

HALLIBURTON

A quick method to help identify magnetic mud with MWD

Sperry Drilling – Timothy Allen

Agenda

- What is magnetic mud?
- Directional MWD Survey QC
 - Btotal (Magnetic Field Strength)
- Pumps Off vs. Pumps On
- Sensitivity Analysis
 - Scale Factor Error
 - 1.5% vs. 4.0%
 - Low vs. High Latitude
- Summary

What is magnetic mud?

- The term “magnetic mud” is often used when magnetic material is retained within the mud, influencing the accuracy of directional MWD measurements
- The magnetic field is attenuated through the magnetic mud resulting in a scale factor error on the cross axial magnetometers

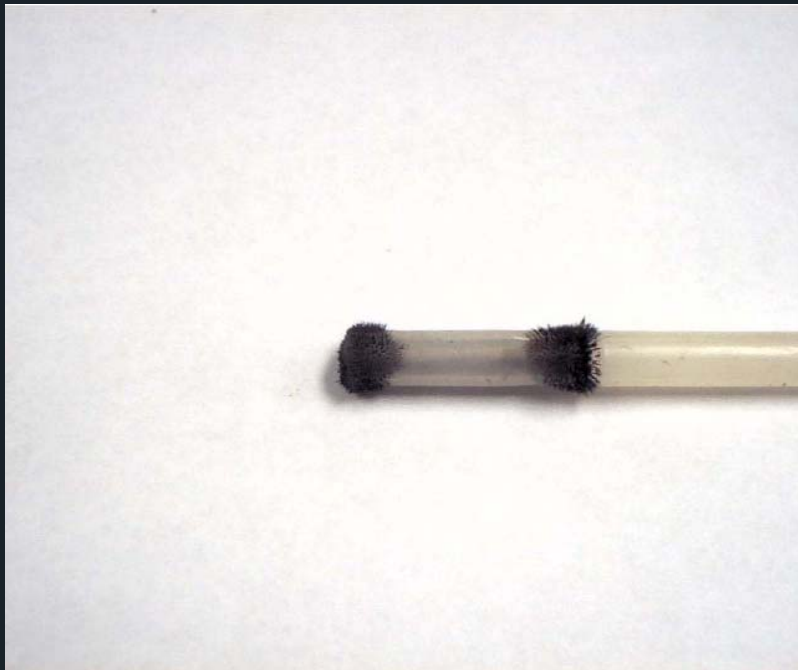
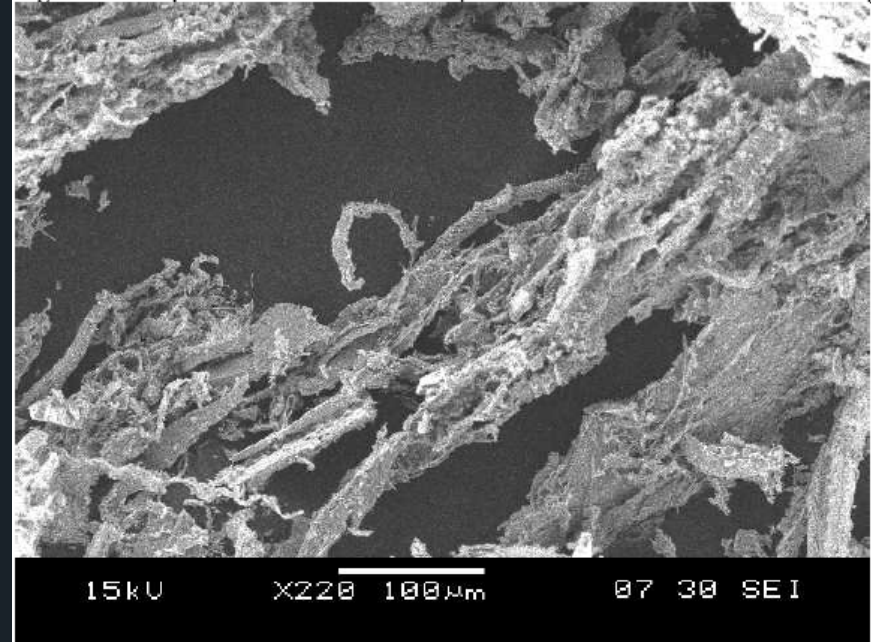


Figure 3. SEM photos and the elemental maps. Shredded iron metal over a carbon tape.



