

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT

Prosjekt/rapportnr.: 20021418 Teknisk notat Dato: 2003-01-13

Utarbeidet av: Harald Iwe

Prosjekt/rapporttittel: Skredøk ved bruk av magnetometer

Antall tekstsider: 14 Antall fig. A4: 0

Antall fig./tegn. større enn A4: 0 = fig./tegn.nr.:

✓ AZ003046



Qrid: 1350539
Arkiv: NGI
Navn: 20021418
Geomatikk IKT

Til: **Statens vegvesen Hordaland, Odda veg- og trafikkstasjon**
v/: **Lars Øyre, distriktsleder**
Fra: Norges Geotekniske Institutt
Dato: 2003-01-13
Prosjekt: **20021418 Skred søk ved bruk av magnetometer**
Utarbeidet av: Harald Iwe *HI*
Kontrollert av: Harald Westerdahl *HW*

Tittel: **Skred søk ved bruk av magnetometer**

Innhold

1	SAMMENDRAG	2
2	INNLEDNING	2
3	TEORI	3
4	LÅN AV MAGNETOMETER	7
5	PRAKTISK FELTFORSØK MED BIL	7
6	LITTERATURSØK	11
7	KONKLUSJON	11
8	BILDER FRA FELTFORSØKET	12

Kontroll- og referanseside

1 SAMMENDRAG

En innledende teoretisk analyse viser at den beste metoden for å detektere begravde ferromagnetiske gjenstander er ved å bruke to magnetometre montert i en fast avstand og å bruke forskjellen i måleverdi (gradienten) som målevariabel. Snødekket påvirker ikke magnetfeltet i målbar grad.

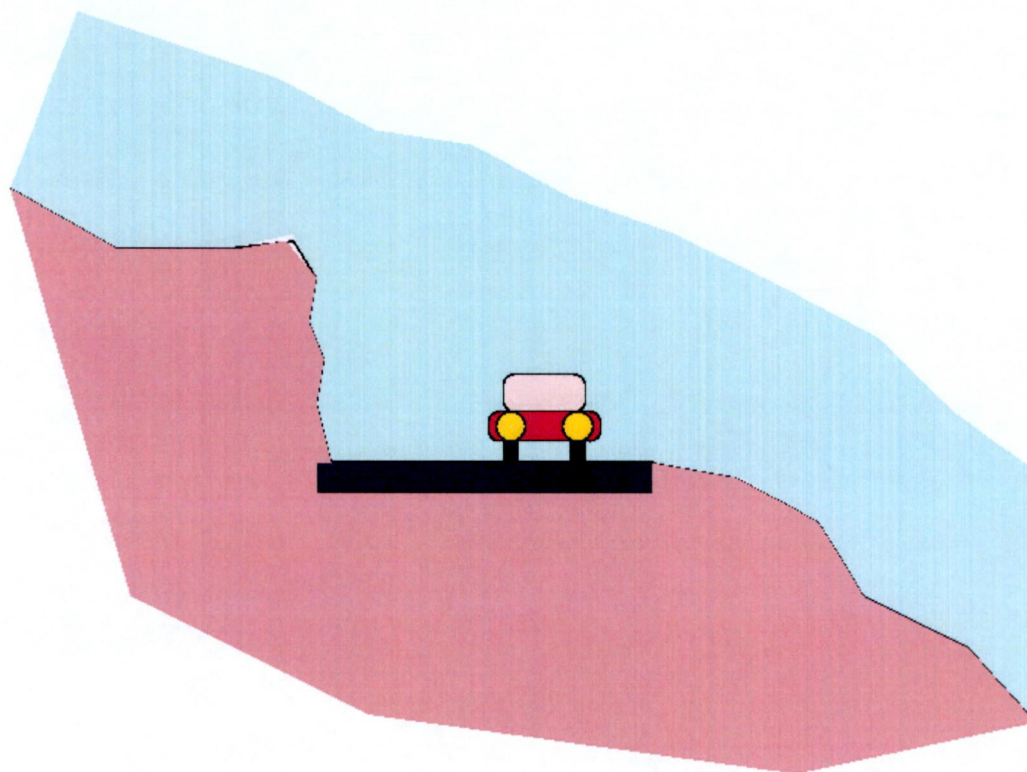
Praktiske forsøk med bil har vist at en kan forvente en deteksjonsavstand opp til 15 meter med denne metoden. Styrken i målesignalet er omvendt proporsjonal med avstanden i 4 grad. Ved mindre enn 5 meters avstand vil en derfor få helt sikker deteksjon.

Magnetometer kan utvikles til et praktisk måleinstrument som på en enkel måte kan anvendes til å finne biler begravd i skredsnø.

