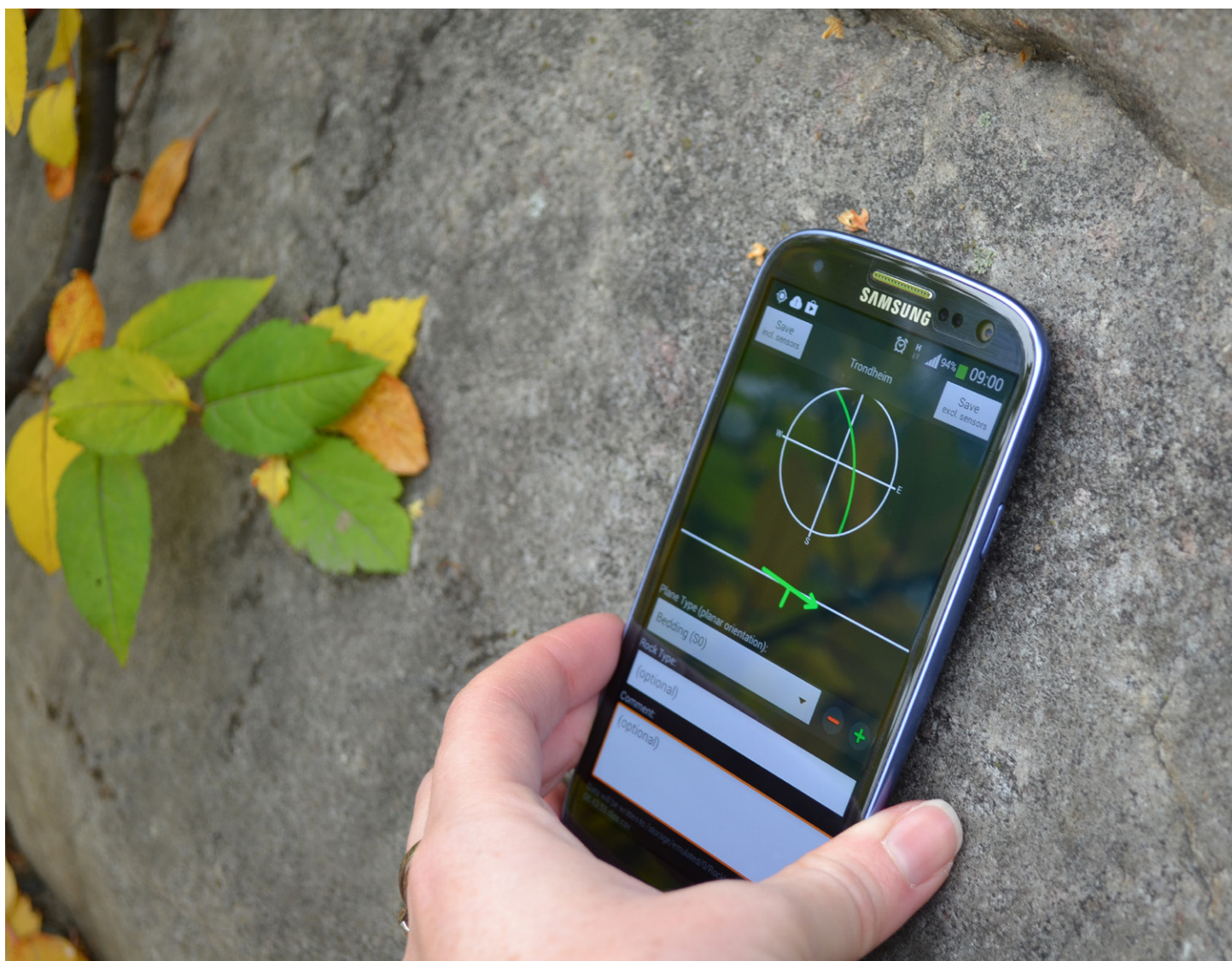


Digitale geologiske kompass

Nøyaktighet av strøk- og fallmålinger med smarttelefoner og nettbrett

STATENS VEGVESENS RAPPORTER

Nr. 322



Tittel

Digitale geologiske kompass

Undertittel

Nøyaktighet av strøk- og fallmålinger med smarttelefoner og nettbrett

Forfatter

Mari Lie Arntsen

Avdeling

Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen

Seksjon

Tunnel og betong

Prosjektnummer

Rapportnummer

Nr. 322

Prosjektleder

Are Håvard Høyen

Godkjent av

Are Håvard Høyen

Emneord

Geologi, ingeniørgeologi, kompass, geologisk kartlegging

Sammendrag

Statens vegvesen ved Vegdirektoratets Tunnel- og betongseksjon ønsker å utvikle en egen geologisk kartleggings-applikasjon til bruk på smarttelefoner og nettbrett. Det er planlagt at applikasjonen skal inkludere blant annet et digitalt geologisk kompass for måling av strøk og fall.

På bakgrunn av dette er det gjort et arbeid høsten 2013 som ser på nøyaktigheten av strøk- og fallmålinger med digitale kompass. Denne rapporten presenterer resultater fra en rekke digitale og analoge strøk- og fallmålinger. Nøyaktigheten av målingene vurderes ut fra avviket mellom analog og digital måling. Målet med rapporten er å gi svar på om målingene er nøyaktige nok for vår bruk.

Title

Digital geological compasses

Subtitle

Accuracy of strike and dip measurements with smartphones and tablets.

Author

Mari Lie Arntsen

Department

Traffic Safety, Environment and Technology Department

Section

Tunnel and Materials Technology

Project number

Report number

No. 322

Project manager

Are Håvard Høyen

Approved by

Are Håvard Høyen

Key words

Engineering geology, compass, geological mapping

Summary

The Norwegian Public Roads Administration, department of Tunnel and Materials Technology are planning to develop an application for smartphones and tablets for geological mapping. The application should include a digital geological compass for strike and dip measurements.

To determine whether or not the digital measurements are sufficiently accurate for our use a small research project was carried out during the fall of 2013. The accuracy was assessed by comparing digital strike and dip measurements with analog measurements. This report presents the results from this work.

Digitale geologiske kompass: Nøyaktighet av strøk- og fallmålinger med smarttelefoner og nettbrett

Sammendrag

Statens vegvesen ønsker å utnytte data fra geologiske forundersøkelser for sine veg- og tunnelprosjekter på en bedre og mer effektiv måte. Derfor satses det nå på digital lagring og behandling av geologiske data. Som en del av dette ønsker Statens vegvesen ved Vegdirektoratets Tunnel- og betongseksjon å utvikle en egen geologisk kartleggingsapplikasjon til bruk på smarttelefoner og nettbrett. Det er planlagt at applikasjonen skal inkludere blant annet et digitalt geologisk kompass for måling av strøk og fall. Spørsmålet er om dagens smarttelefoner og nettbrett gir tilfredsstillende nøyaktige målinger for å benyttes som geologiske kompass i forbindelse med de geologiske forundersøkelsene for Statens vegvesens prosjekter.

For å undersøke dette ble strøk og fall målt på en plan overflate med en fast orientering i rommet på et ikke-magnetisk målestativ. Det ble gjennomført en rekke strøk og fallmålinger på stativet med både et vanlig analogt geologisk kompass, to smarttelefoner (iPhone 5 og Samsung Galaxy S3) og ett nettbrett (HTC Flyer). Applikasjonene som ble brukt var *Lambert* og *Strike and Dip* (iPhone 5), *Rocklogger* og *eGEO* (Samsung Galaxy S3 og HTC Flyer) samt *GeoClino* (Samsung Galaxy S3). Strøk og fall ble målt samtidig, med enheten liggende direkte på måleplata, både med og uten flymodus aktivert. I tillegg ble strøk målt mens enheten ble holdt horisontalt.

Nøyaktighet ble definert ut fra *avviket i forhold til det analoge kompasset*. Resultatene viste at det er store forskjeller i nøyaktighet mellom de ulike applikasjonene og telefonene/nettbrettet.

Flere av *fallmålingene* viste en *god nøyaktighet* mens *strøkmålingene* var generelt *lite nøyaktige*. Aktivering av flymodus har vist seg å ha negativ effekt på nøyaktigheten. Å måle med telefonen liggende horisontalt forbedret nøyaktigheten av strøkmålingene.

Det synes fornuftig å jobbe videre med en applikasjon hvor strøket og fallet måles i to omganger, som med analoge geologiske kompass. Det må imidlertid utføres flere undersøkelser av nøyaktigheten av horisontale strøkmålinger.

Innhold

Sammendrag	1
1 Bakgrunn: Utvikling av programvare for kartlegging av geologi.....	1
2 Innledning	2
2.1 Oppbygging av rapporten.....	2
2.2 Måling av strøk og fall	2
2.2.1 Strøk- og fallmålinger med analoge geologiske kompass.	2
2.2.2 Smarttelefoner og nettbrett som geologiske kompass.....	3
2.3 Formål og omfang	5
3 Krav til nøyaktighet.....	7
3.1 Nøyaktighetskrav til fallmålinger	7
3.2 Nøyaktighetskrav til strøkmålinger	8
4 Tidligere arbeid	10
5 Metode	11
5.1 Målestativ	12
5.2 Kompass, telefoner og nettbrett	13
5.3 Programvare	14
5.4 Kalibrering.....	18
5.5 Målelokalitet	18
6 Resultater	20
6.1 Resultater fra målemetode I: Ett-stegs måling av strøk og fall på stativ	20
6.2 Resultater fra målemetode II: Horisontale strøk-målinger på stativ	23
6.3 Resultater fra målemetode III: Ett-stegsmåling i flymodus.....	26
6.4 Resultater fra målemetode IV: Målinger på skjæring.....	28
7 Diskusjon	30
7.1 Varierende resultater	30

7.2	Ett-stegs måling av strøk og fall.....	31
7.3	Måling på skjæring	32
7.4	Forsøk på å øke nøyaktigheten til strøk- og fallmålinger: aktivering av flymodus .	33
7.5	Forsøk på å øke nøyaktigheten til strøkmålinger: horisontale målinger	33
7.6	Selvindusert magnetisk påvirkning og kalibrering	36
7.7	Erfaringer fra litteraturen.....	36
8	Konklusjoner	38
9	Videre arbeid	39
	Rerferanser	40

1 Bakgrunn: Utvikling av programvare for kartlegging av geologi

Statens vegvesen ønsker å utnytte data fra geologiske forundersøkelser for sine veg- og tunnel-prosjekter på en bedre og mer effektiv måte. Derfor satses det nå på digital lagring og behandling av geologiske data. Som en del av dette ønsker Statens vegvesen ved Vegdirektoratets Tunnel- og betongseksjon å utvikle en egen geologisk kartleggings-applikasjon til bruk på smarttelefoner og nettbrett. Det er planlagt at applikasjonen skal inkludere blant annet et digitalt geologisk kompass for måling av strøk og fall. Applikasjonen vil i første omgang utvikles for Android. Bruksområdene for programmet vil typisk være prosjektering av vei og tunnel.

Det er derfor ønskelig å utrede muligheten for å la digitale enheter som nettbrett og smarttelefoner ta over for analoge kompass i tursekken til Statens vegvesens geologer. Spørsmålet er om de digitale geologiske kompassene er nøyaktige nok til vår bruk.

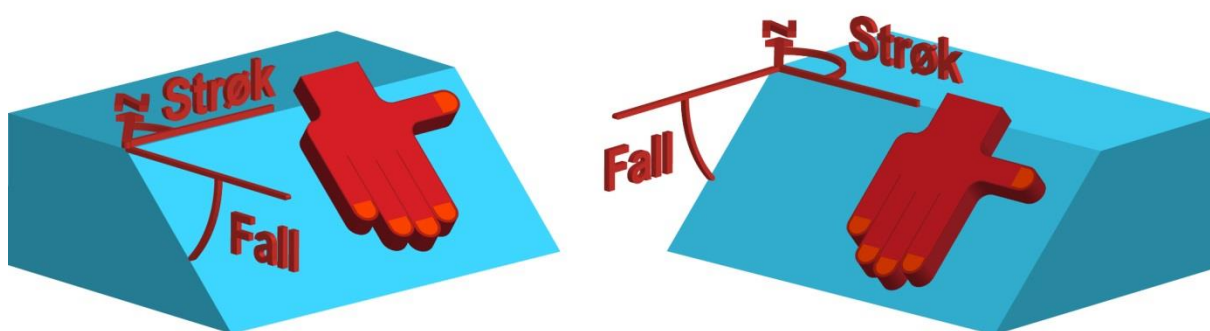
Lignende applikasjoner finnes allerede på markedet. Noen av disse danner gjennom dette arbeidet grunnlaget for en innledende vurdering av de digitale målingenes nøyaktighet.

Feltmålingene ble gjennomført høsten 2013. Rapporten ble i hovedsak utarbeidet vinteren 2013/2014, men ferdigstilt høsten 2014.

2 Innledning

En viktig del av geologisk kartlegging er å registrere planstrukturer som sprekkers og svakhetssoners orientering gjennom målinger av strøk og fall. Strøket angir planets retning i forhold til nord, mens fallet angir hvor mye planet heller. Dette er illustrert i figur 1.

Strøk- og fall-målinger gjøres tradisjonelt ved bruk av et analogt geologisk kompass. Vegdirektoratet ønsker som beskrevet over å gå over til digital måling av strøk og fall med smarttelefoner og nettbrett. Spørsmålet er om dette kan være et nøyaktig alternativ til de tradisjonelle kompassene.



Figur 1: Strøk og fall etter høyrehåndsregelen brukt i Statens Vegvesen. Strøk/fall på disse figurene er til venstre 45/45 og til høyre 135/45. Illustrasjon fra Statens vegvesen rapport nr. 193.

2.1 Oppbygging av rapporten

Etter en innledende presentasjon av noen av fordelene og ulempene med analoge og digitale kompass, blir kravet til nøyaktighet diskutert i avsnitt 3. Det lille som er funnet av erfaringer i litteraturen på lignende problemstillinger er oppsummert i avsnitt 4. I avsnitt 5 blir utstyr og metode for arbeidet beskrevet. Resultatene er presentert i avsnitt 6, etterfulgt av diskusjon, konklusjon og forslag til videre arbeid i avsnitt 7, 8 og 9.

2.2 Måling av strøk og fall

Måling av strøk og fall gjøres i dag med et analogt geologisk kompass. Dette er i praksis ofte et vanlig turkompass som også har et innebygd klinometer. For digitale målinger av strøk og fall kan en bruke smarttelefoner og nettbrett med magnetometre og akselerometre.

De to metodene har begge sine fordeler og ulemper, som vi skal se nærmere på i de to følgende avsnittene.

2.2.1 Strøk- og fallmålinger med analoge geologiske kompass.

Måling av strøk og fall med et analogt kompass gjøres som regel i to adskilte operasjoner: Først måles strøket ved å holde kompasshuset horisontalt langs planstrukturen mens

graderskiva stilles inn etter nord og strøkretningen leses av. En påmontert libelle kan hjelpe brukeren å holde kompasset horisontalt. Deretter må skiva stilles på nytt før fallet måles og avleses på klinometeret. Målingene gjøres altså hver for seg og krever som regel bruk av to hender for å holde kompasshuset.