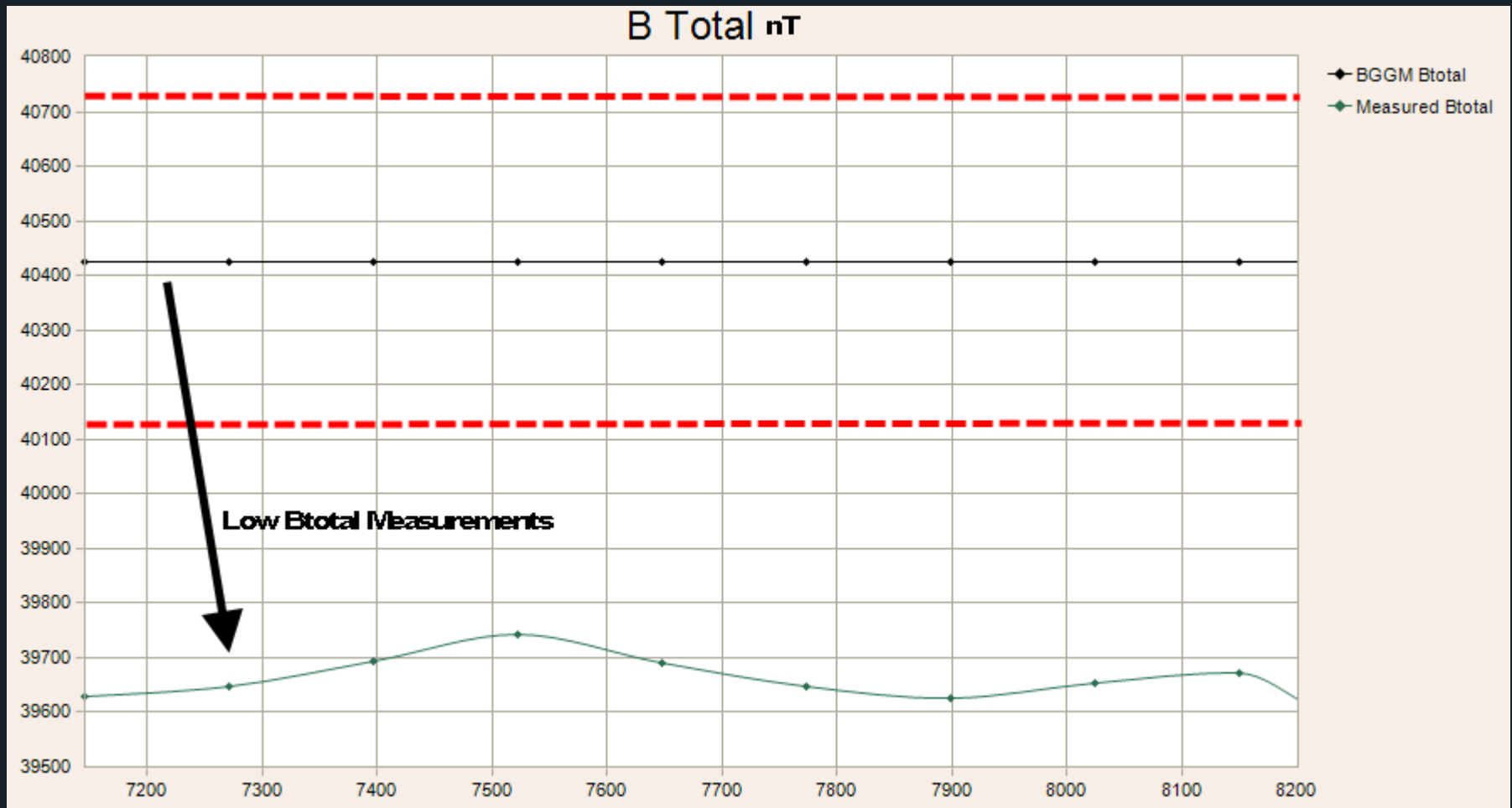
Directional MWD Survey QC

- Basic Survey QC acceptance criteria
 - $G_{total} \pm 0.003$
 - B_{total} (magnetic field strength) $\pm 300\text{nT}$
 - Dip (magnetic field inclination) ± 0.30 deg

SFE Error example – Btotal

■ Btotal QC +/- 300 nT

Low Latitude – Malaysia



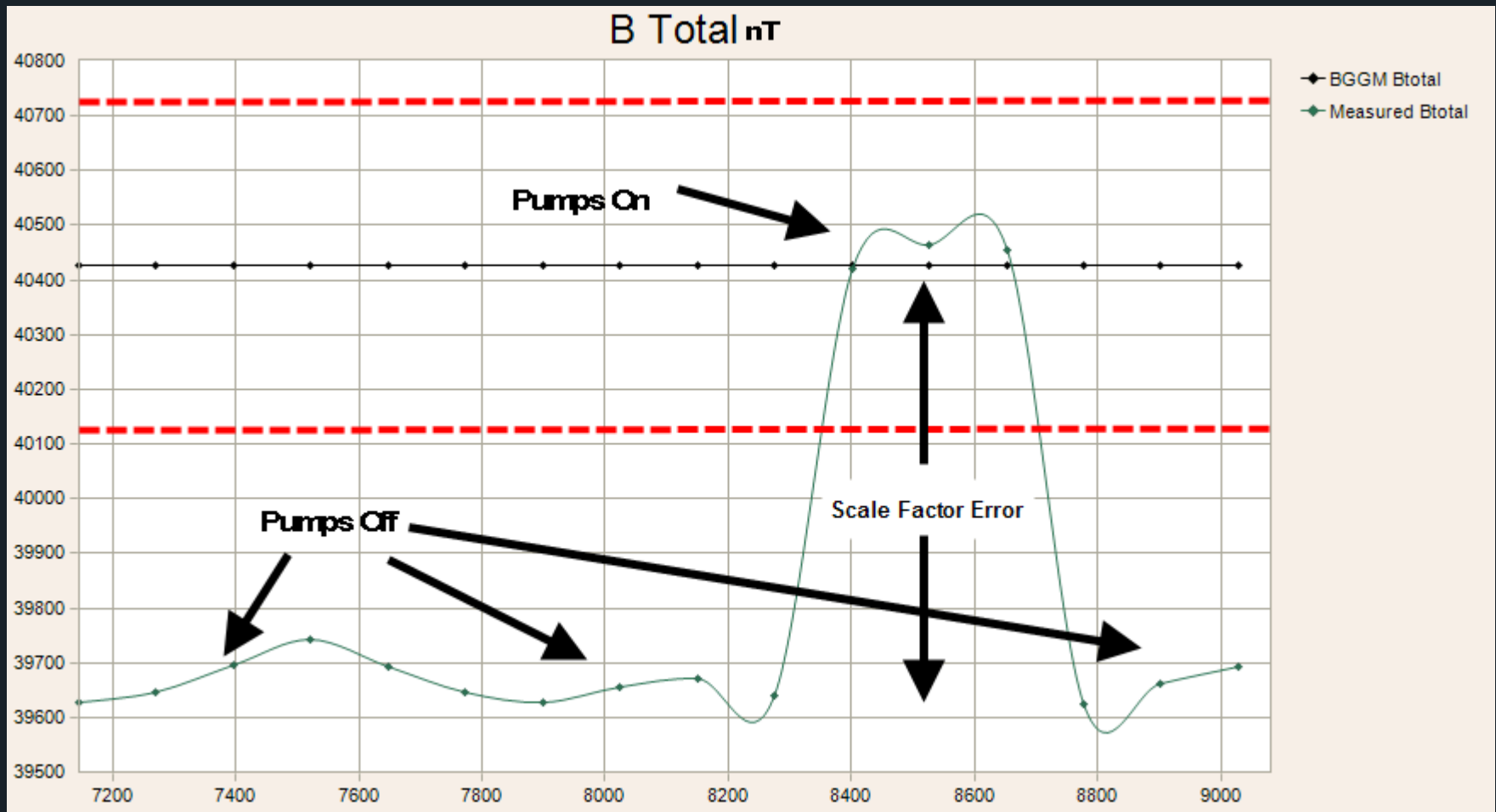
Diagnosing the Error

- Directional MWD tool sensor error?
- British Geological Survey Global Geomagnetic Model (BGGM) uncertainty?
 - In-Field Referencing (IFR) may not be available
- Magnetic Mud?