2 INNLEDNING

I forbindelse med snøskred som treffer og krysser en vei har vegvesenet uttrykt behov for påvisningsutstyr for kjøretøy som muligens ligger begravd i snømassene. Behovet kan være i forbindelse med en redningsaksjon hvis det er håp om å finne mennesker innesperret i et kjøretøy og/eller i forbindelse med rydding av snømassene fra en vei før veien kan gjenåpnes. Ved en redningsaksjon kan det være aktuelt å søke også i et område nedenfor veien hvis det er trolig at skredet har tatt med seg kjøretøy. Det har vært tilfeller hvor det har blitt vurdert for farlig å sende inn redningsmannskaper på grunn av fare for nye skred. I dette tilfellet har bruk av helikopter for å få brakt måleutstyr inn på snømassene vært diskutert som et alternativ. Figur 1 viser et tilfelle hvor det hadde vært nyttig med påvisningsutstyr som kan gjøre følgende:

1. Avgjøre om det *ikke* befinner seg noe kjøretøy i snømassene. Påliteligheten i den avgjørelsen må være høy på grunn av store konsekvenser ved å ta feil. Likevel må ikke mindre objekter gi utslag som kan oppfattes som en bil. (Lav sannsynlighet for falsk alarm).
2. Hvis det befinner seg et kjøretøy i snømassene, må posisjonen til dette i en viss grad kunne bestemmes.



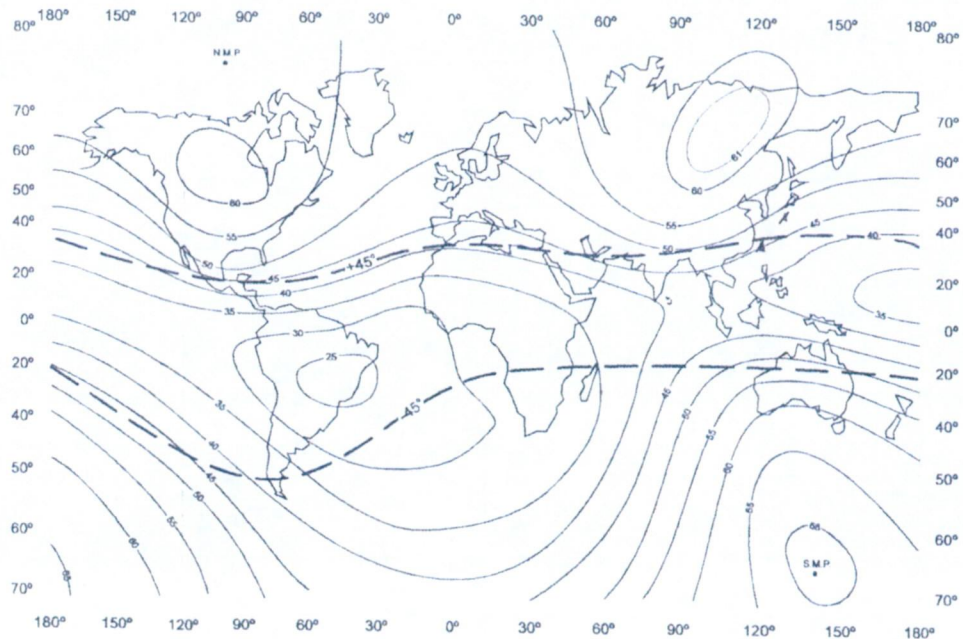
Figur 1: Kjøretøy begravd i snømasser etter et snøskred.

Dette tekniske notatet skal kort sammenfatte de resultater som hittil er oppnådd i prosjektets første fase.

1. Teoretiske beregninger av flukstetthet og følsomhet som funksjon av avstand og størrelse til en ferromagnetisk gjenstand.
2. Lån av magnetometer, tekniske spesifikasjoner.
3. Praktiske feltforsøk med bil og andre mindre ferromagnetiske metallgjenstander.
4. Litteratursøk etter tilsvarende anvendelser av magnetometer.

3 TEORI

Jordkloden er en stor magnet som skyldes elektriske strømmer i jordens indre. Figur 2 viser styrken til dette magnetfeltet forskjellige steder i verden. Magnetisk feltstyrke (egentlig magnetisk flukstetthet) måles i Tesla (Volt*sekund/m²). 1 Tesla er imidlertid en svært kraftig magnetisk fluks, så i praksis brukes mikro Tesla (μT) (en milliondels). I Figur 2 ser en at den magnetiske flukstettheten i Norge er rundt 50 μT . De stiplede linjene i Figur 2 viser hvor fluksretningen står 45 ° på horisontalplanet. Ved de magnetiske polene (N.M.P. og S.M.P.) er fluksretningen vertikal. I Norge står fluksretningen omlag 60 ° opp fra horisontalplanet og ved ekvator er fluksretningen tilnærmet horisontal.

