

EPIC Title letsss go

T. C. Djupvik¹, O. F. Jakobsen¹, V. Aakre¹ og L. Nord-Varhaug¹

¹Institutt for fysikk, NTNU

15. april 2023

1 Sammendrag

2 Innledning

I flere århundre har jordens magnetfelt blitt brukt som et nyttig verktøy for å navigere seg rundt i verden. Kompasset kan dateres tilbake til så tidlig som 700-tallet, da araberne brukte det om bord på skipene sine (sett in kilde her - SNL (kompass)). På lik linje som i dag var magnetisk deklinasjon, avviket mellom geografisk nord og magnetisk nord, samt magnetisk inklinasjon, avviket mellom horisontalplanet og den jordmagnetiske feltvektoren, fenomener som man måtte ta hensyn til om man skulle navigere seg rundt korrekt. Det var lenge uenighet i hvorfor det ofte var et avvik mellom det kompassnålen viste og det sanne nord. Enkelte hevdet at det var feil med selve kompasset. Det var ikke før etter Kristoffer Columbus sin kjente sjøreise til Amerika i 1492 at man fant ut at avviket ikke lå hos instrumentmakerne men var noe som måtte regnes på (kilde - SNL (kompass)).

Det finnes flere måter å måle magnetisk deklinasjon på. Fram til 1990-tallet ble instrumentet Deklinatoriumbrukt til å bestemme den magnetiske deklinasjonen. Dette fungerte ved å ha en kompassnål hengende mest mulig friksjonsfritt for å måle det magnetiske nord. For å bestemme det sanne nord måler man posisjonen til eksempelvis solen eller stjerner gjennom en astronomisk observasjon. Vinkelen mellom disse to målingene gir deklinasjonen (SNL - deklinatorium). I dag brukes en kombinasjon av flere forskjellige typer utstyr, men den mest fremtredende og mest nøyaktige måten er ved bruk av satellitter (kilde her - World magnetic model - about).

Den magnetiske inklinasjonen kan måles ved hjelp av et "inklinatorium". Dette er et instrument som inneholder en magnetnål som opererer i det vertikale planet, i motsetning til et kompass som opererer i horisontalplanet. Ved å stille inn omdreiningsaksen vinkelrett på den magnetiske meridianen, halvsirkelen fra pol til pol, kan man lese av på instrumentet den magnetiske inklinasjonen (inklinometer - SNL).

I denne rapporten er målet å finne den magnetiske deklinasjonen og inklinasjonen ved hjelp av sensorene i mobiltelefonen. Det tas utgangspunkt i posisjonen til der målingen holdt sted, samt to referansepunkt for å finne geografisk nord. Ut ifra denne informasjonen kan man bruke sensorene i mobiltelefonen til å finne magnetisk nord. Deretter kan man regne ut magnetisk deklinasjon og inklinasjon. Rapporten består av teorien og metoden som ligger bak målingene og utregningene. Deretter vil resultatene for målingene bli fremlagt. Til slutt vil en diskusjon av resultatene og feilkildene bli lagt fram.

3 Teori

Jorda er omsluttet av et magnetfelt, som kan tilnærmes med en dipolorientert omtrent i flukt med rotasjonsaksen. Jordas magnetiske sørpol befinner seg i nærheten av jordas geografiske nordpol, og magnetisk nordpol befinner seg i nærheten av geografisk sørpol. Presiseringen "i nærheten av" er således viktig i forbindelse med dette prosjektet, ettersom dette gir opphav til fenomenet deklinasjon. Den magnetiske sørpolen befinner seg nemlig nord i Canada, og ikke ved nordpolen. Resultatet er at et magnetisk kompass vil orientere seg mot nord i Canada, og ikke mot geografisk nord, noe som kan forårsake problemer ved for eksempel navigasjon etter kompass. Denne misvisningen kalles deklinasjon og blir oppgitt som vinkelen mellom geografisk nord og retningen på magnetfeltet. På grunn av asymmetrien til de magnetiske polene i forhold til rotasjonsaksen, vil deklinasjonen variere og være avhengig av posisjonen på jorda.