SFE Error example – Btotal – Pumps On vs. Pumps Off

■ Btotal QC +/- 300 nT

Low Latitude – Malaysia



Sensitivity Analysis

Magnetic Mud – Dip Error 1.5% SFE

■ Dip QC +/- 0.30 deg

Low Latitude - Malaysia

Inclination	Azimuth																																							
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165	170	175	180			
0.0	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02		
2.5	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02	-0.02	-0.03	-0.03	-0.03	-0.04	-0.04	-0.04	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	
5.0	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.00	-0.01	-0.01	-0.02	-0.03	-0.03	-0.04	-0.05	-0.05	-0.06	-0.06	-0.07	-0.07	-0.08	-0.08	-0.09	-0.09	-0.09	-0.09	-0.09	-0.09	-0.10	-0.10	-0.10	
7.5	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.08	0.08	0.07	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.02	0.01	0.00	-0.01	-0.02	-0.03	-0.04	-0.05	-0.06	-0.07	-0.08	-0.08	-0.09	-0.10	-0.11	-0.11	-0.12	-0.12	-0.13	-0.13	-0.13	-0.13	-0.13	-0.13	-0.13	
10.0	0.13	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.11	0.10	0.09	0.09	0.08	0.07	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	-0.01	-0.02	-0.03	-0.05	-0.06	-0.07	-0.08	-0.09	-0.11	-0.12	-0.13	-0.13	-0.14	-0.15	-0.15	-0.16	-0.16	-0.17	-0.17	-0.17	-0.17	-0.17	
12.5	0.17	0.16	0.16	0.16	0.15	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.07	0.06	0.04	0.03	0.01	0.00	-0.02	-0.04	-0.05	-0.07	-0.08	-0.10	-0.11	-0.13	-0.14	-0.15	-0.16	-0.17	-0.18	-0.19	-0.19	-0.20	-0.20	-0.20	-0.20	-0.20	-0.20	
15.0	0.20	0.20	0.20	0.19	0.19	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.12	0.11	0.09	0.07	0.06	0.04	0.02	0.00	-0.02	-0.04	-0.06	-0.08	-0.09	-0.11	-0.13	-0.14	-0.16	-0.17	-0.19	-0.20	-0.21	-0.22	-0.22	-0.23	-0.23	-0.23	-0.24	-0.24	-0.24	
17.5	0.23	0.23	0.23	0.22	0.22	0.21	0.20	0.19	0.17	0.16	0.14	0.13	0.11	0.09	0.07	0.05	0.02	0.00	-0.02	-0.04	-0.06	-0.08	-0.10	-0.12	-0.14	-0.16	-0.18	-0.19	-0.21	-0.22	-0.23	-0.24	-0.25	-0.26	-0.26	-0.27	-0.27	-0.27	-0.27	
20.0	0.26	0.26	0.26	0.25	0.25	0.24	0.23	0.21	0.20	0.18	0.16	0.14	0.12	0.10	0.08	0.05	0.03	0.01	-0.02	-0.04	-0.07	-0.09	-0.11	-0.14	-0.16	-0.18	-0.20	-0.21	-0.23	-0.25	-0.26	-0.27	-0.28	-0.29	-0.29	-0.29	-0.30	-0.30	-0.30	
22.5	0.29	0.29	0.29	0.28	0.27	0.26	0.25	0.24	0.22	0.20	0.18	0.16	0.14	0.11	0.09	0.06	0.04	0.01	-0.02	-0.04	-0.07	-0.10	-0.12	-0.15	-0.17	-0.19	-0.21	-0.23	-0.25	-0.27	-0.28	-0.29	-0.30	-0.31	-0.32	-0.32	-0.32	-0.32	-0.32	
25.0	0.32	0.32	0.31	0.31	0.30	0.29	0.27	0.26	0.24	0.22	0.20	0.18	0.15	0.12	0.10	0.07	0.04	0.01	-0.02	-0.05	-0.07	-0.10	-0.13	-0.16	-0.18	-0.21	-0.23	-0.25	-0.27	-0.29	-0.30	-0.32	-0.33	-0.34	-0.34	-0.34	-0.34	-0.35	-0.35	
27.5	0.34	0.34	0.34	0.33	0.32	0.31	0.30	0.28	0.26	0.24	0.21	0.19	0.16	0.14	0.11	0.08	0.05	0.01	-0.02	-0.05	-0.08	-0.11	-0.14	-0.17	-0.19	-0.22	-0.24	-0.27	-0.29	-0.31	-0.32	-0.34	-0.35	-0.36	-0.36	-0.37	-0.37	-0.37	-0.37	
30.0	0.37	0.36	0.36	0.35	0.34	0.33	0.31	0.30	0.28	0.25	0.23	0.20	0.17	0.14	0.11	0.08	0.05	0.02	-0.02	-0.05	-0.08	-0.11	-0.14	-0.17	-0.20	-0.23	-0.26	-0.28	-0.30	-0.32	-0.34	-0.35	-0.36	-0.37	-0.38	-0.38	-0.39	-0.39		
32.5	0.38	0.38	0.38	0.37	0.36	0.35	0.33	0.31	0.29	0.27	0.24	0.21	0.18	0.15	0.12	0.09	0.05	0.02	-0.01	-0.05	-0.08	-0.12	-0.15	-0.18	-0.21	-0.24	-0.27	-0.29	-0.31	-0.33	-0.35	-0.37	-0.38	-0.39	-0.40	-0.40	-0.40	-0.40		
35.0	0.40	0.40	0.39	0.39	0.38	0.36	0.34	0.33	0.30	0.28	0.25	0.22	0.19	0.16	0.13	0.09	0.06	0.02	-0.01	-0.05	-0.08	-0.12	-0.15	-0.19	-0.22	-0.25	-0.27	-0.30	-0.32	-0.34	-0.36	-0.38	-0.39	-0.40	-0.41	-0.41	-0.41	-0.41		
37.5	0.41	0.41	0.41	0.40	0.39	0.37	0.36	0.34	0.31	0.29	0.26	0.23	0.20	0.17	0.13	0.10	0.06	0.02	-0.01	-0.05	-0.09	-0.12	-0.16	-0.19	-0.22	-0.25	-0.28	-0.31	-0.33	-0.35	-0.37	-0.39	-0.40	-0.41	-0.42	-0.42	-0.42	-0.42	-0.42	