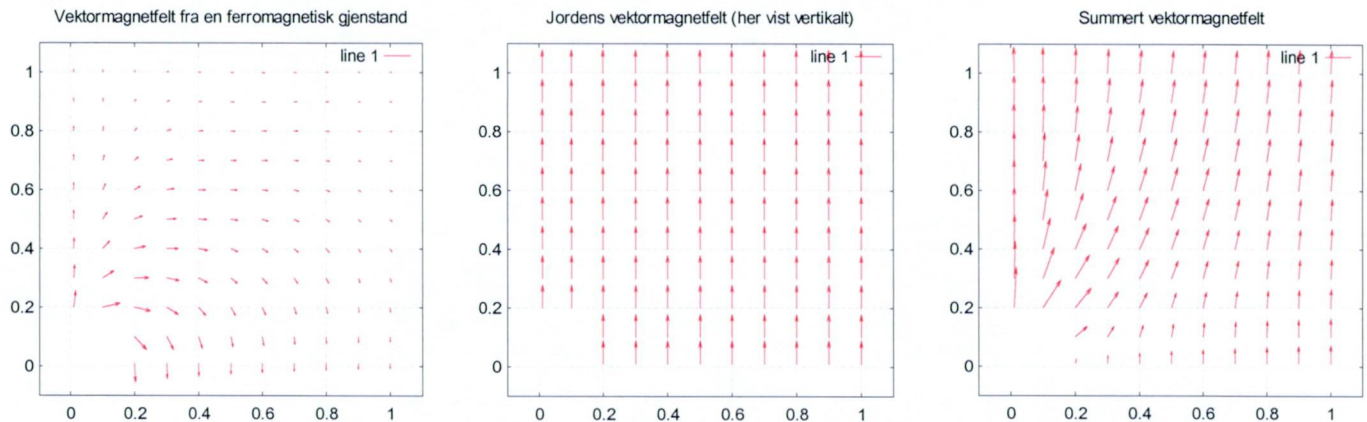


Figur 2: Styrken av jordens magnetfelt på jordens overflate. Mellom de stiplede linjene står magnetfeltet mindre enn 45° på horisontalplanet. NMP og SMP betegner henholdsvis "North Magnetic Pole" og "South Magnetic Pole".

Gjenstander som inneholder ferromagnetisk metall kjennetegnes ved at de blir magnetisert når de blir utsatt for en ytre magnetisk fluks. Ved liten ytre magnetfluks er magnetiseringen proporsjonal med styrken av den ytre påtrykte fluksen. Ved kraftig ytre magnetfluks vil magnetiseringen flate ut, det oppstår såkalt metning.

Jordens magnetiske flukstetthet er forholdsvis liten. Alle ferromagnetiske metaller på jorden blir derfor kun litt magnetisert. Magnetfeltet (flukstettheten) rundt en ferromagnetisk gjenstand blir (vektor) summen av jordens- og gjenstandens magnetfelt. Figur 3 viser magnetfeltet fra en magnetisert metallsylander (med vertikal akse), jordens magnetfelt alene (for enkelhetens skyld vertikalt), og sist vektorsummen av de to feltene. Bare en kvadrant er vist, de andre kvadrantene er hvv. like- og odde-symmetriske. Det er det tredje feltbildet kan måles rundt en ferromagnetisk gjenstand som er magnetisert av jordens magnetfelt, dvs. summen av jordens- og gjenstandens magnetfelt. Måles magnetfeltet i et område og det viser seg at styrken og/eller retningen er forandret i forhold til jordens eget magnetfelt, så skyldes dette en eller flere andre magnetiserte gjenstander i nærheten av målepunktet. Dette er grunnlaget for å finne biler og andre gjenstander av ferromagnetisk metall begravd i

snømasser. Ved å plote måledataene slik som i siste bilde i Figur 3 kan posisjonen til gjenstanden til en viss grad bestemmes.