Mindre avanserte analoge kompass gir dessuten ikke mulighet for å låse avlesningen av fall, slik at dette må leses direkte av kompasset mens målingen pågår. Ved vanskelig tilgjengelige strukturer kan derfor målinger med analoge kompass være problematisk og gi unøyaktige avlesninger. Resultatet leses av og noteres manuelt og dette er nok en usikkerhet og ulempe med de analoge kompassene.

De lavteknologiske analoge kompassene er derimot solide, rimelige og enkle å bruke. Noen av de viktigste fordelene (+) og ulempene (-) med analoge geologiske kompass er:

- + Forholdsvis robust utstyr, tåler regn og noe skitt
- + Lav brukerterskel og allerede kjent for geologer
- + Billige
- + Liten fare for feil på utstyr
- To-stegsmåling av strøk og fall
- Unøyaktig avlesning ved vanskelig tilgjengelige sprekkeflater
- Målingen må noteres ned manuelt
- Fare for brukerfeil (feil avlesning eller målefeil)
- To-stegs måling av strøk og fall gjør at hver måling tar forholdsvis lang tid
- Må kalibreres profesjonelt

De analoge kompassene er altså enkle og robuste, men registreringen av strøk og fall gjøres og noteres ned manuelt, noe som er tidkrevende og til dels unøyaktig.

2.2.2 Smarttelefoner og nettbrett som geologiske kompass

Smarttelefoner og nettbrett (heretter kalt *digitale enheter*) er utstyrt med magnetometre og akselerometre som gjør mulig å bruke disse som et geologisk kompass gjennom en programvare (applikasjon). Programvaren leser signalene fra sensorene som måler henholdsvis magnetfeltet og akselerasjonen i tre retninger. Ved vektorregning beregnes den totale akselerasjonen og orienteringen til det totale magnetfeltet i forhold til *magnetisk nord*. Ut fra dette bestemmes strøket og fallet. Dersom programmet har kjennskap til tid og lokalitet, kan den også korrigere for magnetisk deklinasjon og beregne seg fram til strøk i forhold til *geografisk nord*.

Mange digitale enheter har også gyroskop, men disse brukes til å bestemme vinkelhastighet, og benyttes *ikke* i geologiske kompass (Turner-Jones, 2012).

Særlig på eldre telefoner uten magnetometre, som for eksempel iPhone 3G, brukes GPS som retningsangiver. GPS kan *ikke* benyttes til å måle strøk og fall da GPS-kompass angir *bevegelsesretning* og ikke statisk orientering.

En stor fordel med digital registrering av strøk og fall vil være at dette forenkler måleoperasjonen: Ved bruk av analoge kompass, er måling av strøk og fall en to-steps operasjon. Med digitale enheter kan *både* strøk og fall måles i én operasjon ved at enheten legges direkte på måleflaten. En annen mulighet er å måle i to operasjoner som med et analogt kompass. Dette kan tenkes å gi mer nøyaktige målinger. Selv om en gjør de digitale målingene i to omganger vil dette være enklere enn de analoge målingene, siden den digitale enheten for det første lagrer målingene digitalt, men også fordi programvaren kan ha funksjonalitet for å ta inn eventuell feil i orienteringen (enheten holdes ikke helt korrekt i forhold til strøkretningen) i sine beregninger av strøk. I tillegg kan programvaren ha funksjonalitet for å hjelpe brukeren å holde enheten korrekt på en mer brukervennlig måte en libellen på det analoge kompasset.

Sammen med muligheten for digital lagring, gjør dette de digitale målingene svært effektivt i feltarbeidet. Dette er bare en av en rekke fordeler med å benytte slike digitale enheter som geologisk kompass:

- + Målingen kan gjøres mens enheten ligger direkte på måleflaten og krever altså ikke å holdes horisontalt, som beskrevet over.
- + Strøk og fall kan måles i én operasjon (et-stegsmåling)
- + Mulighet for å lagre målingene digitalt
- + Rask registrering gjør det mulig å ta mange målinger
- + Liten risiko for feil avlesning fra brukeren

I tillegg kommer alle mulighetene en har gjennom en kartleggingsapplikasjon, blant annet:

- + Georefererte målinger ved bruk av GPS
- + Korrigering for magnetisk deklinasjon (forskjellen mellom magnetisk og geografisk nord)
- + Knytte sammen registreringene med foto
- + Enkel eksport av måldata til datamaskin for effektiv og god utnyttelse av felldata
- + Mulighet for tolkning i form av stereonett o.l. direkte ute i felt.

Ulemper ved bruk av slike digitale enheter er blant annet:

- Lite robust utstyr; tåler dårlig fukt, smuss og høye/lave temperaturer
- Krever strøm (batteri)
- Sårbart for tap av data ved feil på utstyret
- Krever hyppig kalibrering

- Høyere brukerterskel med ukjent brukergrensesnitt på enhet og programvare
- Forholdsvis kostbart utstyr

I tillegg er det en mulig utfordring ved at de digitale enhetene selv produserer et magnetisk felt som potensielt kan forstyrre målingen. I tillegg vil målingene kunne være sårbare for skjelheter i de installerte sensorene dersom dette ikke tas tilstrekkelig hånd om av den installerte kompassapplikasjonen.

De viktigste fordelene og ulempene ved metoden er nok at metoden er effektiv og at målingene lagres digitalt, men at utstyret er mer sårbart ved ytre påkjenninger enn et analogt geologisk kompass. I tillegg kommer selvfølgelig spørsmålet om de digitale enhetene tilbyr tilfredsstillende målenøyaktighet.

2.3 Formål og omfang

Målet med dette arbeidet er å gi svar på akkurat dette: *Gir de digitale enhetene nøyaktige nok målinger av strøk og fall til å kunne erstatte det tradisjonelle geologiske kompasset i forbindelse med ingeniørgeologisk feltkartlegging ved planlegging av veg og tunnel for Statens vegvesen?*

Nøyaktighet er i denne sammenheng definert ut fra *avvik mellom måling med det analoge og det digitale kompasset*. (Dvs. jo nærmere 0 avviket er, jo mer nøyaktig er den aktuelle målingen.) Med andre ord er ikke dette en undersøkelse for å vurdere den *absolutte nøyaktigheten* av de ulike enhetene, men et arbeid på å undersøke om målinger gjort ved bruk av digitale enheter avviker vesentlig fra målinger gjort med et vanlig analogt kompass.

Det er her forsøkt å svare på dette ved å sammenligne strøk- og fallmålinger gjort med et utvalg mobile, digitale enheter med målinger fra et analogt geologisk kompass. Dersom de digitale enhetene viser seg å gi tilsvarende resultater som det tradisjonelle kompasset, tilsier dette at de kan benyttes av geologer ute i felt. Dersom det oppdages store avvik mellom kompass- og telefon/nettbrett-målingene bør det gjøres videre undersøkelser for å finne hvilken metode som er mest nøyaktig. Sånn sett kan dette arbeidet ses som et innledende arbeid for å kartlegge behovet for videre undersøkelser.

Vurderingen tar utgangspunkt i plane strukturer og arbeidet behandler ikke de generelle utfordringene med at geologiske strukturer sjeldent er plane over større områder. Brukervennlighet, stabilitet osv. av utstyret er ikke vurdert gjennom dette arbeidet. Til slutt er det ikke inkludert andre enheter for digitale kompass enn smarttelefoner og nettbrett. Det finnes for eksempel egne digitale geologiske kompass på markedet, for eksempel *GeoClino* fra det japanske firmaet *GSI – Geological System Integrator* (www.gsinet.co.jp/english/geocline/index.html), men dette er ikke en del av studien. (Dette

er forøvrig det samme firmaet som også har utviklet Android-applikasjonen GeoClino som er inkludert i dette arbeidet.)

Antallet digitale enheter brukt i arbeidet begrenser seg til to smarttelefoner og ett nettbrett med til sammen fem ulike applikasjoner. Se avsnitt 5.2 og 5.3 for videre beskrivelse av dette.

3 Krav til nøyaktighet

Som nevnt har dette arbeidet som mål å gi en anbefaling vedrørende bruk av digitale enheter til måling av strøk og fall av geologiske strukturer. I den forbindelse melder det seg umiddelbart et spørsmål om hva som regnes som *godt nok* for slikt bruk.

Hva som kan anses som godt nok vil i stor grad være avhengig av hva en kartlegger. I en detaljert strukturgeologisk kartlegging vil for eksempel høy grad av nøyaktighet være viktig. I en tidlig planfase for veg hvor en for eksempel ser på mulige tunneltraseer stilles ikke samme krav til nøyaktighet. Bruksområdene for den planlagte kartleggingsapplikasjonen vil typisk være prosjektering av vei og tunnel, hvor detaljeringsbehovet i de fleste tilfeller er moderate.

Som tidligere beskrevet, defineres her nøyaktighet ut fra avvik mellom digital strøk-/fallmåling og tilsvarende analog måling. Med andre ord defineres nøyaktigheten ut fra en måling som allerede har sin egen unøyaktighet. Nøyaktigheten til et analogt kompass vil derfor være en naturlig første avgrensning av hva som defineres som nøyaktig nok.

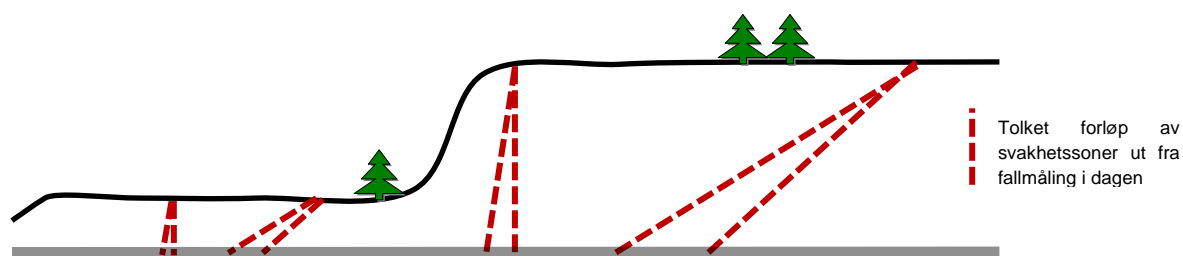
Derfor ble det gjort strøk- og fallmålinger med et analogt kompass på målestativet beskrevet i avsnitt 5.1. Det viste seg at strøket ikke viste noen variasjon på den plane flaten. Det ble gjort rundt 50 enkeltmålinger av fallet ved tre ulike fall. Ved antatt normalfordeling, har målingene et standardavvik på 0,7–0,8° for fallet (ref. tabell 1), og 0° for strøk.

Tabell 1: Gjennomsnitt og standardavvik for fallmålinger med analogt kompass på målestativ. Basert på ~50 målinger. Strøket viste ingen variasjon.

Fall på stativ	Gjennomsnittlig fall	Standardavvik
10°	10,1°	0,8°
40°	39,9°	0,8°
85°	84,8°	0,7°

3.1 Nøyaktighetskrav til fallmålinger

Hvor stor effekt en feil i fallregistreringen har, vil for plane strukturer i teorien avhenge av enkel trigonometri; hvor steil strukturen som måles er, og hvor dypt i grunnen du ønsker å tolke målingen. Om en som et eksempel ser for seg en svakhetszone i forbindelse med en tunnel, vil en slak sone i et område med stor overdekning være mye mer følsom ved små feiltolkninger av fall enn en steil sone ved lav overdekning. Effekten av feilmåling på 10° ved ulike overdekninger og fall er illustrert i skissen i figur 2. For alle de parvise sonene er forskjellen i fall 10°.



Figur 2: Effekt av 10° feil i fallmålinger for plane svakhetssoner (rød) over en tunnel (grå) ved stor og liten overdekning og steil og slak svakhetszone. Utslaget av feilen i forhold til treffpunkt i tunnelnivå blir større ved høyere overdekning og slakere soner.

Som en ser av figuren, påvirker overdekningen og fallet avviket mellom hvor de parvise sonene treffer tunnelen.

Spredningen og usikkerheten i målingene til det analoge kompasset ser derimot *ikke* ut til å avhenge av fallet (tabell 1). Dermed er det – ut fra den gitte definisjonen av nøyaktighet som avvik i forhold til det analoge kompasset, *ikke* hensiktsmessig å ha fallavhengig krav til nøyaktighet for de digitale kompassene.

Målingene med analogt kompass på måleplate hadde standardavvik på 0,8°. Med et signifikansnivå på 5 %, vil da kravet til nøyaktighet være at kun 5 % av de digitale målingene skal avvike med mer enn 1,6°.

Å sette en grense for de digitale kompassene på $\pm 2^\circ$ nøyaktighet for fall ved måling på målestativet virker derfor hensiktsmessig. Det vil her bety at 95 % av de digitale fallmålingene skal ligge innenfor området $\pm 2^\circ$ i forhold til det analoge kompasset for at måleserien skal kunne sies å ha tilstrekkelig målenøyaktighet. Dette kravet må være oppfylt for *alle fall* for at kombinasjonen applikasjon/digital enhet kan sies å være nøyaktig nok.

3.2 Nøyaktighetskrav til strøkmålinger

Ute i felt vil den erfarne geologen justere detaljeringsgraden av kartleggingen ut fra behovet. Så framtidig geologen måler strøket på strukturer nært området av interesse (for eksempel over en tunneltrasé), vil ikke feil i strøkretning ha store konsekvenser for *treffpunktet* til strukturen. For både veg- og tunnelbygging kan imidlertid retningen til sprekkesystemer og svakhetssoner være viktig for sikkerhet, framdrift og økonomi, og det er viktig å avgjøre hvorvidt disse strukturene treffer traseen i en spiss eller butt vinkel. Både i forbindelse med valg av veg- og tunneltrasé er det viktig å unngå løsninger hvor en får linjeparallele sprekker eller svakhetssoner inn i skjæringen eller tunnelen.

Resultatene fra målinger med det analoge kompasset på den flate måleplata viste som sagt ingen variasjon. Dersom dette blir lagt til grunn, vil det tilsi et krav på 0° i avvik for strøkmålingene. Målinger ute i felt på bergflater vil naturligvis vise en høyere spredning, noe som også er erfart i gjennom dette arbeidet. De analoge strøkmålingene på bergskjæring,

hadde et standardavvik på 3,8° ved antatt normalfordeling (se avsnitt 6.4). Ved et signifikansnivå på 5 %, vil da kravet til nøyaktighet være at kun 5 % av de digitale strøkmålingene skal avvike med mer enn 7,4°.

Siden kravet på 7,4° er gitt ut fra målinger på en ujevn overflate, bør kravet skjerpes noe for målinger på den plane måleflata som dette arbeidet bygger på. Flere geologer i Statens vegvesen som har blitt kontaktet i forbindelse med dette arbeidet har ment at en målenøyaktighet på $\pm 5^\circ$ bør være tilfredsstillende for strøkmålinger. Dette synes også fornuftig ut fra utformingen og målenøyaktigheten til analoge kompass.

Grensen til nøyaktighet for de digitale kompassene settes derfor til $\pm 5^\circ$. Det vil her bety at 95 % av de digitale strøkmålingene skal ligge innenfor området $\pm 5^\circ$ i forhold til det analoge kompasset for at måleserien skal kunne sies å ha tilstrekkelig målenøyaktighet. Dette kravet må være oppfylt for *alle fall* ved ett-stegsmåling for at kombinasjonen applikasjon/digital enhet kan sies å være nøyaktig nok.