40.0	0.42	0.42	0.42	0.41	0.40	0.38	0.36	0.34	0.32	0.29	0.27	0.24	0.20	0.17	0.14	0.10	0.06	0.03	-0.01	-0.05	-0.09	-0.12	-0.16	-0.19	-0.22	-0.25	-0.28	-0.31	-0.33	-0.36	-0.38	-0.39	-0.41	-0.42	-0.42	-0.43	-0.43	-0.43	-0.43	
42.5	0.43	0.43	0.42	0.41	0.40	0.39	0.37	0.35	0.33	0.30	0.27	0.24	0.21	0.17	0.14	0.10	0.06	0.03	-0.01	-0.05	-0.09	-0.12	-0.16	-0.19	-0.23	-0.26	-0.29	-0.31	-0.34	-0.36	-0.38	-0.39	-0.41	-0.42	-0.43	-0.43	-0.43	-0.43	-0.43	
45.0	0.43	0.43	0.43	0.42	0.41	0.39	0.37	0.35	0.33	0.30	0.27	0.24	0.21	0.18	0.14	0.10	0.07	0.03	-0.01	-0.05	-0.09	-0.12	-0.16	-0.19	-0.23	-0.26	-0.29	-0.31	-0.34	-0.36	-0.38	-0.39	-0.41	-0.42	-0.43	-0.43	-0.43	-0.43	-0.43	
47.5	0.43	0.43	0.43	0.42	0.41	0.39	0.37	0.35	0.33	0.30	0.27	0.24	0.21	0.18	0.14	0.10	0.07	0.03	-0.01	-0.05	-0.08	-0.12	-0.16	-0.19	-0.22	-0.25	-0.28	-0.31	-0.33	-0.36	-0.37	-0.39	-0.40	-0.41	-0.42	-0.43	-0.43	-0.43	-0.43	
50.0	0.43	0.43	0.42	0.41	0.40	0.39	0.37	0.35	0.33	0.30	0.27	0.24	0.21	0.17	0.14	0.10	0.07	0.03	-0.01	-0.05	-0.08	-0.12	-0.15	-0.19	-0.22	-0.25	-0.28	-0.30	-0.33	-0.35	-0.37	-0.38	-0.40	-0.41	-0.42	-0.42	-0.42	-0.42	-0.42	
52.5	0.42	0.42	0.42	0.41	0.40	0.38	0.36	0.34	0.32	0.30	0.27	0.24	0.21	0.17	0.14	0.10	0.07	0.03	-0.01	-0.04	-0.08	-0.12	-0.15	-0.18	-0.21	-0.24	-0.27	-0.30	-0.32	-0.34	-0.36	-0.38	-0.39	-0.40	-0.41	-0.41	-0.41	-0.41	-0.41	
55.0	0.41	0.41	0.41	0.40	0.39	0.37	0.36	0.34	0.31	0.29	0.26	0.23	0.20	0.17	0.13	0.10	0.06	0.03	-0.01	-0.04	-0.08	-0.11	-0.15	-0.18	-0.21	-0.24	-0.26	-0.29	-0.31	-0.33	-0.35	-0.36	-0.38	-0.39	-0.39	-0.40	-0.40	-0.40	-0.40	
57.5	0.40	0.40	0.39	0.39	0.37	0.36	0.34	0.33	0.30	0.28	0.25	0.22	0.19	0.16	0.13	0.10	0.06	0.03	-0.01	-0.04	-0.07	-0.11	-0.14	-0.17	-0.20	-0.23	-0.25	-0.28	-0.30	-0.32	-0.33	-0.35	-0.36	-0.37	-0.38	-0.38	-0.38	-0.38	-0.38	
60.0	0.38	0.38	0.38	0.37	0.36	0.35	0.33	0.31	0.29	0.27	0.24	0.22	0.19	0.16	0.13	0.09	0.06	0.03	-0.01	-0.04	-0.07	-0.10	-0.13	-0.16	-0.19	-0.22	-0.24	-0.26	-0.28	-0.30	-0.32	-0.33	-0.34	-0.35	-0.36	-0.36	-0.36	-0.36	-0.36	
62.5	0.36	0.36	0.36	0.35	0.34	0.33	0.31	0.30	0.28	0.25	0.23	0.20	0.18	0.15	0.12	0.09	0.06	0.03	0.00	-0.04	-0.07	-0.10	-0.12	-0.15	-0.18	-0.20	-0.23	-0.26	-0.28	-0.30	-0.32	-0.33	-0.34	-0.34	-0.34	-0.34	-0.34	-0.34	-0.34	
65.0	0.34	0.34	0.34	0.33	0.32	0.31	0.30	0.28	0.26	0.24	0.22	0.19	0.17	0.14	0.11	0.08	0.05	0.03	0.00	-0.03	-0.06	-0.09	-0.12	-0.14	-0.17	-0.19	-0.21	-0.23	-0.25	-0.26	-0.28	-0.29	-0.30	-0.31	-0.31	-0.32	-0.32	-0.32	-0.32	-0.32
67.5	0.32	0.32	0.31	0.31	0.30	0.29	0.27	0.26	0.24	0.22	0.20	0.18	0.15	0.13	0.10	0.08	0.05	0.02	0.00	-0.03	-0.06	-0.08	-0.11	-0.13	-0.15	-0.17	-0.19	-0.21	-0.23	-0.24	-0.25	-0.26	-0.27	-0.28	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	
70.0	0.29	0.29	0.29	0.28	0.27	0.26	0.25	0.24	0.22	0.20	0.18	0.16	0.14	0.12	0.10	0.07	0.05	0.02	0.00	-0.03	-0.05	-0.07	-0.10	-0.12	-0.14	-0.16	-0.17	-0.19	-0.20	-0.22	-0.23	-0.24	-0.25	-0.25	-0.26	-0.26	-0.26	-0.26	-0.26	
72.5	0.26	0.26	0.26	0.25	0.25	0.24	0.23	0.21	0.20	0.18	0.17	0.15	0.13	0.11	0.09	0.06	0.04	0.02	0.00	-0.02	-0.04	-0.07	-0.08	-0.10	-0.12	-0.14	-0.15	-0.17	-0.18	-0.19	-0.20	-0.21	-0.22	-0.22	-0.23	-0.23	-0.23	-0.23	-0.23	
75.0	0.23	0.23	0.23	0.22	0.22	0.21	0.20	0.19	0.18	0.16	0.15	0.13	0.11	0.09	0.08	0.06	0.04	0.02	0.00	-0.02	-0.04	-0.06	-0.07	-0.09	-0.11	-0.12	-0.13	-0.14	-0.16	-0.17	-0.18	-0.19	-0.19	-0.19	-0.20	-0.20	-0.20	-0.20	-0.20	
77.5	0.20	0.20	0.20	0.19	0.19	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.12	0.11	0.10	0.08	0.06	0.05	0.03	0.02	0.00	-0.02	-0.03	-0.05	-0.06	-0.08	-0.09	-0.10	-0.11	-0.12	-0.13	-0.14	-0.15	-0.15	-0.16	-0.16	-0.16	-0.16	-0.16	-0.16	-0.16	
80.0	0.17	0.17	0.16	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.05	0.04	0.03	0.01	0.00	-0.01	-0.03	-0.04	-0.05	-0.06	-0.07	-0.08	-0														