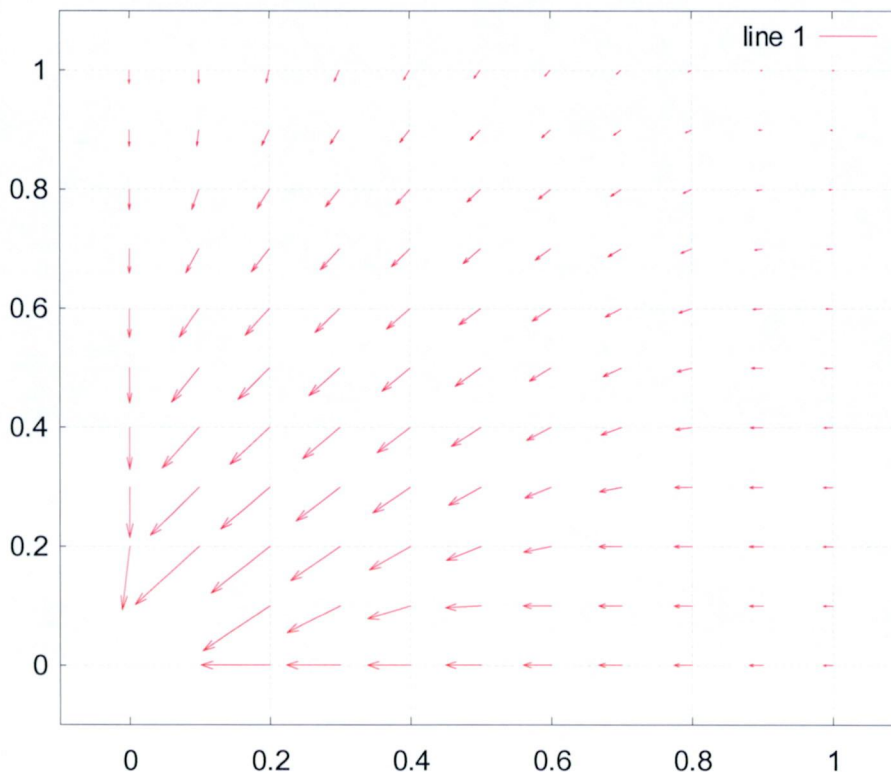


Figur 3: Første bilde viser magnetfeltet fra en ferromagnetisk gjenstand plassert i origo. Feltet veldig nær gjenstanden er ikke vist. Andre bilde viser jordens magnetfelt som et vertikalt felt. Siste bilde viser vektorsummen av de to feltene.

Et protonmagnetometer slik som brukt i dette prosjektet er svært følsomt, men det er ikke i stand til å bestemme fluksens retning, det vil bare angi styrken. I Figur 3 betyr dette at vektorpilenes pekeretning ikke kan bestemmes, bare styrken/lengden. På grunn av magnetotellurgisk støy er denne egenskapen ved protonmagnetometeret et problem. Jordens magnetfelt er ikke helt konstant, med en periode på om lag 3 sekunder varierer styrken med omlag en promille. Denne støyen er kraftigere enn den forandringen i jordens magnetfelt en ferromagnetisk gjenstand forårsaker på litt avstand. Løsningen er å bruke to protonmagnetometre montert i en fast avstand (i hver sin ende av en 0,6m lang stang). Ved å måle forskjellen i magnetfeltstyrke mellom de to magnetometrene vil den magnetotellurgiske støyen og alle andre magnetfelt som er konstant med hensyn til posisjon kanselleres. Kun hvis styrken i magnetfeltet er forskjellig i de to målepunktene, vil en få utslag.

Figur 4 viser forandringen (gradienten) i flukstetthets styrke rundt en sylinderformet magnetisert gjenstand. Hvis stangen med de to magnetometrene holdes parallelt med vektorpilene vil en få utslag. En lang/kraftig vektorpil indikerer et kraftig utslag. Hvis stangen holdes på tvers av vektorpilene vil det ikke bli noe utslag. I en praktisk målejobb kan det derfor være nødvendig å måle to eller tre ganger i samme posisjon med forskjellig orientering av stangen.

Gradienten av feltstyrken rundt en ferromagnetisk gjenstand



Figur 4: Gradienten eller romlig forandring av feltstyrken rundt en ferromagnetisk gjenstand plassert i origo. Gradientfeltet nær gjenstanden er ikke vist.

Maksimal praktisk deteksjonsavstand ved måling av gradienten til magnetfeltet (bruk av to magnetometere) er bestemt av:

1. Fysisk størrelse på den gjenstanden vi ønsker å finne.
2. Styrken av magnetiseringen til gjenstanden.
3. Avstanden til magnetometrene.
4. Følsomheten til magnetometrene.

Matematikken som beskriver feltligningene og som er nødvendig for en teoretisk beregning av maksimal deteksjonsavstand er gitt i vedlegg 1. Et viktig resultat fra disse beregningene er at styrken av den magnetiske flukstettheten er invers proporsjonal med avstanden til objektet (r) i 3 potens. Det medfører at gradienten (den romlige forandringen) er proporsjonal med avstanden r i 4 potens. Hvis gradienten i en avstand r_1 måles til en gitt verdi, så vil gradienten

ved halve avstanden $r_1/2$ være 16 ganger sterkere. Den målte gradienten er derfor svært følsom overfor avstanden til den magnetiserte gjenstanden.

4 LÅN AV MAGNETOMETER

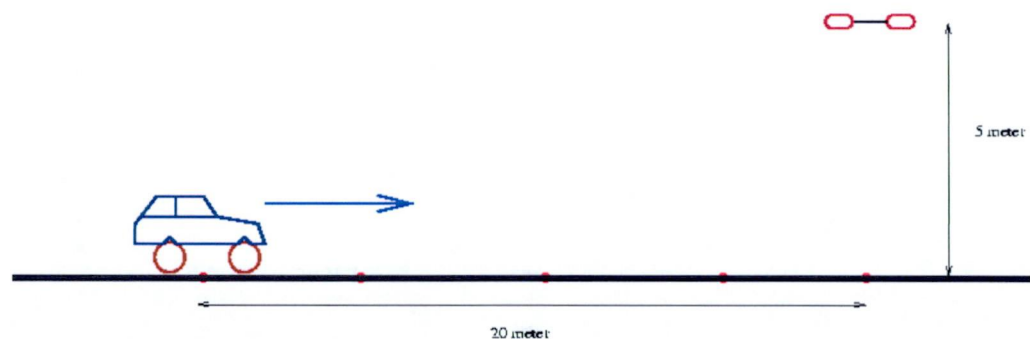
Vi har fått låne et magnetometer av Geomap AS. Det er egentlig to magnetometre som er tilknyttet en og samme konsoll, og som derfor er lagd for å måle gradienten av den magnetiske flukstettheten. Magnetometeret har typebetegnelsen "GEM Systems, GSM-19, overhauser magnetometer" (Canadisk).