4 Tidligere arbeid

Det er funnet noe erfaringer i litteraturen fra tilsvarende arbeid. Lee, Suh og Park (2013) ved Seoul National University undersøkte blant annet nøyaktigheten til det geologiske kompasset i en samlet vurdering av smarttelefonen som geologisk verktøy. Deres erfaringer bygger både på innendørsmålinger «*free from vibrations and magnetic interference*» samt 40 digitale og analoge målinger av styrk og fall over bakken og 50 målinger i en gruve. Resultatene var gode: Gjennomsnittlig absoluttavvik for utendørsmålingne var 2,63° og 1,70° for henholdsvis strøket og fallet. Maksimalt standardavvik for måleseiene innendørs var 3,004° for strøket og 0,122° for fallet.

To studenter ved Badung Institute of Technology har også gjort tilsvarende forsøk. Resultatene viste at avviket til fallmålingene generelt øker ved steilere fall (Kusumah og Rinaldi, 2012). Strøkmålingene viste svært gode resultater. Siden målingene er utført innendørs, skyldes dette sannsynligvis et sekundært magnetfelt sterkere enn jordas naturlige magnetfelt.

Forskere ved Graz University of Technology i Østerrike har jobbet med å utvikle et eget digitalt geologisk kompass. Dette var ikke en applikasjon til en smarttelefon eller nettbrett, men et eget digitalt geologisk kompass. Resultatene fra de innledende prøvemålingene med en prototyp var lovende, og viste at de digitale målingene av strøk og fall hadde en nøyaktighet innenfor 1° (Fobl, Brunner og Wieser, 2007).

5 Metode

Totalt ble det utført omtrent 3000 enkeltmålinger etter fire målemetoder. Følgende målinger ble gjort med de digitale kompassene på målestativet beskrevet i avsnitt 5.1:

Målemetode I: Dette er *ett-stegsmålinger* hvor strøk og fall måles i *én og samme operasjon*. Strøket ble holdt konstant for alle enkeltmålinger og måleserier. Én måleserie for tre ulike fall for hver applikasjon på hver digital enhet. Dette er vist i figur 3.

Målemetode II: Strøkmålinger gjort med den digitale enheten holdt *horisontalt* (på samme måte som et analogt kompass). Én måleserie for hver applikasjoner på hver digitale enhet. Fallet er ikke målt i denne målemetoden. Disse horisontale målingene er ikke gjort på nettbrettet fra HTC.

Målemetode III: Ekstra serie med ett-stegsmålinger av strøk og fall med flymodus aktivert på den digitale enheten. Målt ved kun ett fall. Strøk og fall måles samtidig i en operasjon.

I tillegg er det målt strøk og fall på en bergsprekk:

Målemetode IV: Én måleserie på en bergflate med det analoge kompasset samt én applikasjon på én digital enhet. Ett-stegsmåling med det digitale kompasset.

Det ble også målt strøk og fall med det analoge kompasset på målestativet. Resultatene fra dette er brukt til å definere nøyaktighetskravene til de digitale kompassene i avsnitt 3, samt som sammenligningsgrunnlag for nøyaktigheten.

Mellom hver måling ble den digitale enheten fjernet fra stativet og sveivet rundt i luften. Dette sørger både for kalibrering av kompasset og ligner mer på en normal feltsituasjon. For det analoge kompasset ble også kompasset løftet og kompasshuset rotert mellom hver måling. Under måling ble det passet på at fallpila på det analoge kompasset ikke hang seg opp.

For å sikre så få feilkilder som mulig, ble mulig påvirkbare metalliske ting som mobiltelefoner, nøkler, penner osv. oppbevart i flere meters avstand fra målestedet. Nærmeste bil var rundt 200 meter fra målestedet.



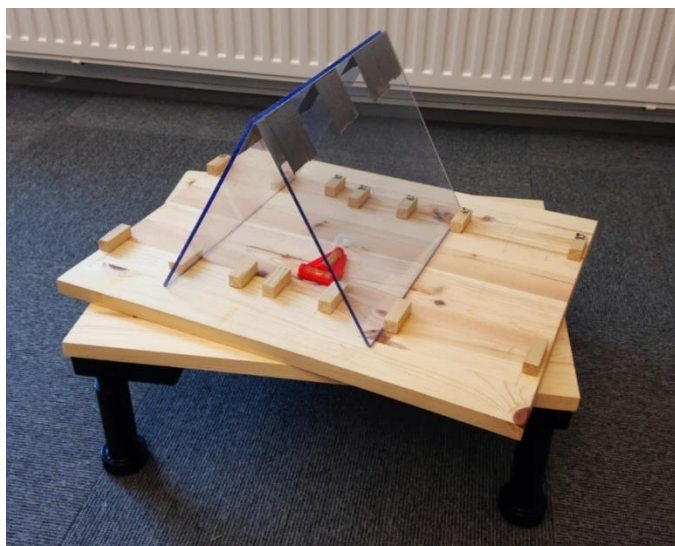
Figur 3: Samtidig måling av strøk og fall med smarttelefon.

5.1 Målestativ

Det ble bygget et enkelt stativ hvor strøk og fall kan måles på en plan overflate med en fast orientering i rommet. Ved å måle på et stativ i stedet for en naturlig bergflate får en fram den potensielle målenøyaktigheten i de digitale kompassene, ved at ujevnheten til berget ikke påvirker målingen.

Stativet er bygget i ikke-magnetiske, jernfrie materialer for å ikke påvirke målingene.

Stativet består av to treplater med måleplate av plexiglass som vist i figur 4. Måleplaten er plassert på den øverste treplata, som fritt kan dreies rundt en akse i horisontalplanet (0–360°) og kan stilles i ni forskjellige fallvinkler: 10°, 20°, 30°, 40°, 50°, 60°, 70°, 80° og 85°. Stativet har fire ben i hardplast som kan justeres i høyden uavhengig av hverandre. Dermed kan platen justeres så den er horisontalt selv på ujevnt underlag.



Figur 4: Målestativ med justerbare ben og roterbar plate.

På grunn av byggematerialenes egenskaper og enkle utførelse, er den potensielle usikkerheten i faktisk fallvinkel relativt stor, og anslått å ligge innenfor $\pm 2^\circ$. Dette vil ikke ha betydning for resultatene så lenge de digitale målerverdiene blir sammenlignet med målinger gjort med det analoge kompasset på stedet.

5.2 Kompass, telefoner og nettbrett

Kun Android- og Apples iOS-telefoner/nettbrett er vurdert siden disse er de to mest populære operativsystemene for digitale enheter på markedet i dag. Som nevnt vil den planlagte applikasjonen i første omgang utvikles for Android.

Følgende kompass og digitale enheter ble brukt for målingene:

- **Silva Expedition S** analogt kompass. Kontrollert opp mot Silva Ranger S. (www.silvanorge.no)
- **iPhone 5**: Sjette generasjons iPhone, lansert september 2012. iOS 6.0.1. (www.apple.com)
- **Samsung Galaxy S3**: Smarttelefon lansert mai 2012. Android 4.0.4 – *Ice Cream Sandwich*. (www.samsung.com)
- **HTC Flyer**: Nettbrett lansert mai 2011. Android 3.2.1 – *Honeycomb*. (www.htc.com)

For mer informasjon om de ulike enhetene, henvises det til produsentenes nettsider.

5.3 Programvare

Passende programvare (apper) ble funnet gjennom søk på i *App Store* (iOS) og *Google Play* (Android). Følgende applikasjoner inngår i målingene:

- for Android:
 - **Rocklogger versjon 1.6 utgitt juni 2012**
(www.rockgecko.wordpress.com).
 - **eGEO Compass versjon 1.0.11 januar 2013.**
(www.geostru.com/EN/prodotti_software.aspx).
 - **GeoClino versjon 1.20 august 2013.**
(<http://www.gsinet.co.jp/english/software/android.html>)
- for iOS:
 - **Lambert geological compass Versjon 1.9 mai 2013.**
(www.nileus.de/lambert/).
 - **Strike and dip versjon 2.5 november 2012.**
(<http://www.huntmountainssoftware.com/html/strikeanddip.html>)

Alle applikasjonene er betalversjoner, med unntak av GeoClino hvor den tilgjengelige gratisversjonen ble brukt.

Alle tre appene for Android har generelt fått gode brukertal og er i stor grad valgt med bakgrunn i dette samt ønsket om at programvaren skal være kompatibel med både Samsung-telefonen og HTC-nettbrettet som er brukt. Det ble valgt å måle med samme applikasjoner på to ulike enheter for å få en indikasjon på om det er applikasjonen eller enhetens programvare eller maskinvaren som i hovedsak har betydning for nøyaktigheten. Avvikende resultater for samme applikasjon på ulike enheter vil antyde at maskinvare spiller en vesentlig rolle for nøyaktigheten, mens samsvar i nøyaktighet på ulike enheter vil tyde på at nøyaktigheten i stor grad kan kontrolleres gjennom applikasjonen.

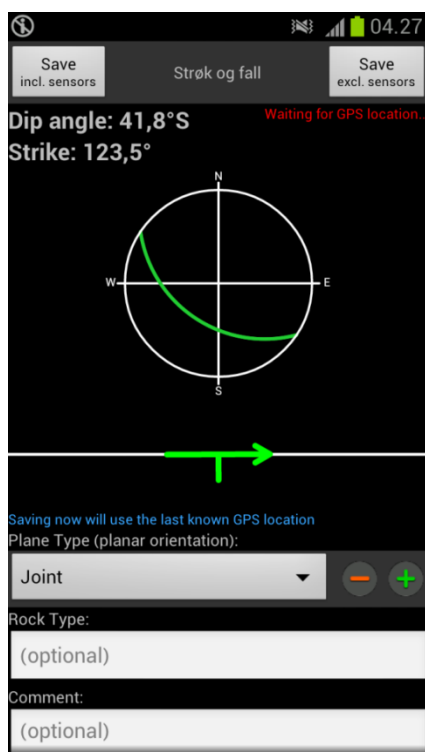
Det var dessuten ønsket å ha minst én enkel og én mer avansert applikasjon: Både GeoClino og eGEO er enkle apper, som kun gir mulighet for å måle strøk og fall. Rocklogger er derimot mer sofistikert, og har blant annet mulighet til å plote målingene i stereonett.

Når det gjelder applikasjoner for iOS, er det svært få som har fått inn noen brukertal. Valget falt på Lambert da denne ga inntrykk av å være godt gjennomarbeidet med jevnlig oppdateringer helt siden første versjon kom i 2009. Applikasjonen har mange nyttige funksjoner som stereonett, rosedigrammer og lineasjonsmålinger.

Strike and dip ble inkludert i de horisontale målingene på grunn av at denne applikasjonen har god funksjonalitet for å hjelpe brukeren å holde enheten horisontalt mens målingen gjøres gjennom «Bearing»-funksjonen.

Alle appene angir orienteringen uten korreksjon for magnetisk deklinasjon, eller gir brukeren mulighet til å velge bort dette. Der dette ikke var oppgitt på programvarens nettsider, ble app-utviklerne kontaktet direkte.

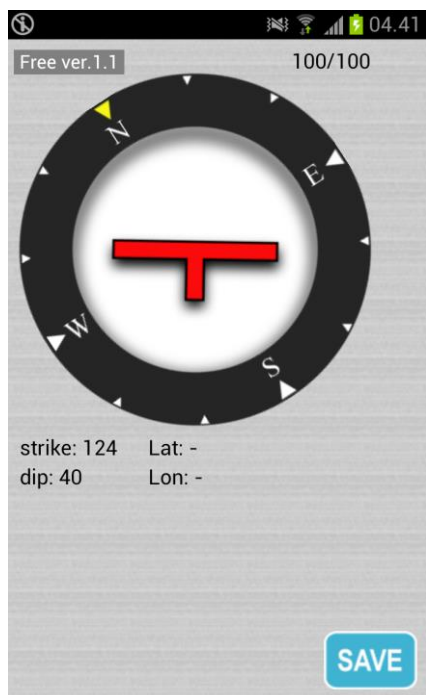
I figur 5 til 11 vises skjermdumper fra de ulike applikasjonene. De fleste programmene har en eller annen form for hjelpelinje for å holde telefonen korrekt i forhold til strøket. Noen av applikasjonene har som en ser også mulighet for å lage stereoplott av målingene.



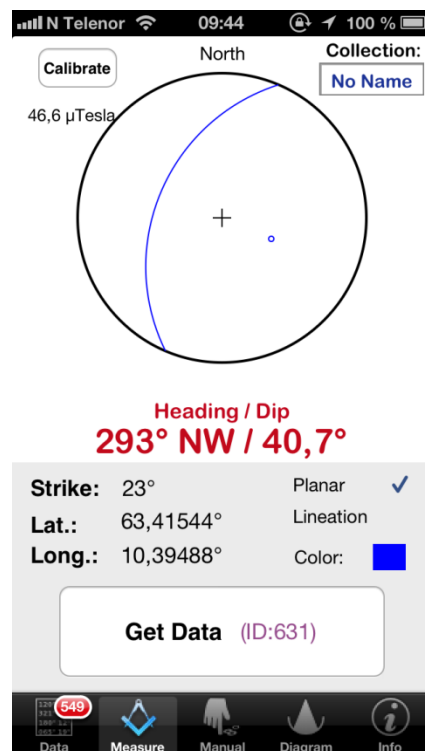
Figur 5: Skjermdump fra Rocklogger på Samsung GS3. Den hvite linjen fungerer som en hjelpelinje for å orientere enheten riktig i forhold til strøket.



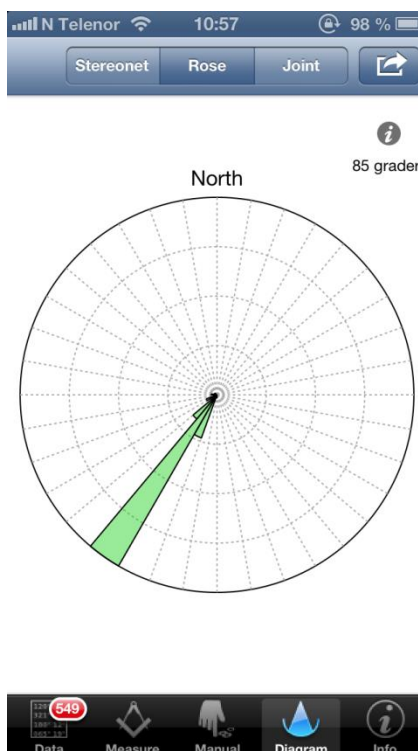
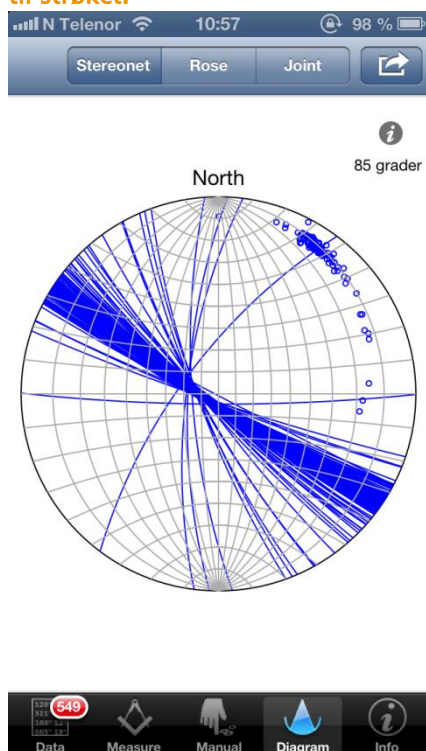
Figur 6: Skjermdump fra eGEO på Samsung GS3. Kompass-sirkelen hjelper brukeren å orientere enheten korrekt i forhold til strøket.