Magnetic Mud – Azimuth Error 1.5% SFE

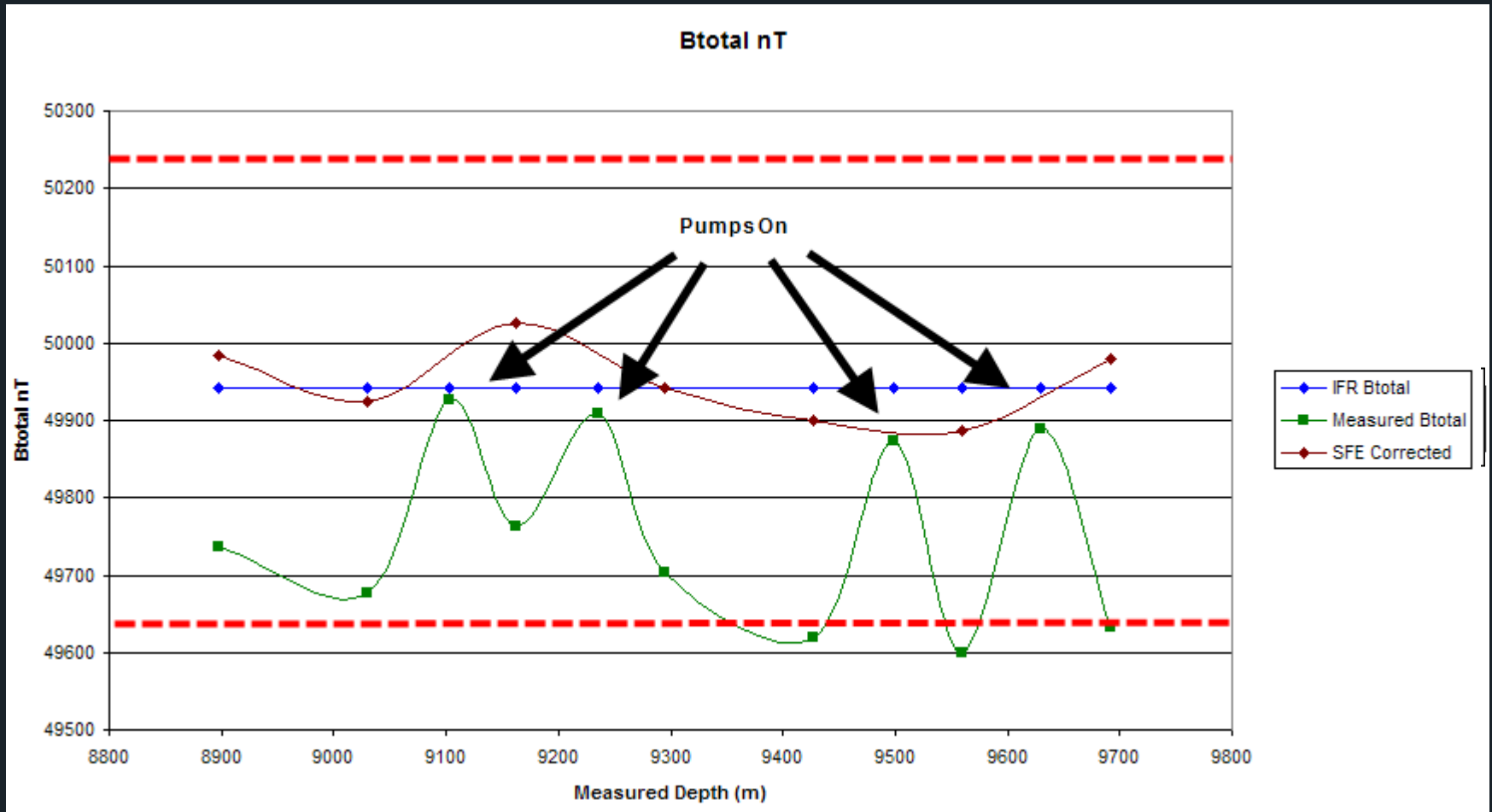
Low Latitude – Malaysia

		Azimuth																																									
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165	170	175	180					
Inclination	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
	2.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	5.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	7.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	10.0	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	12.5	0.00	0.00	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.01	-0.01	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	15.0	0.00	0.00	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.03	-0.03	-0.03	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.01	-0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00
	17.5	0.00	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.04	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.02	-0.02	-0.01	-0.01	0.00	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	
	20.0	0.00	-0.01	-0.02	-0.02	-0.03	-0.04	-0.04	-0.04	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.04	-0.04	-0.03	-0.02	-0.01	-0.01	0.00	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.02	0.01	0.00	0.00
	22.5	0.00	-0.01	-0.02	-0.03	-0.04	-0.05	-0.05	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.05	-0.05	-0.04	-0.03	-0.02	-0.01	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.02	0.01	0.00	0.00	
	25.0	0.00	-0.01	-0.03	-0.04	-0.05	-0.06	-0.06	-0.07	-0.07	-0.07	-0.07	-0.07	-0.06	-0.05	-0.04	-0.03	-0.02	-0.01	0.00	0.01	0.02	0.03	0.05	0.06	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	
	27.5	0.00	-0.02	-0.03	-0.04	-0.06	-0.07	-0.08	-0.08	-0.09	-0.09	-0.08	-0.08	-0.07	-0.06	-0.05	-0.04	-0.02	-0.01	0.00	0.01	0.02	0.04	0.05	0.07	0.08	0.09	0.09	0.10	0.10	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	
	30.0	0.00	-0.02	-0.04	-0.05	-0.07	-0.08	-0.09	-0.10	-0.10	-0.10	-0.10	-0.08	-0.08	-0.06	-0.05	-0.04	-0.02	-0.01	0.00	0.01	0.02	0.04	0.06	0.08	0.09	0.10	0.11	0.11	0.12	0.11	0.10	0.09	0.07	0.06	0.05	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	
	32.5	0.00	-0.02	-0.04	-0.06	-0.08	-0.09	-0.10	-0.11	-0.12	-0.12	-0.12	-0.11	-0.09	-0.07	-0.05	-0.03	-0.01	0.00	0.01	0.02	0.03	0.05	0.07	0.09	0.10	0.12	0.13	0.13	0.13	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.07	0.06	0.04	0.02	0.00	0.00		
	35.0	0.00	-0.02	-0.05	-0.07	-0.09	-0.11	-0.12	-0.13	-0.13	-0.14	-0.13	-0.13	-0.12	-0.10	-0.08	-0.06	-0.04	-0.02	0.01	0.03	0.06	0.08	0.10	0.12	0.13	0.14	0.15	0.15	0.15	0.14	0.13	0.11	0.10	0.07	0.05	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00		
	37.5	0.00	-0.03	-0.05	-0.08	-0.10	-0.12	-0.13	-0.15	-0.15	-0.15	-0.15	-0.14	-0.13	-0.11	-0.09	-0.07	-0.05	-0.02	0.01	0.04	0.07	0.09	0.11	0.13	0.15	0.16	0.17	0.17	0.17	0.16	0.14	0.13	0.11	0.08	0.06	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00		
	40.0	0.00	-0.03	-0.06	-0.09	-0.11	-0.13	-0.15	-0.16	-0.17	-0.17	-0.17	-0.16	-0.15	-0.13	-0.11	-0.08	-0.05	-0.02	0.01	0.04	0.07	0.10	0.13	0.15	0.16	0.18	0.18	0.19	0.18	0.17	0.16	0.14	0.12	0.09	0.06	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00		
	42.5	0.00	-0.03	-0.07	-0.10	-0.12	-0.15	-0.17	-0.18	-0.19	-0.19	-0.19	-0.18	-0.16	-0.14	-0.12	-0.09	-0.06	-0.02	0.01	0.04	0.08	0.11	0.14	0.16	0.18	0.20	0.20	0.21	0.20	0.19	0.18	0.16	0.13	0.10	0.07	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00		