De tekniske spesifikasjonen er kort gjengitt her:

Nøyaktighet	0.2 nT
Minste måleverdi	20 μ T
Største måleverdi	120 μ T
Måletid	3 sekunder
Sensordimensjon	170 mm lengde, 71 mm diameter
Sensorvekt	1,1 kg
Konsolldimensjon	223 x 69 x 240 mm
Konsollvekt	2.1 kg

Magnetometeret er noen år gammelt. Et nytt og moderne magnetometer er lettere og mindre. Nøyaktigheten er også bedre, men til vårt bruk har det lite å si med hensyn til deteksjonsavstand. Betjeningen er ikke helt enkel, og presentasjonen av måledata ganske dårlig. Her er det et betydelig forbedringspotensial.

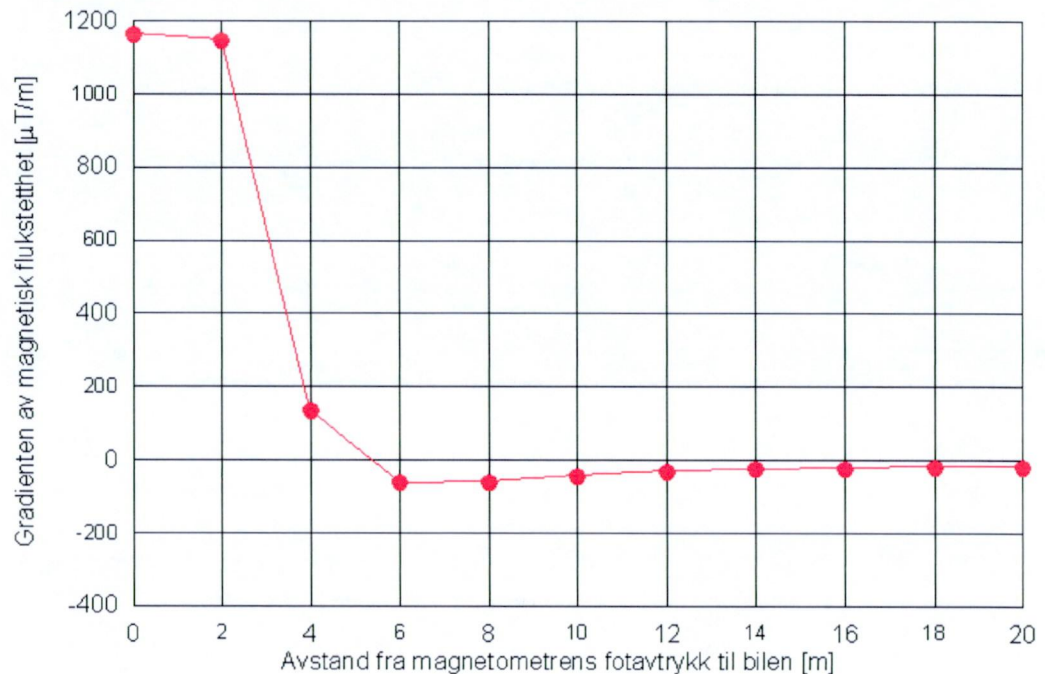
5 PRAKTISK FELTFORSØK MED BIL



Figur 5: Skjematisk oppsett for feltforsøk med bil.

De to magnetometrene ble festet i hver sin ende av en 60 cm lang stang og hengt opp 5 meter over bakken. Veien gikk tilnærmet i sør – nord retning. Bilen ble først plassert flere hundre meter borte for å måle bakgrunnsverdien.

Deretter ble bilen plassert 20 meter i horisontal avstand fra magnetometeret og i 2 meters steg flyttet nærmere. Det ble gjennomført to forsøk. I det første hang magnetometrene horisontalt slik som vist i sør-nord retningen. I det andre forsøket hang magnetometrene vertikalt. Hele forsøket ble gjennomført på en brøytet skogsbilvei uten trafikk og andre ferromagnetiske gjenstander i nærheten.