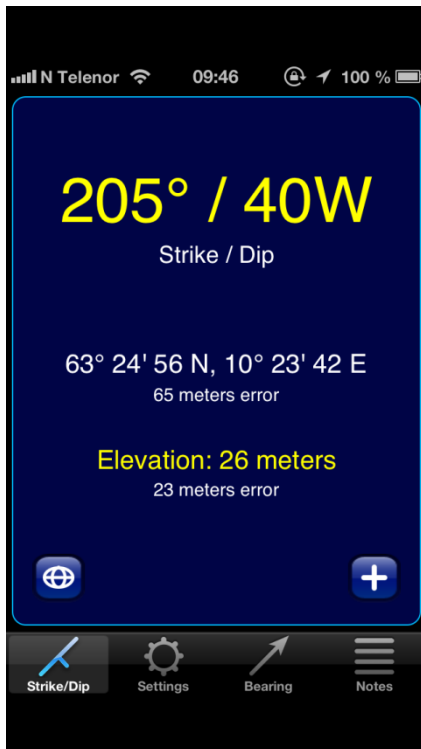
Figur 7: Skjermdump fra GeoClino Free på Samsung GS3. Kompass-sirkelen hjelper brukeren å orientere enheten korrekt i forhold til strøket.



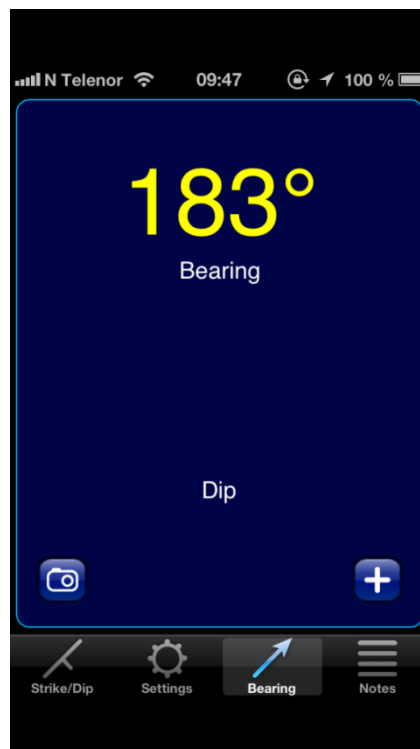
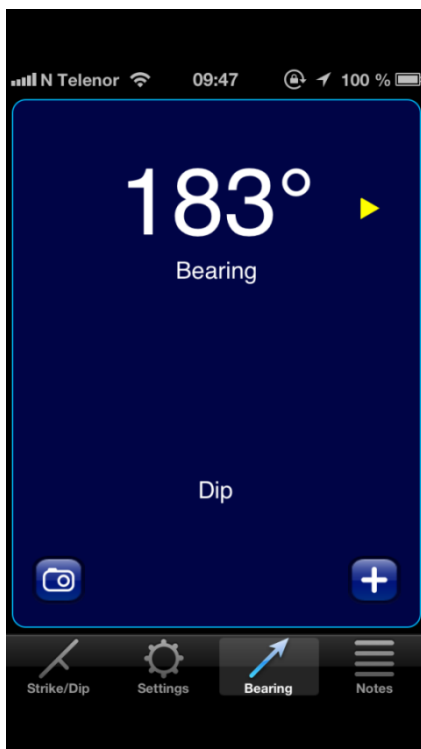
Figur 8: Skjermdump fra Lamber på iPhone 5. Planet vises som storsirkel mens målingen gjøres.



Figur 9: Skjermdump fra Lambert. Ulike plottemuligheter for målingene. Her er stereonett og rosediagram vist.



Figur 10: Skjermdump iPhone 5 Strike and Dip. Målevinduet viser strøk, fall og posisjon.



Figur 11: Måling av retning med Strike and Dip på iPhone 5. Til venstre viser den gule trekantpila at telefonen ikke holdes vannrett og må tiltes litt til høyre. Til høyre indikerer den gule fargen at telefonen holdes vannrett og strøket registreres horisontalt.

5.4 Kalibrering

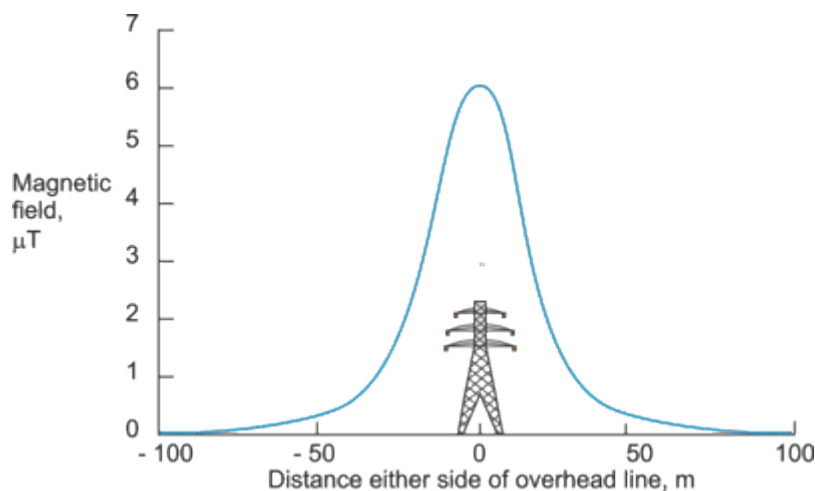
Før måling ble alle enhetene kalibrert/nullstilt. Fallet nullkalibreres ved at brukeren plasserer enheten på et flatt underlag. Dette ble her gjort innendørs på en vannrett flate. Strøket kalibreres ved å bevege enheten i et åttetallsmønster etter anvisning fra appen. Magnetometrene krever jevnlig kalibrering for best mulig resultat, så strøket ble kalibrert hyppig underveis i målingene.

Denne brukerstyrte kalibreringen må ikke forveksles med kalibreringen av måleresultatene som gjøres gjennom programvaren.

5.5 Målelokalitet

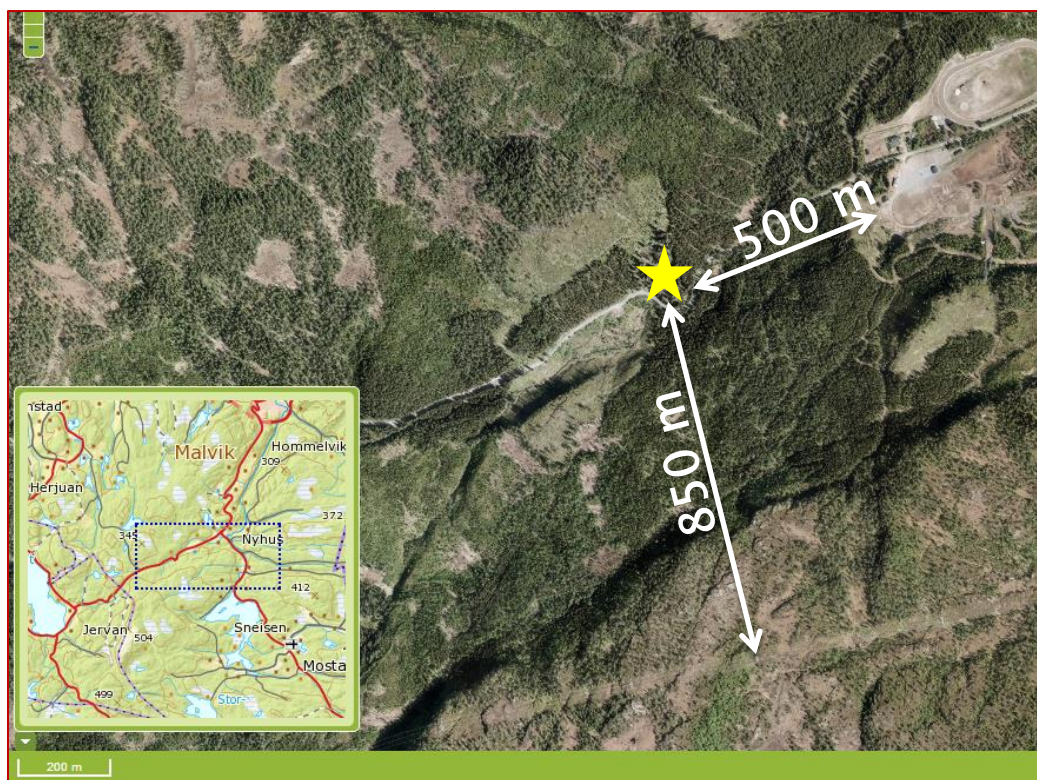
For å minimere den magnetiske påvirkningen av tekniske installasjoner, bebyggelse, biler osv., er feltmålingene gjennomført i ubebygde strøk ved et hogstområde ved fylkesvei 861 i Sør-Trøndelag. Målelokaliteten er vist i figur 13.

Målelokaliteten ligger omtrent 850 meter fra nærmeste høyspentledning. Nærmeste bebyggelse er omtrent 500 meter unna. Størrelsen til jordens egne magnetfelt er på mellom 25 og 65 μT . Allerede 50–100 meter fra høyspentledninger er den magnetiske påvirkningen fra linja ubetydelig liten (WHO, 2013). Typisk magnetisk felt rundt strømlinjer er vist i figur 12. Målelokaliteten antas derfor som magnetisk upåvirket av nærliggende bebyggelse og tekniske installasjoner.



Figur 12: Magnetfelt rundt strømlinje. (Figur fra Public Health England).

Det ble gått i rette linjer over målelokasjonen med kompasset for å kontrollere at det ikke var noen magnetisk forstyrrende elementer i måleområdet. Resultatene indikerte at det ikke var noen slike forstyrrelser på målelokasjonen.



Figur 13: Stjerna viser målelokaliteten ved fylkesvei 861 sør for Malvik i Sør-Trøndelag. Målelokaliteten ligger 850 meter fra nærmeste høyspentledning og 500 meter fra nærmeste bebyggelse. Kartutsnitt hentet fra Norgeskart desember 2012. (www.norgeskart.no).

6 Resultater

Her blir resultatene fra feltmålingene presentert. Det er skilt mellom de fire gruppene av målemetoder definert i avsnitt 5. Resultatene fra målingene med det analoge kompasset på måleplaten er allerede presentert i avsnitt 3.

Resultatene presenteres i form av tabeller og plott. I *tabellene* er gjennomsnittlig avvik og prosentandel av målingene som avviker mer enn de gitte kravene på $\pm 5^\circ$ og $\pm 2^\circ$ for henholdsvis strøk og fall listet for hver måleserie. De aritmetiske gjennomsnittene er beregnet ut fra *absoluttverdien* av avvikene mellom digital og analog måling. Selv om det i resultatstabellene er skrevet 10° , 40° og 85° fall, er beregningene gjort ut fra gjennomsnittsmålinger med analogt kompass ($10,1^\circ$, $39,9^\circ$ og $84,8^\circ$).

De ulike seriene viste ingen felles statistisk fordeling. Derfor er det ikke gjort beregninger på variasjonen i de ulike seriene. Ved å plote avvik i fall og avvik i strøk i samme diagram, får en likevel en god visuell framstilling av både gjennomsnittsavvik og spredningen i datasettene. Jo mer komprimert punktskyen for en måleserie er, jo mindre varierer måleresultatene. Tyngdepunktet til punktskyene representerer gjennomsnittsavvik i strøk og fall.

6.1 Resultater fra målemetode I: Ett-steps måling av strøk og fall på stativ

Måling med den digitale enheten liggende mot måleplata ble gjort ved tre ulike fall (10° , 40° og 85°) i serier à ~100 målinger. Resultatene er presentert i tabell 2 og i figur 14 – 16

Som det framkommer av tabellen, varierer gjennomsnittsavviket for strøket fra $3,4^\circ$ for Samsung GS3 med Rocklogger ved 40° fall til $21,3^\circ$ for iPhone Lambert ved 85° fall. Opptil 99 % prosent av strøkmålingene i samme serie avviker mer enn kravet på $\pm 5^\circ$ (iPhone 5 Lambert ved 85° fall). Rocklogger på Samsung GS3 ved 40° fall kommer best ut med 24 % av enkeltmålingene utenfor kravet.

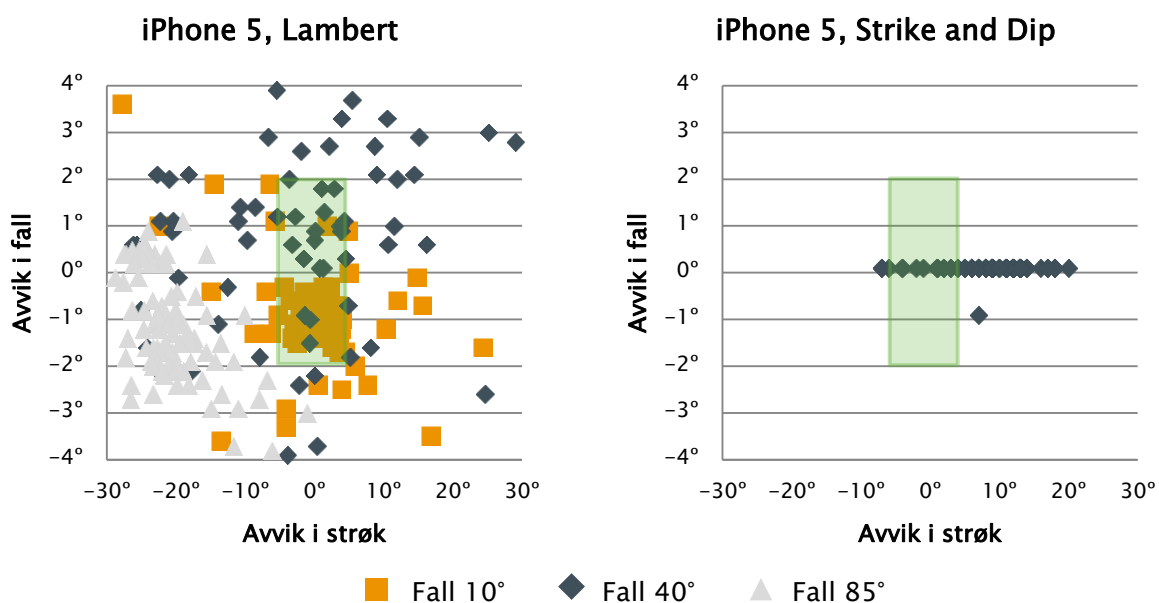
Når det gjelder fall, er det igjen iPhone Lambert som skiller seg ut i negativ retning, med gjennomsnittlig avvik på $2,5^\circ$ ved 40° fall. Beste gjennomsnittsavvik for fallet er for iPhone 5 med applikasjonen Strike and Dip. Her er gjennomsnittsavviket $0,1^\circ$. 0 % av målingene faller utenfor kravet.