	45.0	0.00	-0.04	-0.07	-0.11	-0.14	-0.16	-0.18	-0.20	-0.21	-0.21	-0.21	-0.20	-0.18	-0.16	-0.13	-0.10	-0.07	-0.03	0.01	0.05	0.09	0.13	0.16	0.19	0.21	0.23	0.24	0.24	0.24	0.23	0.21	0.18	0.15	0.12	0.08	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00		
	47.5	0.00	-0.04	-0.08	-0.12	-0.15	-0.18	-0.20	-0.22	-0.23	-0.23	-0.22	-0.21	-0.20	-0.17	-0.14	-0.11	-0.07	-0.03	0.01	0.05	0.09	0.13	0.16	0.19	0.21	0.23	0.24	0.24	0.24	0.23	0.21	0.18	0.15	0.12	0.08	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00		
50.0	0.00	-0.04	-0.09	-0.12	-0.16	-0.19	-0.22	-0.23	-0.24	-0.25	-0.24	-0.23	-0.21	-0.19	-0.15	-0.12	-0.08	-0.03	0.01	0.05	0.10	0.14	0.17	0.21	0.23	0.25	0.26	0.26	0.26	0.24	0.23	0.20	0.17	0.13	0.09	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00			
52.5	0.00	-0.05	-0.09	-0.13	-0.17	-0.20	-0.23	-0.25	-0.26	-0.27	-0.26	-0.25	-0.23	-0.20	-0.17	-0.13	-0.08	-0.04	0.01	0.06	0.10	0.15	0.19	0.22	0.25	0.27	0.28	0.28	0.28	0.26	0.24	0.21	0.18	0.14	0.09	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00			
55.0	0.00	-0.05	-0.10	-0.14	-0.18	-0.22	-0.25	-0.27	-0.28	-0.28	-0.28	-0.27	-0.24	-0.22	-0.18	-0.14	-0.09	-0.04	0.01	0.06	0.11	0.16	0.20	0.23	0.26	0.28	0.29	0.30	0.29	0.28	0.26	0.23	0.19	0.15	0.10	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00			
57.5	0.00	-0.05	-0.10	-0.15	-0.19	-0.23	-0.26	-0.28	-0.30	-0.30	-0.30	-0.28	-0.26	-0.23	-0.19	-0.15	-0.10	-0.04	0.01	0.06	0.12	0.16	0.21	0.25	0.28	0.30	0.31	0.32	0.31	0.29	0.27	0.24	0.20	0.16	0.11	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00			
60.0	0.00	-0.06	-0.11	-0.16	-0.21	-0.24	-0.28	-0.30	-0.31	-0.32	-0.31	-0.30	-0.27	-0.24	-0.20	-0.15	-0.10	-0.05	0.01	0.07	0.12	0.17	0.22	0.26	0.29	0.31	0.33	0.33	0.33	0.31	0.29	0.25	0.21	0.16	0.11	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00			
62.5	0.00	-0.06	-0.11	-0.17	-0.22	-0.26	-0.29	-0.32	-0.33	-0.34	-0.33	-0.31	-0.29	-0.25	-0.21	-0.16	-0.11	-0.05	0.01	0.07	0.13	0.18	0.23	0.27	0.30	0.33	0.34	0.35	0.34	0.32	0.30	0.26	0.22	0.17	0.12	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00			
65.0	0.00	-0.06	-0.12	-0.18	-0.23	-0.27	-0.30	-0.33	-0.35	-0.35	-0.35	-0.33	-0.30	-0.27	-0.22	-0.17	-0.11	-0.05	0.01	0.07	0.13	0.19	0.24	0.28	0.32	0.34	0.36	0.36	0.36	0.34	0.31	0.28	0.23	0.18	0.12	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00			
67.5	0.00	-0.06	-0.12	-0.18	-0.23	-0.28	-0.32	-0.34	-0.36	-0.36	-0.36	-0.34	-0.32	-0.28	-0.23	-0.18	-0.12	-0.06	0.01	0.07	0.13	0.19	0.25	0.29	0.33	0.35	0.37	0.38	0.37	0.35	0.32	0.29	0.24	0.19	0.13	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00			
70.0	0.00	-0.07	-0.13	-0.19	-0.24	-0.29	-0.33	-0.35	-0.37	-0.38	-0.37	-0.35	-0.33	-0.29	-0.24	-0.19	-0.13	-0.06	0.01	0.07	0.14	0.20	0.25	0.30	0.34	0.37	0.39	0.38	0.36	0.33	0.29	0.25	0.19	0.13	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
72.5	0.00	-0.07	-0.13	-0.19	-0.25	-0.30	-0.34	-0.37	-0.38	-0.39	-0.38	-0.37	-0.34	-0.30	-0.25	-0.19	-0.13	-0.06	0.01	0.07	0.14	0.20	0.26	0.31	0.35	0.38	0.39	0.40	0.39	0.37	0.34	0.30	0.25	0.20	0.13	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00			
75.0	0.00	-0.07	-0.14	-0.20	-0.26	-0.31	-0.35	-0.38	-0.39	-0.40	-0.39	-0.38	-0.35	-0.31	-0.26	-0.20	-0.13	-0.07	0.01	0.08	0.14	0.21	0.27	0.32	0.36	0.38	0.40	0.41	0.40	0.38	0.35	0.31	0.26	0.20	0.14	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00			
77.5	0.00	-0.07	-0.14	-0.20	-0.26	-0.31	-0.35	-0.38	-0.40	-0.4																																	