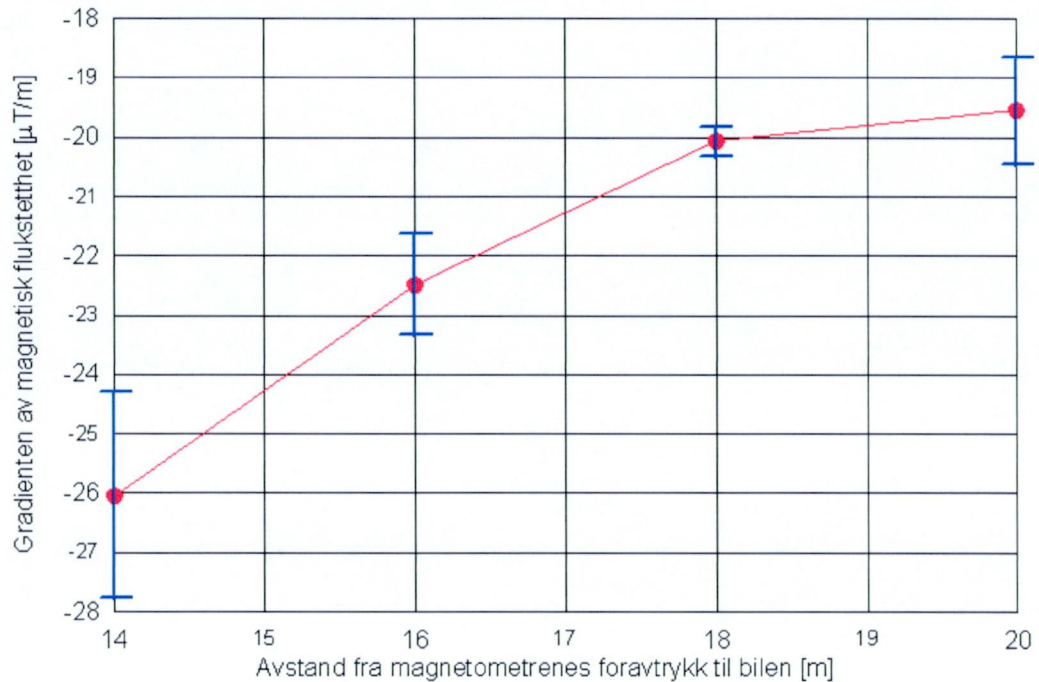
Figur 6: Horisontalgradient (sør-nord) (Forskjellen i måleverdi delt på avstanden mellom magnetometrene) av den magnetiske flukstettheten som funksjon av horisontal avstand fra magnetometrene og til bilen.

Figur 6 viser gradienten i sør-nord retningen i horisontalplanet. Forløpet der gradienten først går langsomt i negativ retning når bilen flyttes mot magnetometrene, og deretter får en stor positiv verdi når bilen kommer nærmere enn 5 meter, er helt som forventet. Skifte ved 5 meters avstand skyldes at den magnetiske flukstettheten i Norge står om lag 60° på horisontalplanet.

Det er vanskelig ut fra Figur 6 å bestemme maksimal deteksjonsavstand fordi måleverdiene for små avstander er så store at skalaen blir grov. Figur 7 viser derfor de samme måleverdiene, men bare for avstander mellom 14 og 20 meter. I denne figuren er standardavviket vist som usikkerhetsgrenser. Disse er beregnet ut fra omlag 10 målinger i hvert punkt.

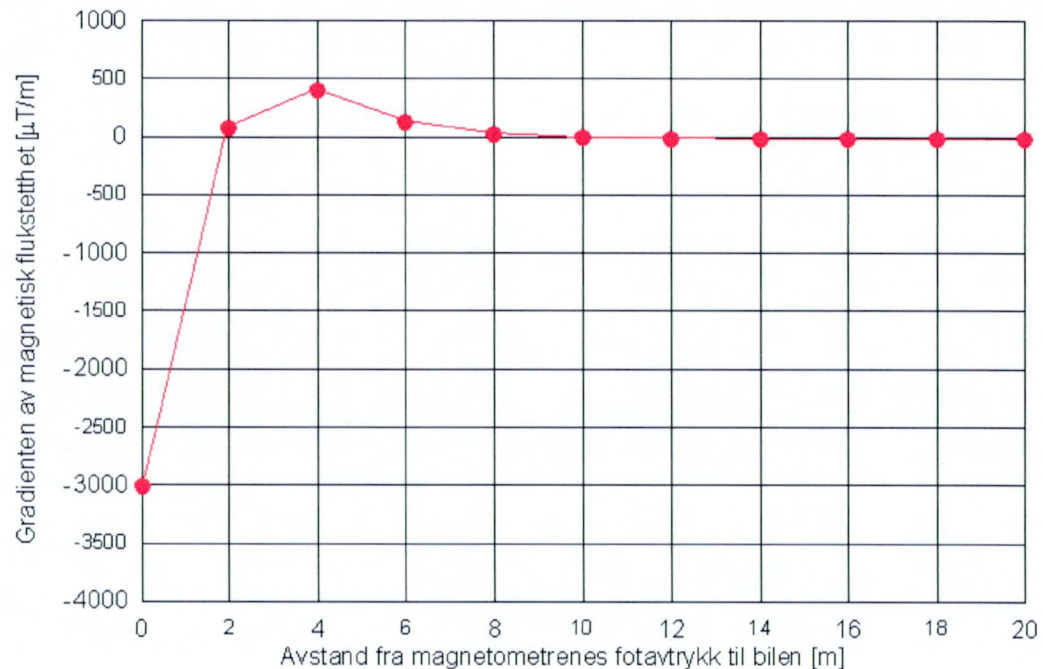
Når bilen var helt fjernet fra området ble gradient i sør-nord retningen i horisontalplanet målt til $-17 \mu\text{T/m}$ med et standardavvik på $1.3 \mu\text{T/m}$. I dette tilfellet er derfor bilen detekterbar med rimelig god sikkerhet helt opp til 20 meter.