Tabell 2: Resultater fra feltmåling etter målemetode I. Basert på ~ 100 målinger i hver serie.

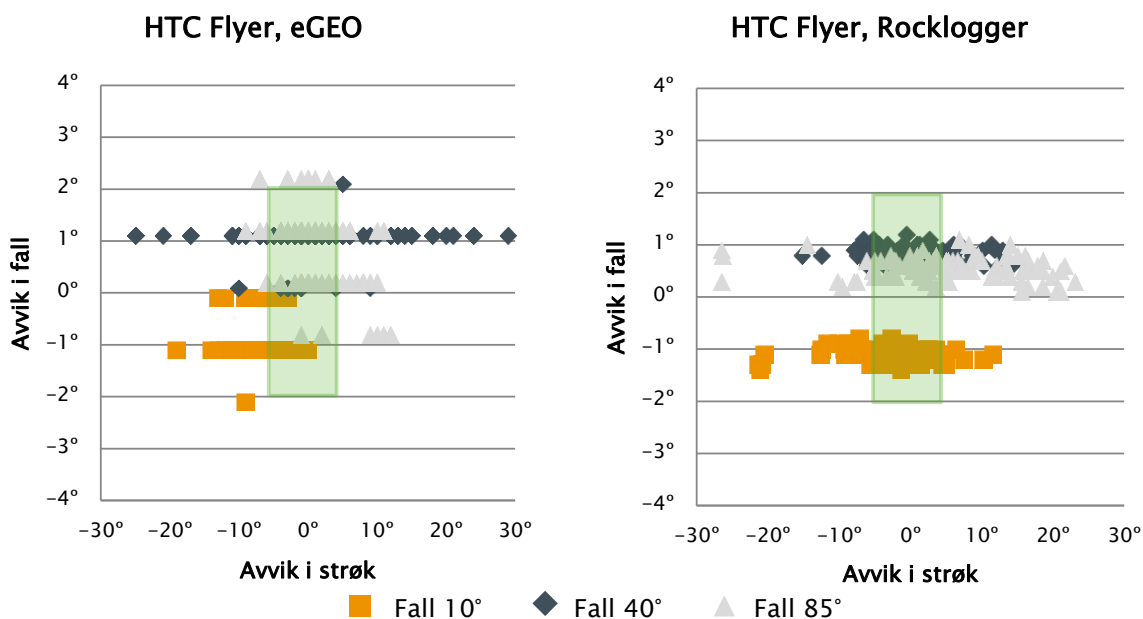
Fall*	Digital enhet	Applikasjon	Gjennomsnittlig avvik i strøk	Andel strøk-målinger utenfor $\pm 5^\circ$ (%)	Gjennomsnittlig avvik i fall	Andel fall-målinger utenfor $\pm 2^\circ$ (%)
10°	iPhone 5	<i>Lambert</i>	11,1°	35	1,9°	20
	Samsung	<i>Rocklogger</i>	5,8°	49	1,2°	1,1
	Galaxy S3	<i>eGEO</i>	7,3°	66	1,1°	10
	HTC Flyer	<i>Rocklogger</i>	4,7°	35	1,1°	0,0
		<i>eGEO</i>	6,0°	48	0,9°	1,0
40°	iPhone 5	<i>Lambert</i>	15,7°	72	2,5°	43
		<i>Strike and Dip</i>	9,1°	82	0,1°	0,0
	Samsung	<i>Rocklogger</i>	3,4°	24	0,4°	1,6
	Galaxy S3	<i>eGEO</i>	7,0°	41	1,2°	24
		<i>GeoClino</i>	7,7°	68	0,9°	2,0
	HTC Flyer	<i>Rocklogger</i>	4,5°	38	0,8°	0,0
		<i>eGEO</i>	6,2°	41	1,0°	1,0
85°	iPhone 5	<i>Lambert</i>	21,3°	99	1,9°	25
	Samsung	<i>Rocklogger</i>	16,8°	87	0,4°	3,9
	Galaxy S3	<i>eGEO</i>	4,9°	35	0,6°	2,0
	HTC Flyer	<i>Rocklogger</i>	8,7°	59	0,6°	0,0
		<i>eGEO</i>	3,9°	26	0,9°	6,8

*) Fallverdiene brukt i beregningene er 10,1°, 39,9° og 84,8° (gjennomsnittsmålinger med analogt kompass)

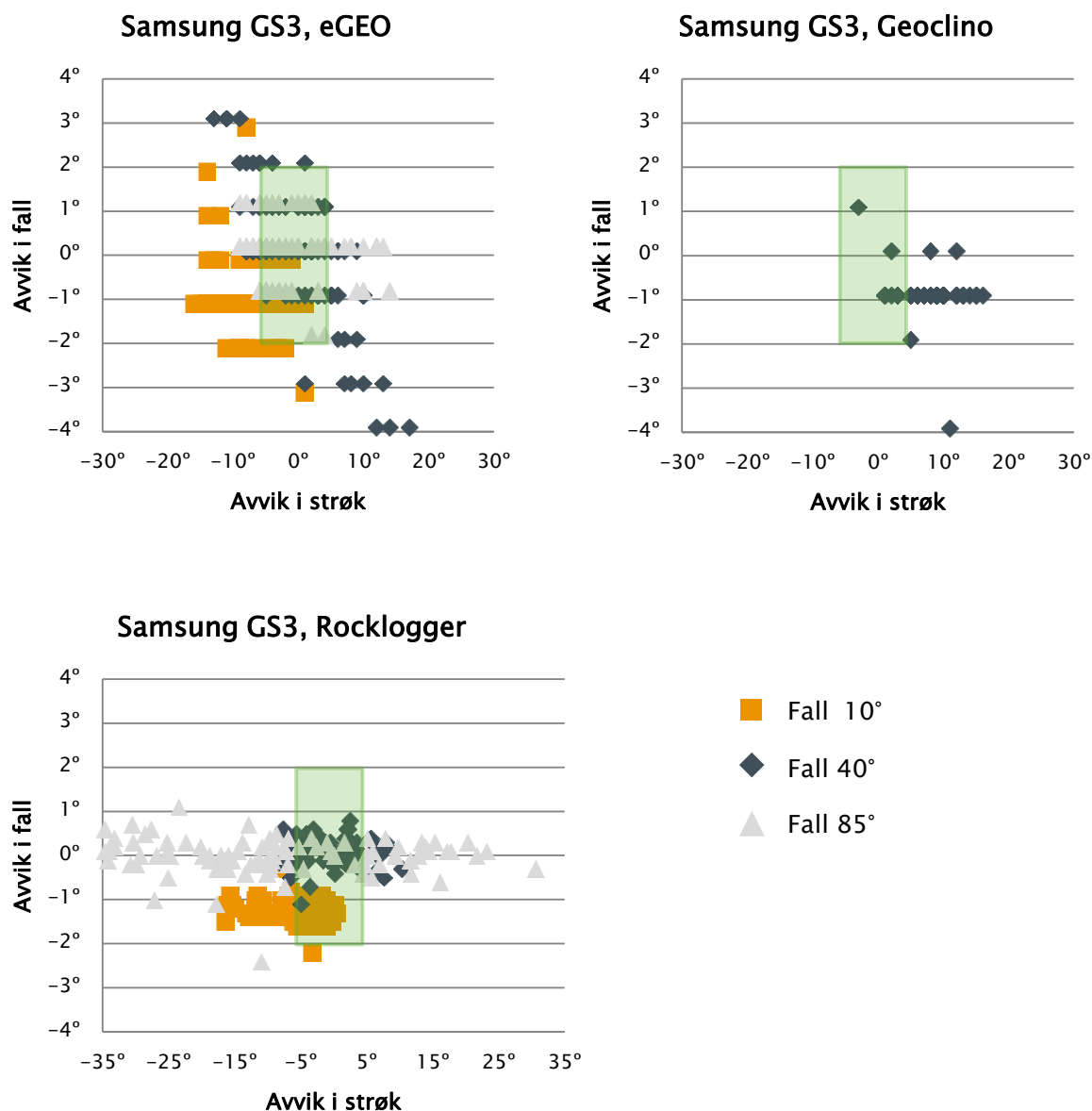
I figurene 14 til 16 er avviket i strøk og fall for de tre fallene (10°, 40° og 85°) plottet for hver app på hver enhet. For appene GeoClino og Strike and Dip er det kun gjort målinger ved 40° (i forbindelse med de horisontale målingene). Alle plottene er i samme skala. Enkeltmålinger faller utenfor ploteområdet. Årsaken til at de fleste plottene ser «trappevise» ut er at de fleste applikasjonene (eGEO, Lambert, Strike and Dip og GeoClino) gir ut fallet uten desimaler. Rocklogger derimot registrerer fallet i tideler.



Figur 14: iPhone 5 Lambert og Strike and Dip. Avvik i strøk (horisontal akse) og avvik i fall (vertikal akse) for alle strøk- og fall-målinger etter metode I. Den grønne boksen omrissrer kravgrensene for strøk og fall



Figur 15: HTC Flyer med eGEO og Rocklogger. Avvik i strøk (horisontal akse) og avvik i fall (vertikal akse) for alle strøk- og fall-målinger etter metode I. Den grønne boksen omrissrer kravgrensene for strøk og fall.



Figur 16: Samsung GS3 med eGEO, GeoClino og Rocklogger. Avvik i strøk (horisontal akse) og avvik i fall (vertikal akse) for alle strøk- og fall-målinger etter metode I. Den grønne boksen omrisser kravgrensene for strøk og fall.

6.2 Resultater fra målemetode II: Horisontale strøk-målinger på stativ

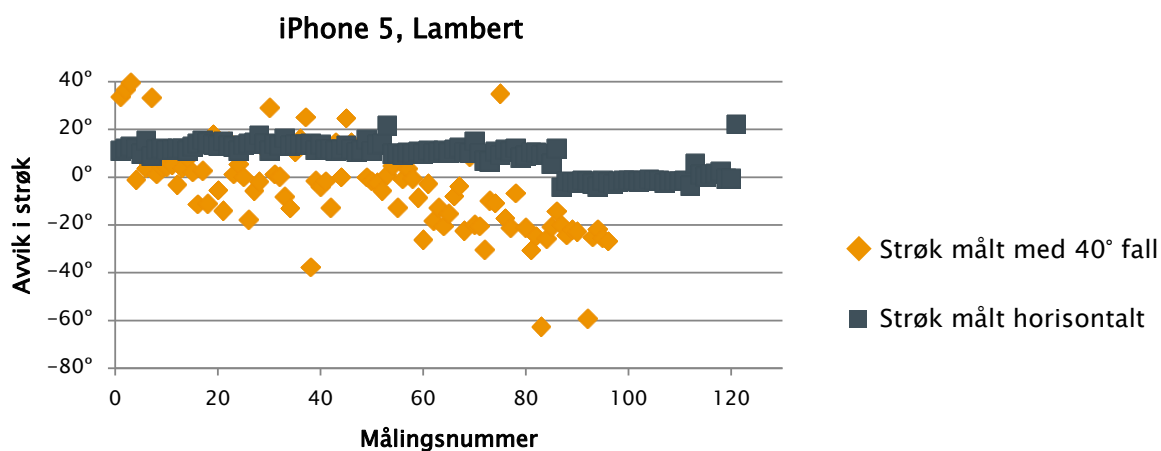
Resultatene fra de horisontale strøkmålingene (dvs enheten holdt horisontalt) er oppsummert i tabell 3. I tabellen er også resultatene fra tilsvarende måling etter målemetode I repetert i parentes. Avviket for alle enkeltmålingene er plottet i figurene 17 til 21. Som tidligere, er det avviket i forhold til analogt kompass som er presentert.

Som en ser av tabellen varierer gjennomsnittavviket her mellom 2,9° og 20,5°. Opptil 73 % av målingene avviker mer enn 5° fra kompassmålingen (iPhone Lambert). I beste måleserie

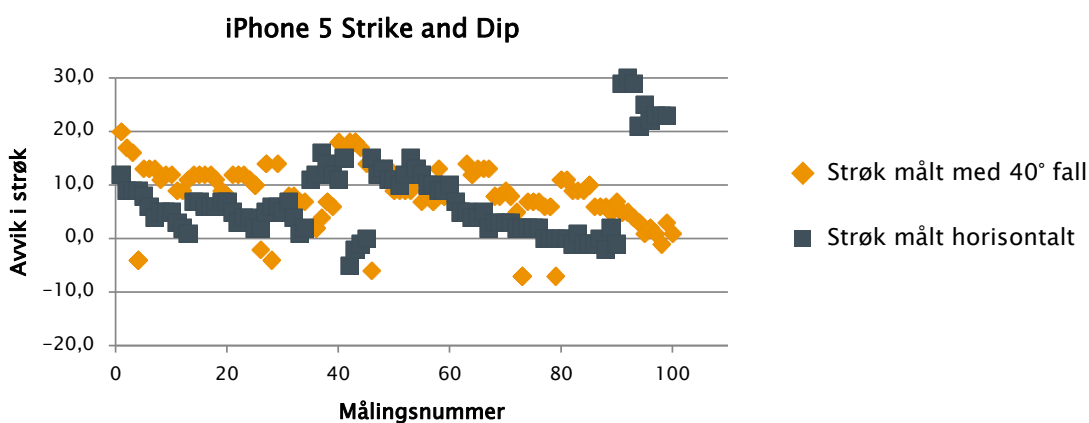
avviker 6,1 % av enkeltmålingene mer enn 5° fra det analoge kompasset (Samsung GS3 med GeoClino).

Tabell 3: Gjennomsnitt og standardavvik for strøk etter målemetode II. Basert på 100 målinger.