SFE Error example – Btotal – Pumps On vs. Pumps Off

■ Btotal QC +/- 300 nT

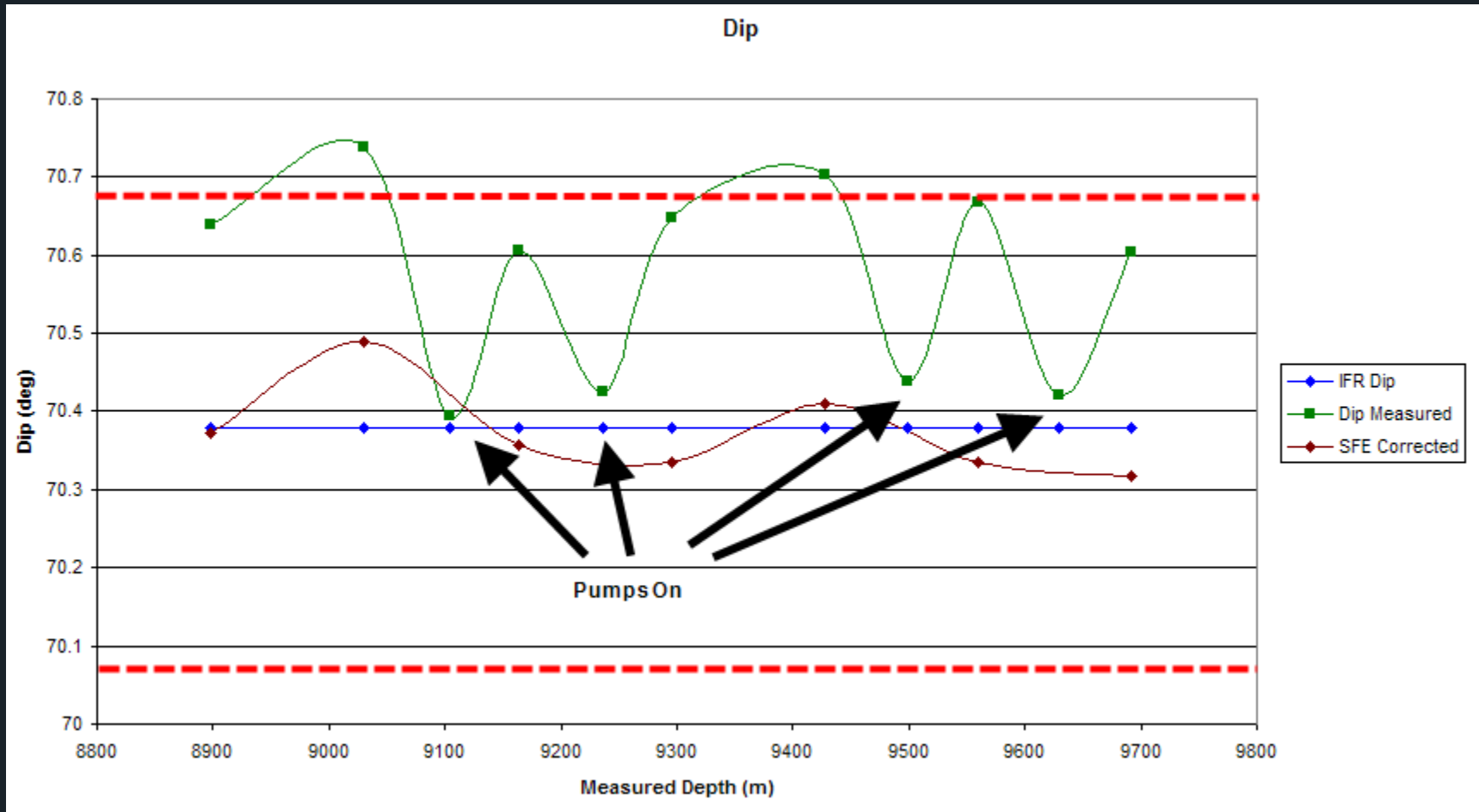
Mid Latitude – North Sea



SFE Error example – Dip – Pumps On vs. Pumps Off

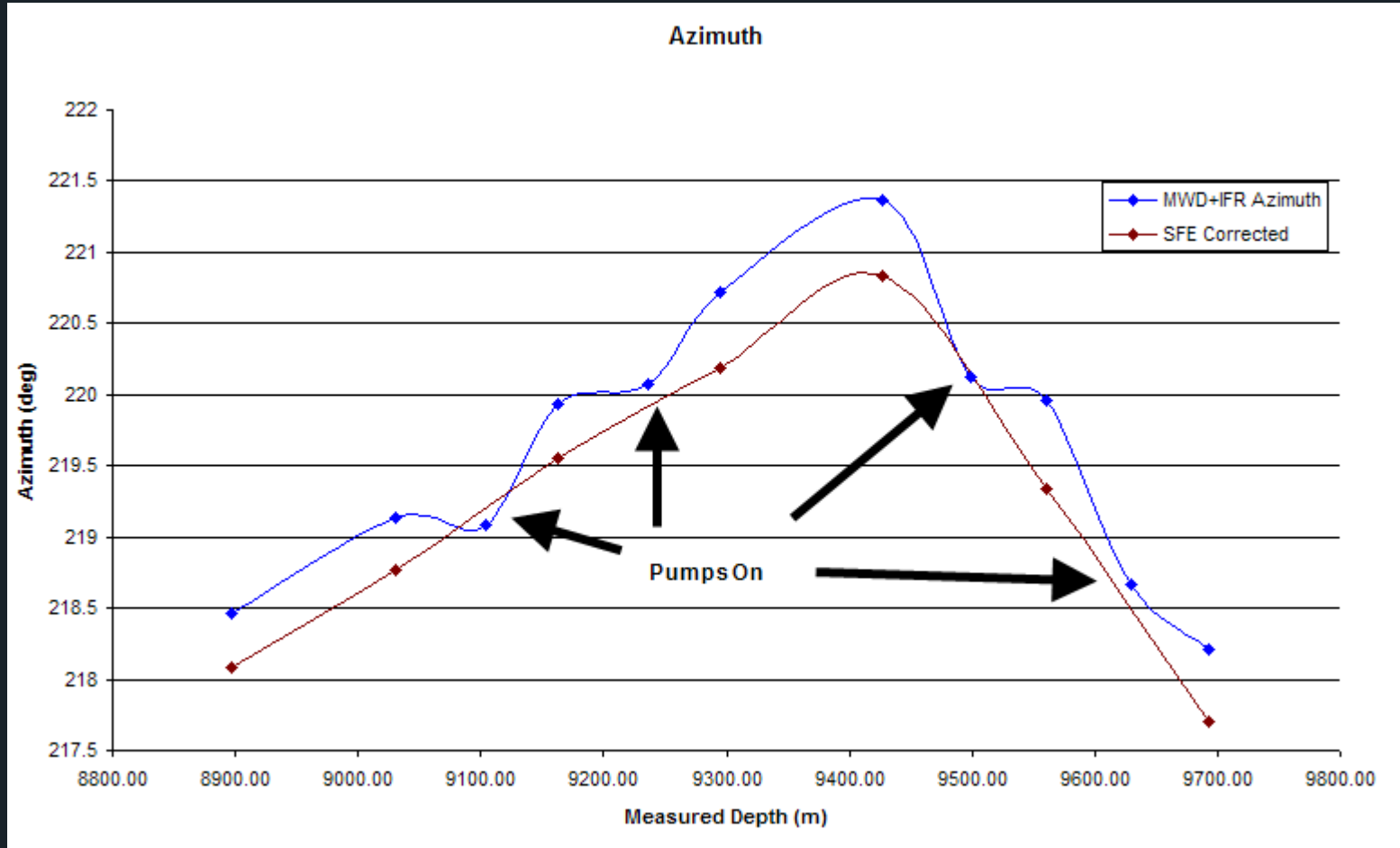
■ Dip QC +/- 0.30 deg

Mid Latitude – North Sea



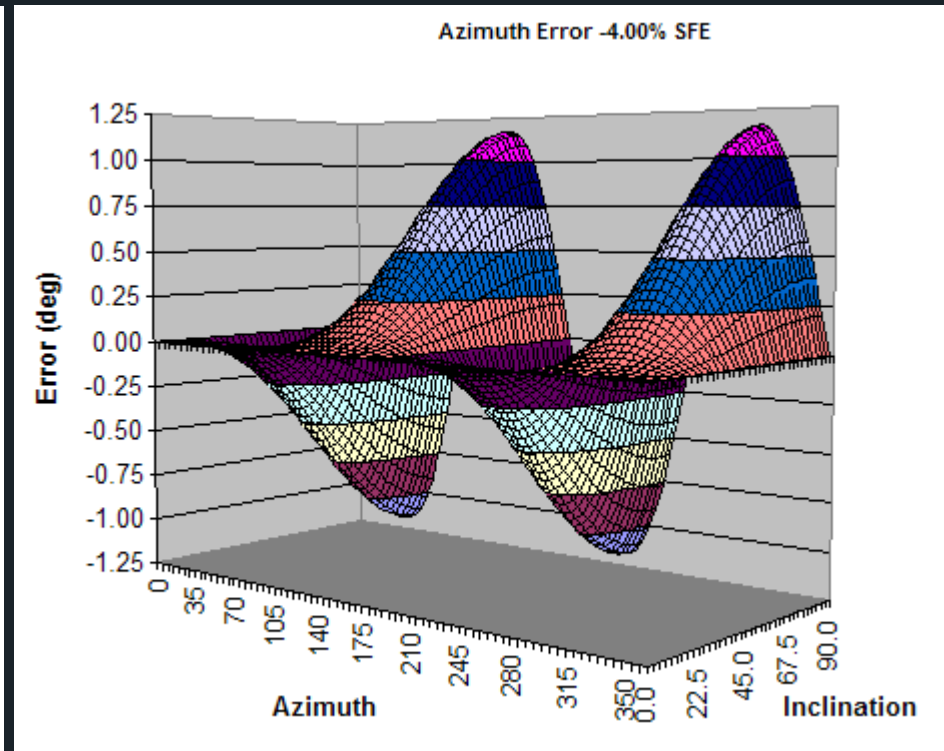
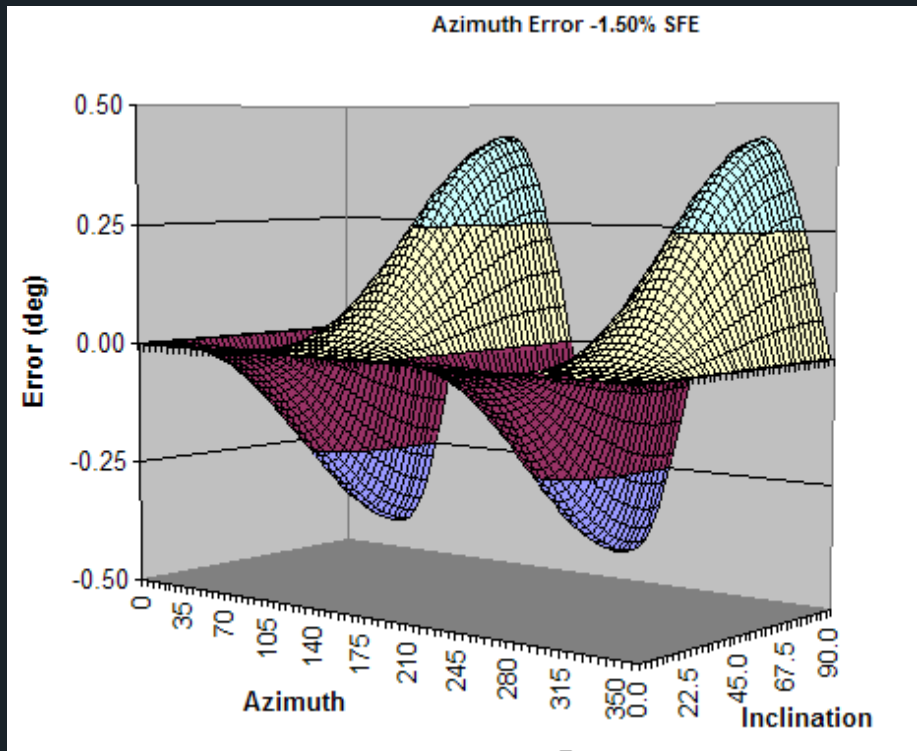
SFE Error example – Azimuth – Pumps On vs. Pumps Off

Mid-High Latitude – North Sea



Magnetic Mud – Azimuth -1.5% vs. -4.0% SFE

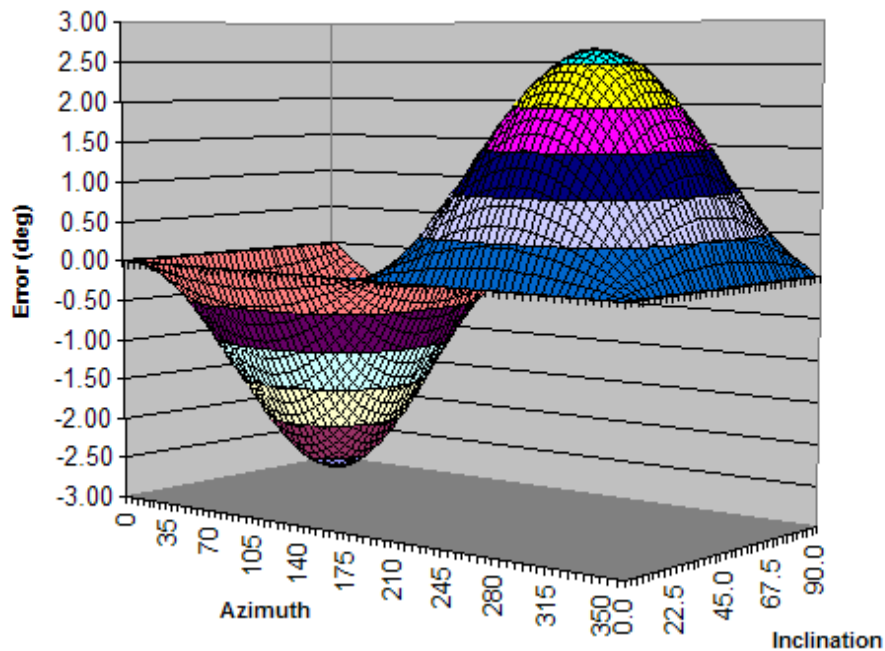
- Low Latitude – Malaysia