I et praktisk søk etter en bil i et skred vil en i motsetning til hva som var tilfellet i dette forsøket, bevege magnetometeret og bilen vil være i ro. På grunn av svake, men målbare romlige variasjoner i magnetfeltet og dermed gradienten, så vil trolig maksimal deteksjonsavstand da være noen få meter mindre.

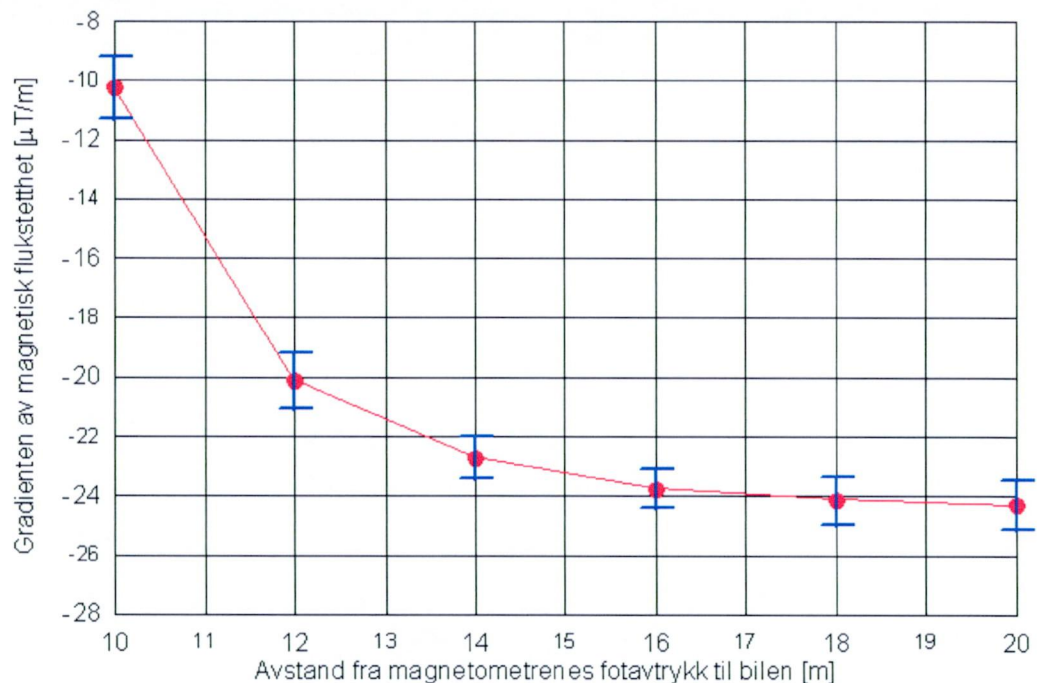


Figur 7: Horisontalgradient (sør-nord) for lange avstander mellom magnetometrene og bilen.

I det andre forsøket ble magnetometrene hengt vertikalt, ellers var forsøkene identiske. Figur 8 viser gradienten i vertikalretningen. Også dette forløpet er som forventet. Legg merke til den kraftige vertikale gradienten når bilen står rett under magnetometrene. På samme måte som for den horisontale sør-nord gradienten er det vanskelig å bestemme deteksjonsavstand fra Figur 8 på grunn av den grove oppløsningen på vertikalaksen. Figur 9 viser derfor de samme måleverdiene, men bare for avstander mellom 10 og 20 meter. Standardavviket er vist som usikkerhetsgrenser.



Figur 8: Vertikalgradienten (Forskjellen i måleverdi delt på avstanden mellom magnetometrene) av den magnetiske flukstettheten som funksjon av avstanden fra magnetometrene og bilen.



Figur 9: Vertikalgradienten for lange avstander mellom magnetometrene og bilen.

Når bilen var helt fjernet fra området ble vertikalgradient målt til $-24 \mu\text{T/m}$ med et standardavvik på $0.8 \mu\text{T/m}$. I dette tilfellet er derfor bilen detekterbar

med rimelig god sikkerhet først fra omlag 12 meter, det vil si betydeliger kortere enn for horisontalgradienten i sør-nord retningen. Med bakgrunn i Figur 4 er dette et forventet resultat (langt fra den magnetiserte gjenstanden i horisontalretningen er pilene tilnærmet horisotale).