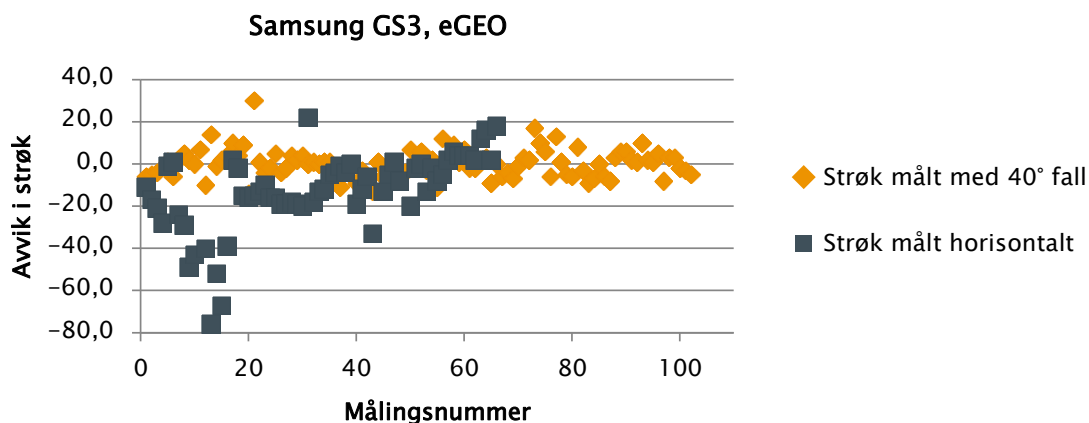
Digital enhet	Applikasjon	Gjennomsnittlig avvik i strøk	Andel strøk-målinger utenfor $\pm 5^\circ$ (%)
iPhone 5	<i>Lambert</i>	9,2° (15,7°)	73 (72)
	<i>Strike and Dip</i>	7,5° (9,1°)	48 (82)
Samsung	<i>Rocklogger</i>	2,9° (3,4°)	21 (24)
Galaxy S3	<i>eGEO</i>	20,5° (7,0°)	68 (41)
	<i>GeoClino</i>	2,9° (7,7°)	6,1 (68)



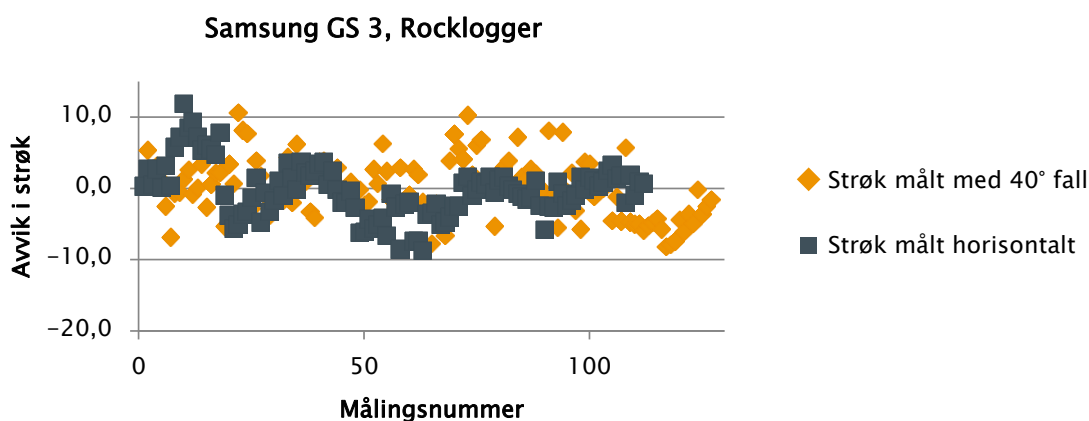
Figur 17: iPhone 5 Lambert. Avvik i strøk (vertikal akse) for alle målinger gjort etter målemetode I ved 40° og målemetode II.



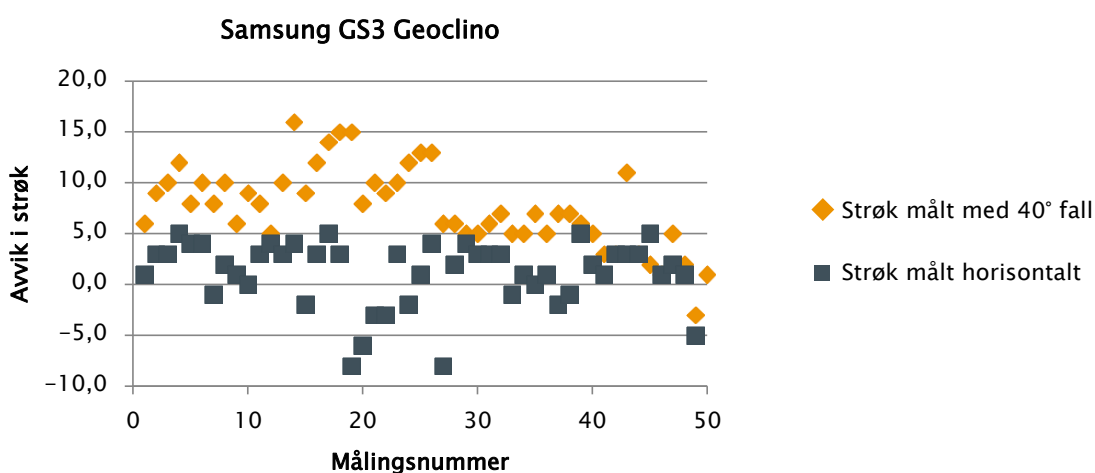
Figur 18: iPhone Strike and Dip. Avvik i strøk (vertikal akse) for alle målinger gjort etter målemetode I ved 40° og målemetode II.



Figur 19. Samsung GS3 eGEO. Avvik i strøk (vertikal akse) for alle målinger gjort etter målemetode I ved 40° og målemetode II.



Figur 20. Samsung GS3 Rocklogger. Avvik i strøk (vertikal akse) for alle målinger gjort etter målemetode I ved 40° og målemetode II.



Figur 21. Samsung GeoClino. Avvik i strøk (vertikal akse) for alle målinger gjort etter målemetode I ved 40° og målemetode II.

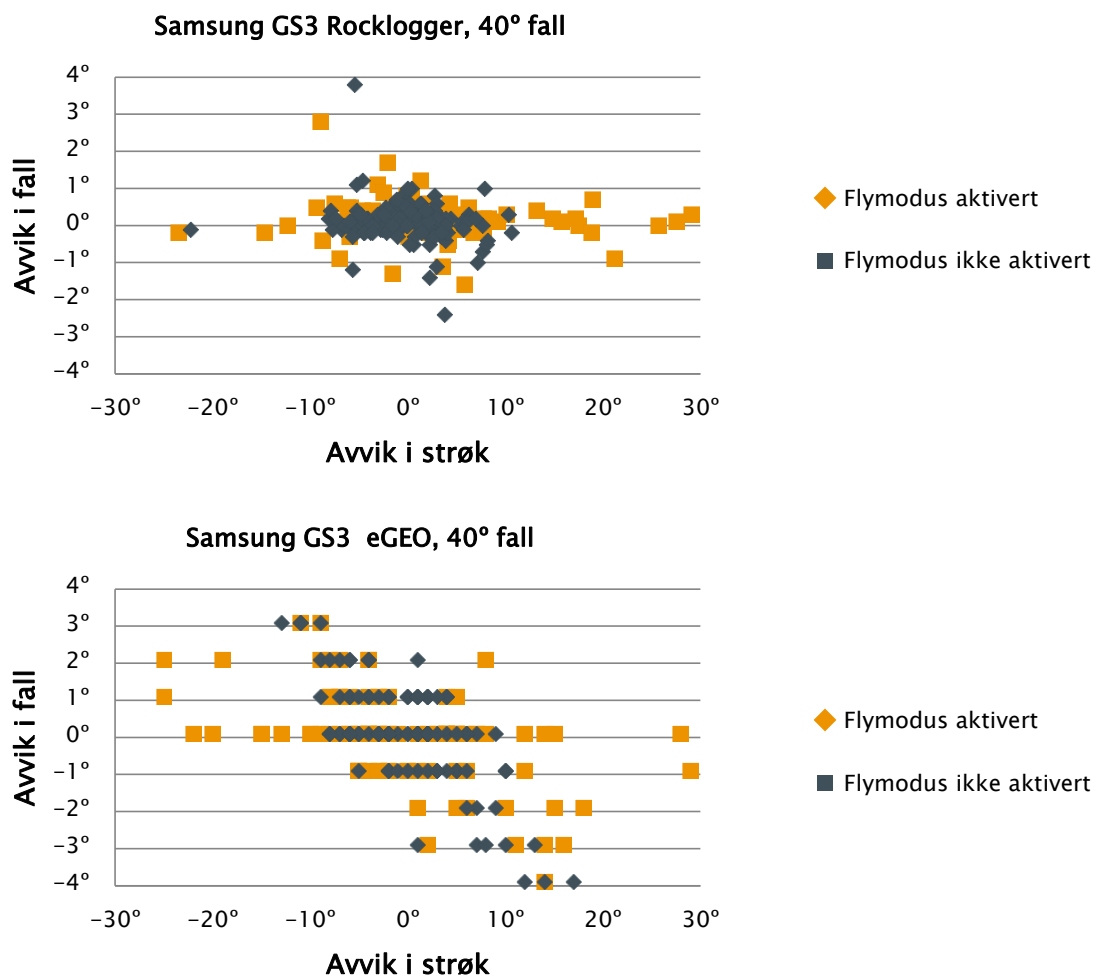
6.3 Resultater fra målemetode III: Ett-stegsmåling i flymodus

Totalt er det gjort omtrent 400 målinger fordelt på fire måleserier med flymodus aktivert. Disse målingene er gjort på målestativet med fall 40°. Resultatene er presentert i tabell 4. I samme tabell er resultatene fra tilsvarende måleserie gjort uten flymodus presentert i parentes. Tilhørende plott finnes i figur 22 og 23.

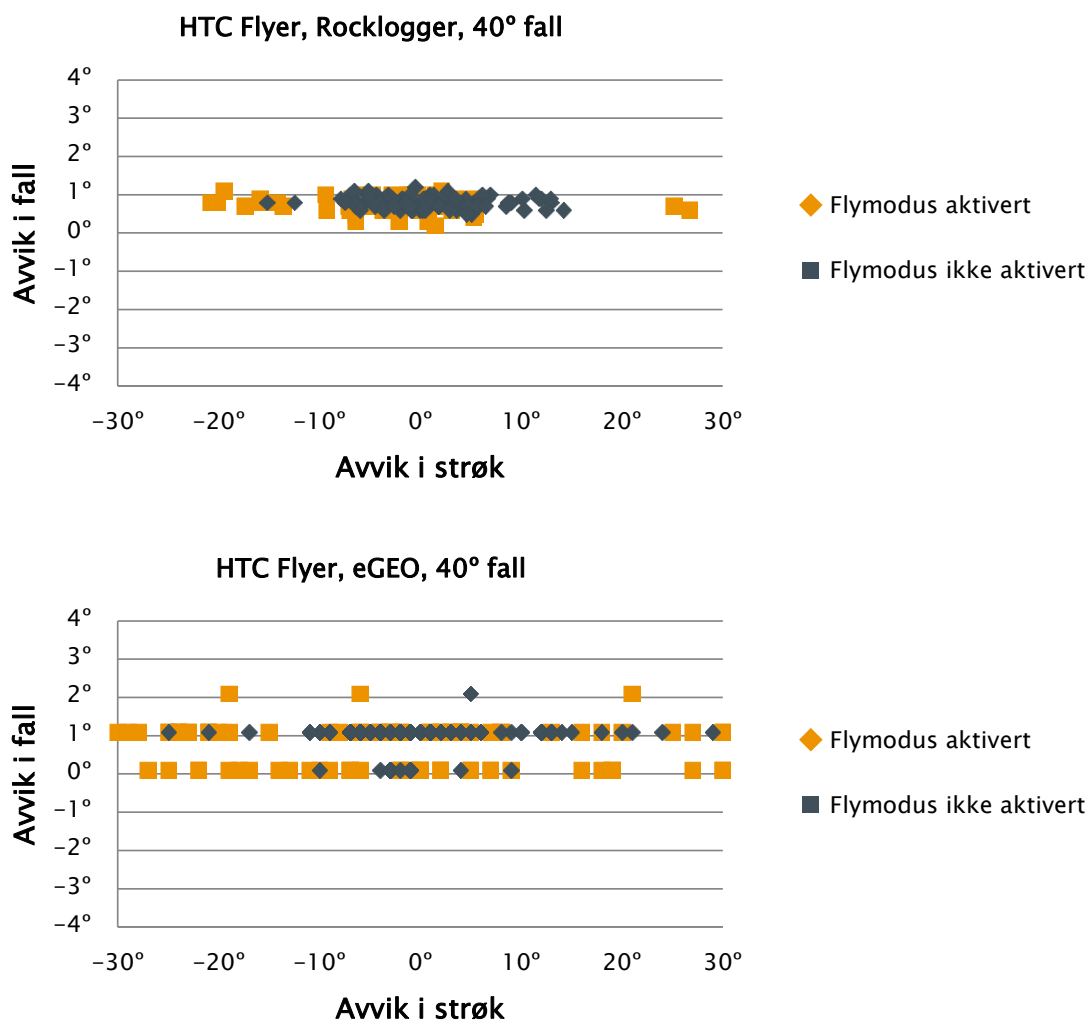
Som en ser av resultatene, avtar nøyaktigheten for strøkmålingene for tre av de fire måleseriene. For fallmålingene ser en ikke samme effekt.

Tabell 4: Resultater fra målinger gjort på målestativ med flymodus aktivert. Basert på ~100 målinger per måleserie. Tilsvarende resultater fra målinger uten flymodus er tatt med i parentes.

Fall	Digital enhet	Applikasjon	Gj.snittlig avvik i strøk	Andel strøk-målinger utenfor $\pm 5^\circ$ (%)	Gj.snittlig avvik i fall	Andel fall-målinger utenfor $\pm 2^\circ$ (%)
40°	Samsung GS3	<i>Rocklogger</i>	10,1° (3,4°)	52 (24)	0,5° (0,4°)	3,1 (1,6)
		<i>eGEO</i>	9,0° (7,0°)	53 (41)	1,6° (1,2°)	25 (24)
	HTC Flyer	<i>Rocklogger</i>	4,6° (4,5°)	29 (38)	0,8° (0,8°)	0,0 (0,0)
		<i>eGEO</i>	17,5° (6,2°)	74 (41)	0,7° (1,0°)	2,8 (1,0)



Figur 22: Avvik i strøk og fall for Samsung GS3 med Rocklogger (øverst) og eGEO (nederst) ved 40° fall. Med og uten flymodus aktivert.



Figur 23: Avvik i strøk og fall for HTC Flyer med Rocklogger (øverst) og eGEO (nederst) ved 40° fall. Med og uten flymodus aktivert.

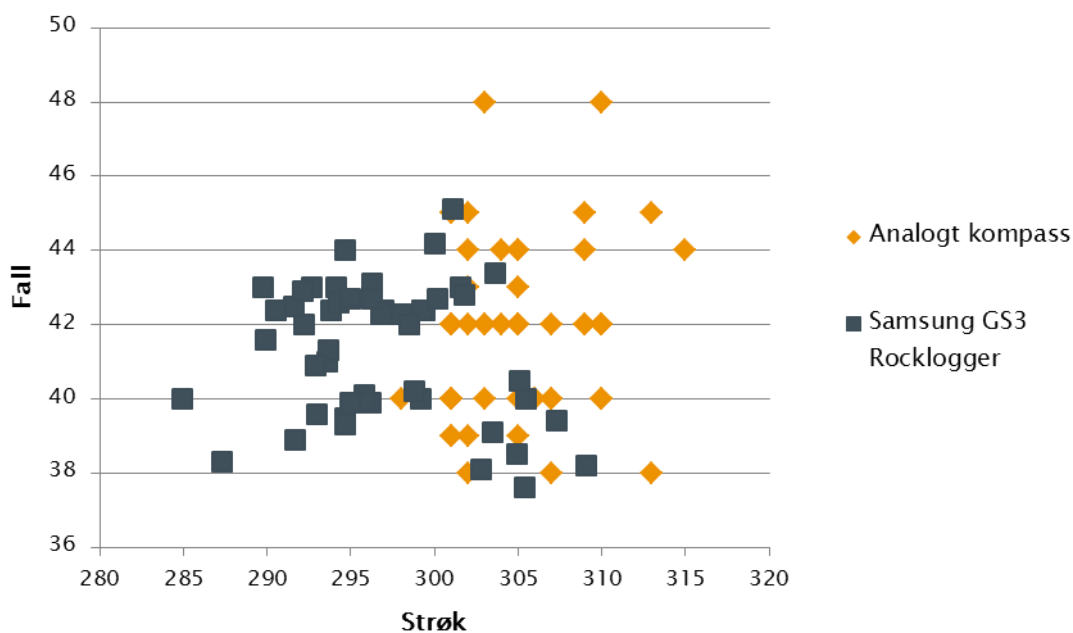
6.4 Resultater fra målemetode IV: Målinger på skjæring

Det ble gjort to serier målinger på en naturlig bergoverflate. Målingene ble gjort på en ru sprekkeflate, for å illustrere «worst case» med tanke på nøyaktighet. Her ble det gjort 50 målinger både med analogt kompass og Samsung Galaxy S3 Rocklogger. Alle målingene er plottet i diagrammet i figur 24.