Et annet fenomen er inklinasjon som sier noe om hvor mye magnetfeltet peker nedover. Ettersom magnetfeltlinjene ikke følger jordas overflate vil magnetfeltet peke i mer eller mindre grad nedover mot bakken. Inklinasjonen blir derfor oppgitt som den vertikale vinkelen mellom horisontalen og magnetfeltet.

3.1 Phyphox

Phyphox er en app man kan laste ned på telefonen sin, som lar brukeren bruke telefonen sine sensorer til å foreta ulike målinger. Deriblant finnes det et magnetometer som lar en måle magnetfelt-styrken langs alle koordinataksene til telefonen, i tillegg til absolutt feltstyrke. Se <https://phyphox.org/sensors/> for mer informasjon om sensorer og koordinatsystemet til telefonen.

3.2 Hvordan måle inklinasjonen

For å måle inklinasjonen, trenger en kun å finne magnetfelt-styrken i horisontal- planet og i vertikal retning. Da blir formelen for inklinasjonen slik:

$$\gamma = \arctan \frac{-B_z}{B_H} \quad (1)$$

Hvor B_z er feltstyrken i z-retning, og B_H er feltstyrken i horisontalplanet. Minustegnet foran B_z kommer av at B_z vil være en negativ størrelse, men vi ønsker en positiv vinkel for inklinasjonen. Når vi foretar målingene ved hjelp av phyphox får vi derimot ikke feltstyrken i planet eksplisitt, men i komponentform i x- og y-retning. Formelen vi kommer til å bruke blir dermed

$$\gamma = \arctan \frac{-B_z}{\sqrt{B_x^2 + B_y^2}} \quad (2)$$

hvor B_x og B_y er henholdsvis magnetfeltstyrken i x- og y-retning.

3.3 Hvordan måle deklinasjonen

For å finne ut deklinasjonen kreves det at vi vet hvor både magnetisk sør og geografisk nord er, for så å kunne regne ut vinkelen mellom dem. For å oppnå dette, kan det benyttes et mellomsteg, et fast referansepunkt, som man relaterer både magnetfeltet og geografisk nord til. Hvis man så finner vinkelen mellom magnetfeltet og referansepunktet, og geografisk nord og referansepunktet, kan deklinasjonen regnes ut basert på dette. Gitt vinklene ovenfor blir deklinasjonen

$$\alpha = \beta - \theta \quad (3)$$

hvor β er vinkelen mellom referansepunktet og magnetfeltet, og θ er vinkelen mellom referansepunktet og geografisk nord.

3.3.1 Vinkel mellom referansepunkt og magnetfelt

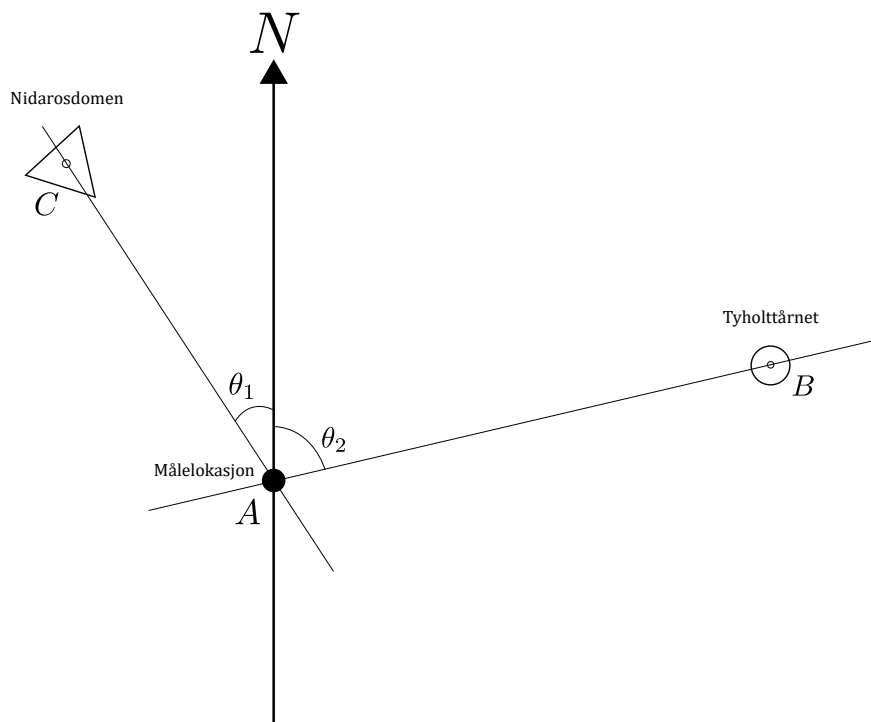
Vinkelen mellom referansepunktet og magnetfeltet kan bli funnet ved å sette opp telefonen sitt koordinatsystem slik at vinkelen mellom det og referansepunktet er kjent når en tar målingene. Gitt dette oppsettet blir vinkelen mellom magnetfeltet og koordinatsystemet

