen pga. problemer som er forbundet med å definere null-nivå over sedimentære bassenger. Dette studiet kvantifiserer den systematiske feilen som endelig dyp medfører på dypestimatet ved bruk av SS-lengden. Videre kan den ovenfor nevnte underestimeringa også skyldes at korreksjonsfaktorene som er brukt er for å konvertere målte lengder til dypestimat er har for små tallverdier.

Den største bakdelen med SS-metoden er at den er subjektiv. Derfor må man ha mye trening før den kan brukes som eneste metode. En kombinasjon av flere metoder gir best resultat.

KONKLUSJON

Straight slope metoden (SS-lengden) er raskere å bruke enn andre manuelle tolkningsteknikker. Ofte er det raskere å bruke SS-metoden enn automatiske tolkningsmetoder (da det krever mye arbeid å kontrollere/tolke disse). SS-lengden krever korreksjonsfaktorer som varierer mellom 1 og 2 når bredde/dyp varierer mellom 0 og 8 for platemodeller. Når høyden fra topp til bunn av en tykk plate er lik dyp til toppen av den samme platen, og $b/d=2$, underestimeres dypet med ca 25% relativt til tilfeller hvor antakelse om 2-D struktur er oppfylt. Ved større b/d -verdier øker denne relative feilen/forskjellen. Dette er trolig en hovedårsak til at dyp til magnetisk grunnfjell oftere underestimeres enn det overestimeres.

REFERANSER

Atchuta Rao, D., Ram Babu, H.V. 1984: On the half-slope and straight-slope methods of basement depth determination. Geophysics, 49:1365-1368.

Hall, D.H. 1968: A magnetic interpretation method for calculating body parameters for buried sloping steps and thick sheets. Geoexploration, 6:187-206.

Nettleton, L.L. 1976: Gravity and magnetics in oil prospecting: McGraw-Hill Book Co., Inc.

Parker Gay, S. 1963: Standard curves for interpretation of magnetic anomalies over long tabular bodies. Geophysics, 28:161-200.

Peters, J.L. 1949: The direct approach to magnetic interpretation and its practical application. Geophysics, 14:290-320.

Ram Babu, H.V., Vijayakumar, V. and Atchuta Rao, D. 1986: A simple method for the analysis of magnetic anomalies over dike-like bodies. Geophysics, 51:1119-1126.

Steenland, N.C. 1970: Recent developments in aeromagnetic methods. Geoexploration, 8:185-204.

Vacquier, V., Steenland, N.C., Henderson, R.G., Zietz, I. 1951: Interpretation of aeromagnetic maps. Geol. Soc. Am. Memoir, 47:151pp.

Am, K. 1972: The arbitrarily magnetized dyke: interpretation by characteristics. Geoexploration, 10:63-90.