Resultatene fra målingene er oppsummert i tabell 5. Gjennomsnittlig strøk målt med Samsung GS3 med Rocklogger er 8° lavere enn gjennomsnittet målt med analogt kompass. Som en ser av diagrammet har dessuten de digitale målingene en noe større spredning i strøkkretning. Gjennomsnittlig fall målt med den digitale enheten avviker kun 0,6° fra målingene med det analoge kompasset.

Tabell 5: Gjennomsnitt og standardavvik for strøk- og fallmålinger på sprekk i skjæring. Analogt kompass og Samsung Galaxy S3 med applikasjon Rocklogger. Basert på 50 målinger.

Enhet	Gjennomsnittlig strøk	Gjennomsnittlig fall	Avvik i strøk fra kompass	Avvik i fall fra kompass
Analogt kompass	305°	41,9°	–	–
Samsung Galaxy S3 med Rocklogger	297°	41,3°	–8°	–0,6°



Figur 24: Plott av alle enkeltmålinger gjort på skjæring.

7 Diskusjon

I avsnitt 3 ble det bestemt følgende kriterier for tilfredsstillende nøyaktighet:

- 95 % av de digitale strøkmålingene i en måleserie skal avvike maksimalt $\pm 5^\circ$ fra strøket funnet med det analoge geologiske kompasset. For ett-stegsmålinger må kravet være oppfylt for alle fall.
- 95 % av de digitale fallmålingene i en måleserie skal avvike maksimalt $\pm 2^\circ$ fra fallet funnet med det analoge geologiske kompasset.

Med andre ord kan andelen enkeltmålinger som ligger utenfor disse intervallene ($\pm 5^\circ$ og $\pm 2^\circ$) maksimalt være 5 % for at måleserien kan sies å ha tilfredsstillende nøyaktighet.

Dette arbeidet tar for seg plane geologiske strukturer og unøyaktige strøk- og fallmålinger vil i verste fall kunne ha konsekvenser for økonomi, sikkerhet, framdrift og kvalitet under bygging av veg og tunnel. Enhver geologisk tolkning ned mot dypet har en viss usikkerhet – ved å sette disse kravene til nøyaktighet er det gjort med hensyn på å ha et så godt utgangspunkt som mulig for den geologiske tolkningen.

7.1 Varierende resultater

En generell utfordring ved utvikling av ny programvare for digitale enheter er å sørge for at programvaren fungerer likt uavhengig av enhet. Resultatene fra dette arbeidet avslører imidlertid at nøyaktigheten varierer både mellom de ulike applikasjonene, men også mellom de digitale enhetene. Dette illustreres godt i plottene presentert i avsnitt 6.

Ser en på plottene for målinger på 40° fall for iPhone 5 (figur 14) ser en tydelig hvordan ulike applikasjoner har ulik nøyaktighet og spredning i målingene på samme digitale enhet. For disse to applikasjonene gjelder dette særlig for fallet.

Resultatene presentert i tabell 2 viser også at samme applikasjon gir ulike resultater på ulike enheter: Med unntak av én måleserie viser HTC Flyer konsekvent bedre resultater enn Samsung GS3 når det gjelder gjennomsnittlig avvik i strøk og andel avvikende målinger. I de tilhørende plottene i figur 15 og 16 ser en at målingene gjort med HTC Flyer også generelt har mindre spredning enn de gjort med Samsung GS3.

Et plott av resultatene fra de *horisontale strøkmålingene* etter målemetode II ble sammenstilt med resultatene fra målemetode I i figurene 21–25. Plottene viser at også effekten av å måle horisontalt varierer fra serie til serie. For iPhone 5 Lambert (figur 21), er effekten i spredning stor, mens for Samsung GS3 GeoClino er spredningen hos de to måleseriene omtrent lik, men en ser at tyngdepunktet for punktskyen har beveget seg ned mot null-linja. For andre applikasjoner igjen, er ikke effekten synlig som for eksempel for Rocklogger på Samsung GS3 (figur 24).

7.2 Ett-stegs måling av strøk og fall

I første omgang ser vi på resultatene fra målemetode I: Ett-stegsmåling av strøk og fall på måleplaten. Hvilke måleserier herfra som oppfyller de fastsatte kravene til nøyaktighet er oppsummert i tabell 6.

Tabell 6: Oversikt over hvilke måleserier som oppfyller nøyaktighetskravene med målemetode I.

	Strøk	Fall	Strøk	Fall	Strøk	Fall
Samsung	Rocklogger		eGEO		GeoClino	
10°	X	✓	X	X	-	-
40°	X	✓	X	X	X	✓
85°	X	✓	X	✓	-	-
HTC	Rocklogger		eGEO			
10°	X	✓	X	✓		
40°	X	✓	X	✓		
85°	X	✓	X	X		
iPhone	Lambert		Strike and Dip			
10°	X	X	-	-		
40°	X	X	X	✓		
85°	X	X	-	-		

✓: kravet til nøyaktighet er oppfylt for måleserien.

X: kravet til nøyaktighet er *ikke* oppfylt for måleserien.

Applikasjonen Rocklogger tilfredsstiller altså hele kravet til nøyaktighet til fall, både målt med Samsung GS3 og HTC Flyer. For eGEO er det ingen av måleseriene som oppfyller kravene på begge de to digitale enhetene. *Sammen indikerer dette at mye av nøyaktigheten til fallmålingen ligger i applikasjonen – ikke i maskinvaren til den digitale enheten.*

Ser en tilbake på plottene av de ulike seriene, ser en at det generelt er liten spredning i de registrerte fallene i den enkelte måleserie. Det kan med andre ord se ut til at det er en mer fallspesifikk systematisk feil som gir avvikene i fall. Dette tyder på at det vil kunne være mulig å få en *enda* bedre nøyaktighet av fallmålingene ved å bedre kalibrere programvare mot den enkelte enhet.

Når det gjelder *strøket*, ser en derimot ut fra tabell 6 at *ingen* av måleseriene oppfyller kravet på $\pm 5^\circ$. Med kravene som er satt, tyder altså resultatene på at digitale enheter ikke kan benyttes til å måle strøk etter målemetode I.

Dersom kravet til strøkmålingene senkes til at 95 % av målingene skal ligge innenfor $\pm 10^\circ$ fra strøket gitt av det analoge kompasset viser det seg at det fortsatt kun er tre av disse 17 måleseriene som oppfyller kravene: Rocklogger ved 40° fall på Samsung GS3 og eGEO ved fall 85° på Samsung GS3 og HTC Flyer. Fortsatt er ikke kravet oppfylt for alle tre fall og dette

må derfor fortsatt sies å være et utilfredsstillende resultat. Å senke kravene ytterligere vil ikke være aktuelt.

Det er også interessant å se på spredningen av strøkmålingene. Som en ser av figur 15 og 16 er spredningen av strøkmålingene generelt høye – avviket er ikke like stabilt som for fallmålingene. For å forbedre nøyaktigheten til målingen kreves en bedre kalibrering i programvaren.

7.3 Måling på skjæring

Måling på stativet med det analoge kompasset ga ingen variasjon i strøkretning, og svært lite variasjon i fall. Naturlige bergflater er imidlertid ofte ujevne, og målingene vil naturlig nok variere mer. Effekten av dette ses i plottet i figur 24.

Plottet viser strøk og fall for målinger gjort med det analoge kompasset på en naturlig flate. I figuren er også de tilsvarende målingene gjort med Samsung GS3 med applikasjonen *Rocklogger* inkludert.

Som en ser av figuren, har det analoge kompasset en noe mindre spredning i strøkretning enn det aktuelle digitale kompasset. Sammenligner en dette plottet med plottet for Samsung GS4 Rocklogger målt på måleplate vist i figur 16, ser en imidlertid at spredningen av strøkmålingene ikke øker vesentlig for den digitale enheten på bergskjæringen kontra målestativet.

En årsak til dette kan være at Rocklogger-applikasjonen har en hjelpelinje som hjelper brukeren å stille inn telefonen korrekt i forhold til strøket. Dette er en justering som må gjøres manuelt med det analoge kompasset, noe som kan være krevende når en ikke har en glatt overflate. I en feltsituasjon kan dette være med på å jevne ut forskjellen i spredning mellom digitale og analoge målinger. I tillegg inkluderer applikasjonen for den digitale enhetens fall når den beregner strøket, slik at det korrigeres for at brukeren kanskje ikke holder enheten helt korrekt i forhold til strøket.

Gjennomsnittsavviket for strøkmålingene er forholdsvis stort på 8°. Dessverre er det kun gjort én digital måleserie på en naturlig bergflate. Med flere måleserier kunne en sett om det er noe systematisk avvik, men ut fra resultatene på måleplaten virker det lite sannsynlig.

Når det kommer til *fall*, er spredningen mer lik for de to enhetene, sett bort i fra to avvikende målinger på 48° gjort med det analoge kompasset. Gjennomsnittlig fall fra den digitale målingen er 0,6° lavere enn den analoge. Ser en bort fra de to avvikende målingene på 48°, er gjennomsnittsavviket kun 0,3°. Dette avviket er så lite at det ikke har noen praktisk betydning og kan like gjerne skyldes at kompasset har en mye mindre nøyaktig avlesning enn Rocklogger-applikasjonen, som registrerer fall i tideler.

7.4 Forsøk på å øke nøyaktigheten til strøk- og fallmålinger: aktivering av flymodus

En hypotese var at å ha den digitale enheten i flymodus under målingene ville øke nøyaktigheten av strøk- og fallmålingene.

Resultatene fra målingene gjort med den digitale enheten i flymodus ble presentert i tabell 4. Aktivering av flymodus hadde *liten effekt på fallmålingene*; gjennomsnittet for de fire måleseriene var uendret på 0,9°. Flere av måleseriene falt innenfor kravet for andel fallmålinger som avviker mer enn $\pm 2^\circ$, ref. tabell 7. Resultatene viser imidlertid at flymodus *forverret nøyaktigheten til strøkmålingene*. Gjennomsnittlig avvik for de fire måleseriene økte fra 5,3° til 10,3° ved aktivering av flymodus. På samme måte økte andelen målinger som avvek mer enn $\pm 5^\circ$ fra 36 % til 52 %. Ingen av måleseriene oppfylte kravet til andel målinger innenfor $\pm 5^\circ$. Ut fra disse resultatene vil det med andre ord ikke være noe å hente når det kommer til nøyaktighet ved å aktivere flymodus.

Tabell 7: Oversikt over hvilke måleserier som oppfyller nøyaktighetskravene med målemetode III (flymodus aktivert).

	Strøk	Fall	Strøk	Fall
	Rocklogger		eGEO	
Samsung GS3	X	✓	X	X
HTC Flyer	X	✓	X	✓

✓: kravet til nøyaktighet er oppfylt for måleserien.

X: kravet til nøyaktighet er *ikke* oppfylt for måleserien.

7.5 Forsøk på å øke nøyaktigheten til strøkmålinger: horisontale målinger

Som nevnt er en av de store potensielle fordelene med å gå over til digital registrering av strøk og fall at en da kan måle begge deler i én operasjon. Dette i motsetning til med et vanlig kompass, hvor strøket først måles mens en holder kompasshuset horisontalt, for deretter å måle fallet langs planet. Som nevnt innledningsvis er det imidlertid mange flere fordeler med digitale målinger, så det kan være aktuelt og også kreve to operasjoner med det digitale kompasset dersom dette viser seg å gi økt nøyaktighet av strøkmålingene. Derfor ble det gjennomført noen måleserier på denne måten i dette prosjektet.

Det mistenktes at strøkmålinger gjort etter målemetode II mens den digitale enheten ble holdt horisontalt skulle være mer nøyaktig enn målinger gjort direkte på måleplata etter målemetode I. Hypotesen styrkes allerede ved å se på effekten fallet har på strøknøyaktigheten etter målemetode I. Generelt avtar nøyaktigheten med økende fall (ref.

tabell 2). Unntaket er applikasjonen eGEO som på både Samsung GS3 og HTC Flyer viste økende nøyaktighet ved økende fall (ref. tabell 2 og figur 15 og 16).

Ser en på alle måleserier, unntatt eGEO på Samsung/HTC, gjort på 10° fall har disse et gjennomsnittlig avvik på 7,2°. Gjennomsnittlig 40 % av målingene ligger utenfor kravet. For måleseriene gjort på 40° og 85° er de tilsvarende verdiene på henholdsvis 8,1°/57 % og 15,6°/82 %. Nøyaktigheten forverres med andre ord ved steilere fall. Gjennomsnittlig avvik og andel målinger utenfor kravgrensen for strøk for de tre fallene i målemetode I er presentert i tabell 8 og figur 25.

I samme tabell er tilsvarende gjennomsnitt for de horisontale målingene presentert i kolonnen merket 0°. Også her er resultatene fra målingene gjort med eGEO på Samsung GS3 utelatt, da denne applikasjonen tydelig viser økende nøyaktighet ved økende fall, og var vanskelig å få til noen stabile målinger med etter målemetode II.