6 LITTERATURSØK

Vi har klart å finne 2 litteraturreferanser som diskuterer bruk av magnetometre for søk i snømasser/snøskred. Begge disse har hovedfokus på å finne begravde mennesker, og begge konkluderer med at metoden er klart dårligere enn andre alternativer vesentlig på grunn av at et normalt snøskredoffer har lite ferromagnetiske metall på kroppen. Referanse 1 inneholder dog et avsnitt hvor lokalisering av begravde biler har blitt gjennomført med hell.

1. Previous Experience in the Practice of Avalanche Rescue. M. Schild. 1977. Protection - Location – Rescue Avalanches, Fondation Internazionale Vanni Eigenmann.
2. Zum Problem des Auffindens von Lawinenverschütteten. Mitteilungen des Eidg. Institues für Schnee- und Lawinenforschung. 1964. Nr. 20. Symposium über dringliche Massnahmen zur Rettung von Lawinenverschütteten mit besonderer Berücksichtigung der wissenschaftlich-technischen Hilfsmittel.

7 KONKLUSJON

Praktiske forsøk med bil har vist at ved å måle gradienten (forskjellen mellom to magnetometre i en fast liten avstand) av den magnetiske flukstettheten, så kan de forstyrrelsene i jordens magnetfelt som blir indusert av en bil detekteres på omlag 15 meters avstand. Snø (eller fravær av snø) har tilnærmet ingen innvirkning på måleresultatene. Deteksjonsavstanden i praksis vil variere noe på grunn av størrelsen på bilen og geometrien mellom bilen, måleposisjonene til magnetometrene og nord-sør retningen.

Måleverdiene er omvendt proporsjonal med avstanden i 4 grad. Det innebærer at hvis avstanden halveres, så vil måleverdiene bli 16 ganger så store. På kort avstand (mindre enn 5 meter) vil en derfor få helt sikker deteksjon.

Måling med magnetometer er en liten retningsfølsom påvisningsmetode. Mindre ferromagnetiske gjenstander i kort avstand kan godt kamuflere større gjenstander lengere unna. For å kunne bestemme posisjonen til en eller flere gjenstander med rimelig godt sikkerhet kreves systematisk måling av hele det aktuelle området.

For at magnetometermålinger skal kunne brukes effektivt av personer med lite kunnskap om magnetfysikk, kreves et mye enklere og mer intuitivt brukergrensesnitt enn det som var på utstyret brukt under dette arbeidet.

8 BILDER FRA FELFORSØKET



Figur 10: Bilen med magnetometrene hengende i en snor over veien og avstandsstokker fra magnetometrene.



Figur 11: Magnetometrene ble plassert 5 m over vegbanen.

Kontroll- og referanseside/ Review and reference page



Oppdragsgiver/Client Lars Øyre	Dokument nr/Document No. 20021418
Kontraksreferanse/ Contract reference Hordaland Vegkontor	Dato/Date 2003-01-13
Dokumenttittel/Document title Skredsøk ved bruk av magnetometer	Distribusjon/Distribution <input type="checkbox"/> Fri/Unlimited <input checked="" type="checkbox"/> Begrenset/Limited <input type="checkbox"/> Ingen/None
Prosjektleder/Project Manager Ulrik Domaas Utarbeidet av/Prepared by Harald Iwe	
Emneord/Keywords magnetic surveying method	
Land, fylke/Country, County Kommune/Municipality Sted/Location Kartblad/Map UTM-koordinater/UTM-coordinates	Havområde/Offshore area Feltnavn/Field name Sted/Location Felt, blokknr./Field, Block No.

Kvalitetssikring i henhold til/Quality assurance according to NS-EN ISO9001							
Kon- trollert av/ Reviewed by	Kontrolltype/ Type of review	Dokument/Document		Revisjon 1/Revision 1		Revisjon 2/Revision 2	
		Kontrollert/Reviewed		Kontrollert/Reviewed		Kontrollert/Reviewed	
		Dato/Date	Sign.	Dato/Date	Sign.	Dato/Date	Sign.
HW	Helhetsvurdering/ General Evaluation *	28/1-03	HW				
	Språk/Style						
	Teknisk/Technical - Skjønn/Intelligence - Total/Extensive - Tverrfaglig/ Interdisciplinary						
	Utforming/Layout						
HI	Slutt/Final	29/1-03	HI				
JGS	Kopiering/Copy quality	30/1-03	JGS				

* Gjennomlesning av hele rapporten og skjønnsmessig vurdering av innhold og presentasjonsform/
On the basis of an overall evaluation of the report, its technical content and form of presentation

Dokument godkjent for utsendelse/ Document approved for release	Dato/Date 29.01.03	Sign. Ulrik Domaas
----------------------------------------------------------------------------	------------------------------	------------------------------