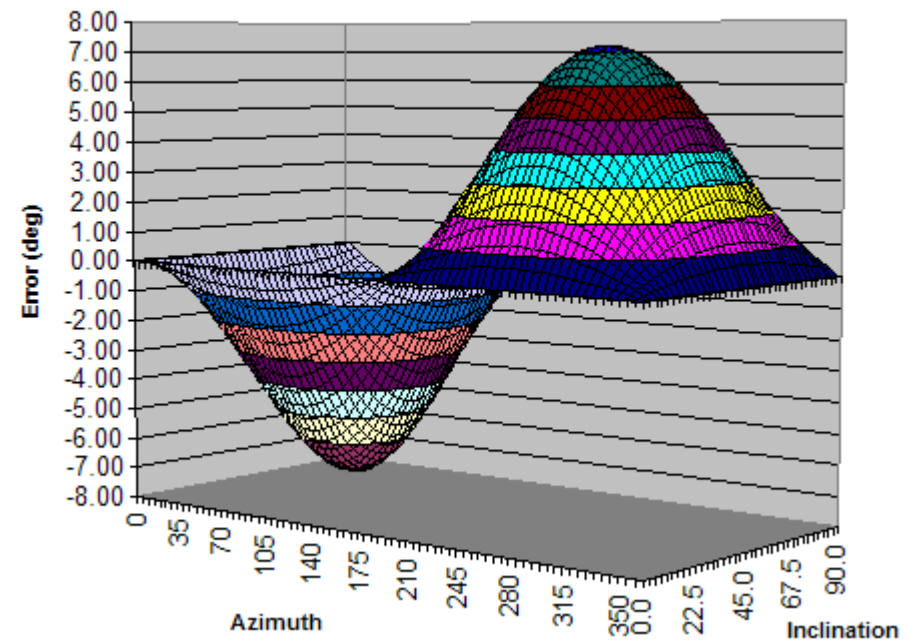
Magnetic Mud – Azimuth -1.5% vs. -4.0% SFE

- High Latitude – Alaska

Azimuth Error -1.50% SFE



Azimuth Error -4.00% SFE



Summary

- Pumps On surveys have shown to be helpful to identify magnetic mud
 - Sensitivity Analysis should be performed to help determine wellbore position error
 - Avoid unnecessary trips caused by directional survey QC failure
- Pumps On surveys can help confirm SFE correction performed with MSA
- Basic survey QC failure doesn't always represent significant azimuth error and vice versa

End