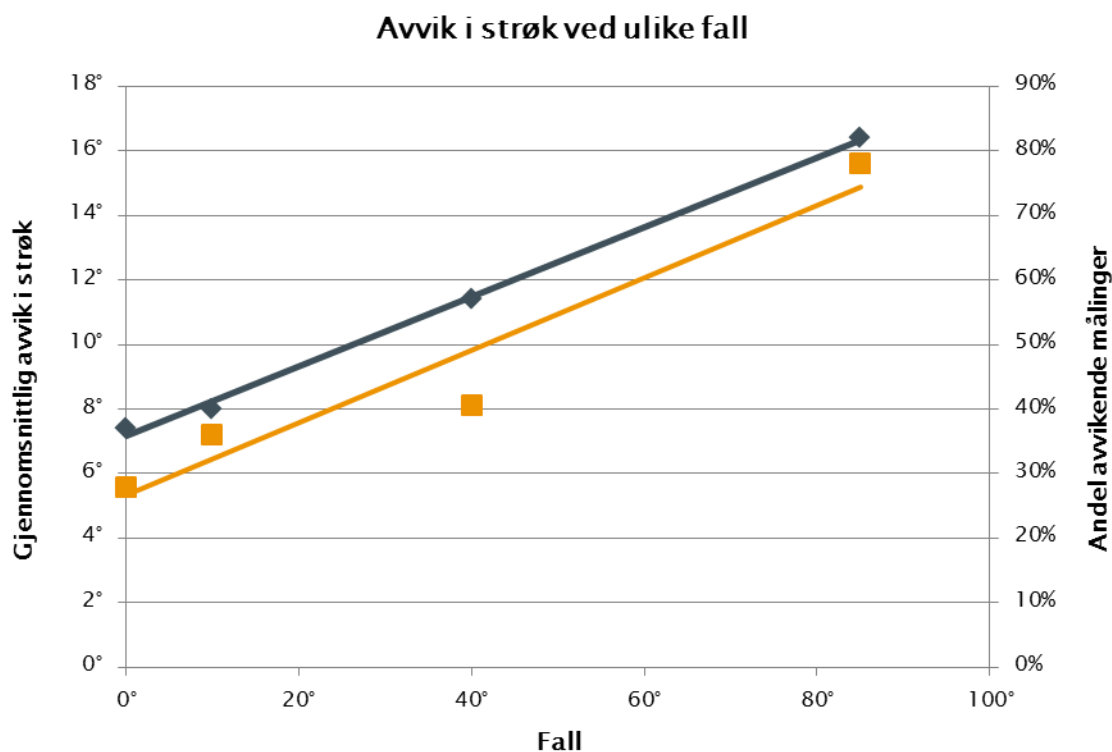
Tabell 8: Effekt av fall på nøyaktigheten til strøkmålinger. Gjennomsnitt for alle måleserier presentert i tabell 2 og 3.

Fall	10°	40°	85°	0° ¹
Målemetode	Målemetode I			Målemetode II
Gjennomsnittlig gjennomsnittsavvik strøk	7,2°	8,1°	15,6°	5,6°
Gjennomsnittlig andel strøkmålinger utenfor ±5° (%)	40	57	82	37

Gjennomsnitt uten resultater fra eGEO.

Resultatene viser som forventet at målinger gjort mens den digitale enheten holdes horisontalt generelt gir høyere nøyaktighet. Det gjennomsnittlige avviket er på 5,6° og 63 % av målingene ligger innenfor kravet på ±5°. Dette tilsvarer en forbedring på henholdsvis 64 % og 55 % i forhold til strøkmålingene gjort ved 85° fall.

Om en bryter resultatene fra de horisontale strøkmålingene ned i den enkelte måleserie, ser en ut fra tabell 3 at en stor andel av strøkmålingene fortsatt ligger utenfor de satte kravene (±5°). Dette gjelder de fleste seriene, og som en ser av oppsummeringen i tabell 9, oppfyller ingen av seriene oppfyller til nøyaktighet.



■ Gjennomsnittlig gjennomsnittsavvik for alle måleserier*. Med trendlinje.

◆ Gjennomsnittlig andel målinger i alle måleserier* utenfor kravgrensen. Med trendlinje.

*Gjennomsnitt uten resultater fra eGEO.

Figur 25: Nøyaktighet for strøkmålinger ved ulike fall. Gjennomsnittsverdier med lineær trendlinje.

Tabell 9: Oversikt over hvilke måleserier som oppfyller nøyaktighetskravene med målemetode II.

	Rocklogger	eGEO	GeoClino
Samsung GS3	X	X	X
	Lambert	Strike and Dip	
iPhone 5	X	X	

✓: kravet til nøyaktighet er oppfylt for måleserien.

X: kravet til nøyaktighet er *ikke* oppfylt for måleserien

Når det gjelder spredningen av målingene, illustrert i figurene 21–24, viser heller ikke disse en klar forbedring ved målemetode II i forhold til målemetode I. Unntaket er målingene gjort med iPhone 5 med Lambert som viser en klar forbedring (figur 21). Ellers er spredningen av målingene omtrent lik for de to målemetodene.

Dette gjelder også den beste horisontale måleserien, gjort med Samsung GS3 med GeoClino. Spredningen av målingene er ikke nevneverdig forbedret ved de horisontale målingene, men

gjennomsnittet er betydelig bedre; 2,9° gjennomsnittsavvik mot 7,7° for målingene gjort etter metode I. Dette ser en som en «forskyvning» av punktskyen ned mot 0° avvik i figur 21.

Mens 6,1 % av målingene fortsatt ligger utenfor kravet på $\pm 5^\circ$, viser resultatene at kun 4,1 % faller utenfor $\pm 6^\circ$. Dette er det desidert beste resultatet fra arbeidet når det kommer til nøyaktighet av strøk og tyder på at å utvikle en applikasjon som krever en to-stegs strøk- og fallmåling etter målemetode II kan være en vei å gå.

7.6 Selvindusert magnetisk påvirkning og kalibrering

En av hypotesene før feltmålingene ble gjennomført var at de digitale enhetene *selv* skulle produsere et magnetisk felt som forstyrret strøk- og fallmåling.

At de digitale enhetene selv produserer et magnetfelt av betydning er der ingen tvil om. En enkel test viste at nord-pila på det analoge kompasset roterte rundt 30° da det kom i nærheten av en smarttelefon. I hvilken grad dette tas hensyn til i de ulike applikasjonene er ukjent. Dersom dette magnetiske feltet er konstant, burde det være en enkel sak å kalibrere for det gjennom applikasjonen.

Ser en på de ulike plottene i figurene 17 til figur 21, og særlig i figur 20 kan en derimot skimte et jevnt bølgende mønster. I figur 19 ser er dessuten at de første målingene avviker vesentlig, mens etter måling nummer 20 får vesentlig bedre resultat. Disse figurene viser alle strøkmålinger, plottet kronologisk etter måle-ID, som representerer *tid*. Mønsteret *kan* være en indikasjon på at målingene forstyrres av et indre elektromagnetisk felt, produsert av den digitale enheten selv. Dette er imidlertid ikke videre undersøkt og forblir kun en spekulasjon. En bedre kalibrering vil kunne senke denne effekten.

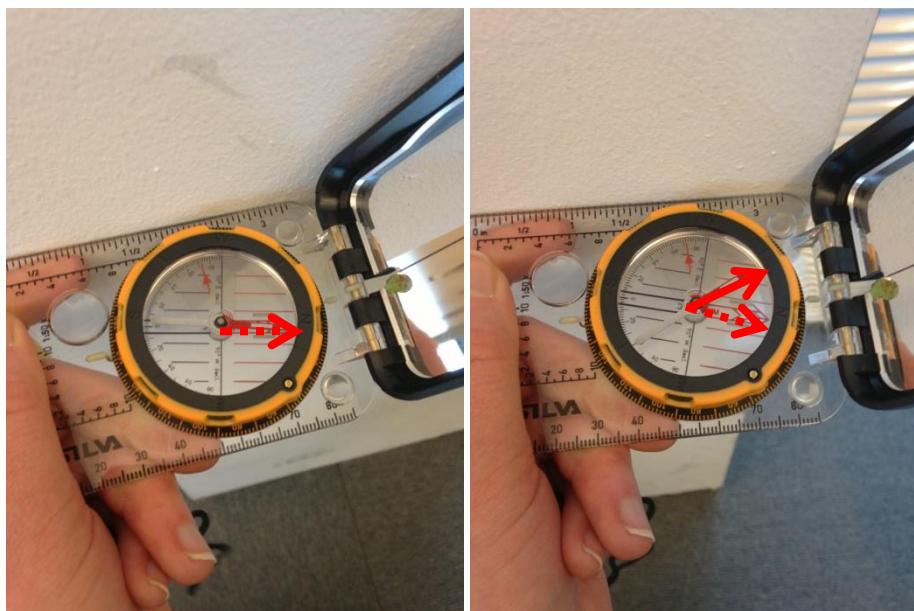
7.7 Erfaringer fra litteraturen

Sammenlignet med erfaringene fra litteraturen har vi sett at resultatene i dette arbeidet viser vesentlig dårligere resultater når det kommer til nøyaktighet av strøkmålinger. Årsaken til dette kan være så enkelt som at ulike applikasjoner og digitale enheter gir ulike resultater – som også er erfart gjennom *dette* arbeidet, hvor nøyaktigheten viser seg å avhenge både av applikasjon og digital enhet.

Av litteraturen presentert i avsnitt 4 er det studien til Lee, Suh og Park (2013) som ligner mest på dette arbeidet. I forhold til de satte kravene i *vårt* arbeid, hvor kun 5 % av strøkmålingene kan avvike mer enn 5°, oppfyller heller ikke deres resultater nøyaktighetskravene. Med et signifikansnivå på 5 % vil deres resultater, som viste et standardavvik på 3,004° tilsvare en grense på 5,88784°. Dette er fortsatt noe utenfor kravet på 5°. Deres resultater for strøkmålinger viser likevel *tydelig* bedre nøyaktighet enn resultatene presentert i avsnitt 6.

I dette arbeidet ble det lagt særlig vekt på å gjennomføre feltmålingen i et miljø så lite magnetisk påvirket som mulig. Resultatene fra Lee, Suh og Park bygger imidlertid på en stor mengde «magnetisk upåvirkede» innendørsmålinger. Hva som menes med dette er ikke beskrevet. Det er heller ikke beskrevet nøyaktig hvor utendørsmålingene er gjennomført. Det kan derfor tenkes at deres resultater blir uriktig gode ved at de styres av et sterkere sekundært magnetfelt.

I figur 26 er det vist foto av to «strøk»-målinger gjort innendørs. Kompasset holdes mot samme vegg i to punkter. Avstanden mellom de to målingene er ca. 30 cm. Kompasshuset er ikke rotert mellom de to målingene. Som en ser, endres «nord»-pilens orientering med 40° fra den første (stiplet pil) til den andre målingen (heltrukket pil). Dette er typisk oppførsel for både analoge og digitale kompass innendørs.



Figur 26: To kompassmålinger gjort 30 cm fra hverandre på en rett vegg innendørs. "Strøket" endres med 40° fra måling 1 (venstre) til måling 2 (høyre).

På den andre siden kan det tenkes at det utvalgte måleområdet ved fylkesvei 861 ikke var magnetisk upåvirket som antatt. Likevel, dette skulle i så fall teoretisk gitt *mindre* spredning i strøkmålingene og ikke den høye spredningen som er observert.

Med det sagt, så stilles jo naturlig spørsmålet om hva som danner det korrekte utgangspunktet for vurderingen. Det analoge kompasset påvirkes på samme måte som de digitale enhetene av sekundære magnetfelt, slik at i en feltsammenheng vil kanskje ikke feilen være like stor. Likevel må det være et mål at de digitale målingene også er nøyaktige også utenfor magnetisk påvirkede områder.

8 Konklusjoner

Målet med dette arbeidet var å gi en anbefaling om hvorvidt et digitalt geologisk kompass har tilstrekkelig nøyaktighet til å bli implementert i en planlagt geologisk kartleggingsapplikasjon til bruk ved planlegging av veg og tunnel i Statens vegvesen. Ut fra de bestemte nøyaktighetskravene og resultatene fra studien er det funnet at:

- Det vil være fornuftig og nyttig å inkludere måling av *fall* i den planlagte applikasjonen.
- Dersom strøkmålinger skal inkluderes bør det legges opp til en *to-steps måling av strøk og fall*, slik at strøket måles mens smarttelefonen/nettbrettet holdes horisontalt. Dette øker merkbart nøyaktigheten av strøkmålingene. Det må imidlertid gjennomføres flere undersøkelser på nøyaktigheten før noen endelig avgjørelse tas.

Videre viser resultatene at:

- Erfaringene fra dette arbeidet samsvarer dårlig med erfaringer fra litteraturen, hvor det generelt rapporteres om gode resultater. Det er ikke funnet noen klar årsak til dette, men en mulighet forklaring er ulik påvirkning fra sekundære magnetfelt.
- Aktivering av flymodus gir dårligere målenøyaktighet for strøket. Flymodus ser ikke ut til å påvirke fallmålingene.
- Digitale målinger på en bergskjæring viste tilnærmet lik spredning som målingene med et analogt kompass, selv om det gjennomsnittlige avviket var høyt. Dette tyder på at en bedre kalibrering av de digitale geologiske kompassene kan forbedre nøyaktigheten.
- Resultatene varierer både mellom ulike applikasjoner, men også mellom ulike smarttelefoner/nettbrett.
- Det bør gjøres videre undersøkelser av nøyaktigheten av strøkmålinger.

9 Videre arbeid

For å få et bedre bilde av nøyaktigheten til digitale strøk- og fallmålinger kan det være aktuelt å gå videre med blant annet:

- Gjennomføre flere måleserier på bergflater. Dette vil gi et bedre bilde på hvilket nivå av nøyaktighet det er hensiktsmessig å legge seg på, i tillegg til at en får testet de digitale målingene i den «virkelige verden».
- Gjøre tilsvarende målinger som i dette arbeidet med en ekstra applikasjon for iPhone 5. Lambert-applikasjonen viste dårlige resultater, men avhenger dette av programvaren eller selve smarttelefonen?
- Undersøke nøyaktigheten av *andre typer* digitale kompass på markedet (dvs. ikke smarttelefoner og nettbrett med kompass-applikasjoner). For eksempel *GeoClino* fra japanske GSI Co., Ltd (<http://www.gsinet.co.jp/>)
- Dersom applikasjonen skal benyttes under driving av tunnel må det gjennomføres en egen studie på nøyaktigheten her.

Rerferanser

- E. P. Kusumah, S. Rinaldi. (2012). *Comparison between geological compass with "digital geological compass"*. Geology Study Program, Faculty of Earth Science and Technology, Badung Institute of Technology.
- F. Fobl, F. K. Brunner, A. Wieser. (2007). *Development of a digital geological compass*. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, Geological survey of London.
- Lee, S., Suh, J., & Park, H.-d. (2013, 12). Smart Compass–Clinometer: A smartphone application for easy and rapid geological site investigation. *Computers & Geosciences*, ss. 32–42.
- Public Health England. (u.d.). *Sources and exposure to electric magnetic fields*. Hentet August 12, 2013 fra Public Health England: <http://www.hpa.org.uk/webw/HPAweb&Page&HPAwebAutoListName/Page/1317133146663>
- Turner–Jones, B. (2012). Personlig korrespondanse via e–post med Turner–Jones, utvikler av Rocklogger.
- Weng, Y.–H., Sun, F.–S., & Grigsby, J. D. (2012, 11). GeoTools: An android phone application in geology. *Computers & Geosciences*, ss. 24–30.
- WHO. (2013). *Electromagnetic fields (EMF). What are electromagnetic fields?*. Hentet August 12, 2013 fra World Health Organization: <http://www.who.int/peh-emf/about/WhatisEMF/en/index3.html>



Statens vegvesen
Vegdirektoratet
Publikasjonsekspedisjonen
Postboks 8142 Dep 0033 OSLO
Tlf: (+47 915) 02030
publvd@vegvesen.no

ISSN: 1893-1162

vegvesen.no

Trygt fram sammen