$$\phi = \arctan \frac{B_y}{B_x} \quad (4)$$

og dermed mellom referansepunktet og magnetfeltet

$$\beta = \psi - \phi = \psi - \arctan \frac{B_y}{B_x} \quad (5)$$

hvor ϕ er vinkelen mellom referansepunktet og koordinatsystemet.



Figur 1: Koordinatene til B og C blir estimert ved hjelp av Google Maps. Koordinatene til målelokasjonen A ble målt ved hjelp av Phyphox. θ_1 og θ_2 er vinklene hhv. vinkel mellom spiret på Nidarosdomen og nord, og mellom Tyholtårnet og nord.

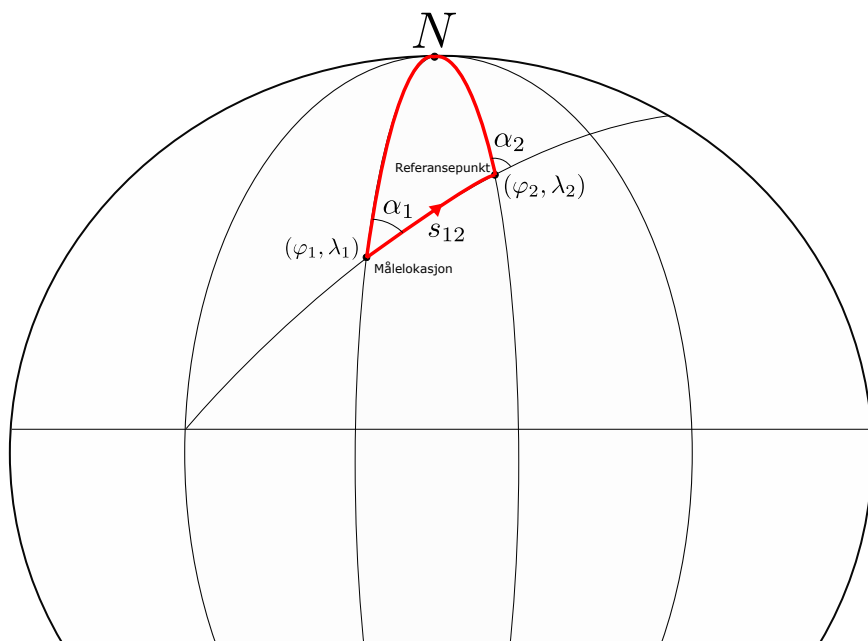
3.4 Posisjon Nidarosdomen, Tyholt

3.5 Vinkel mellom referansepunkt og nord

For å finne vinkler på jordoverflaten brukes en ellipsoidisk modell av jorden. Vi har valgt å bruke WGS-84 (World Geodetic System) sin referanseellipsoide. Vinkelen mellom meridianen (linje fra geografisk nordpol til geografisk sørpol) gjennom målelokasjonen og kurven fra målelokasjonen til referansepunktet kalles asimut og gis ofte symbolet α <https://naob.no/ordbok/asimut> (se figur 2). Problemet man står ovenfor da er:

Finn asimuten α_1 gitt to punkter på jordoverflaten (φ_1, λ_1) og (φ_2, λ_2) , hvor φ er breddegradene og λ er lengdegradene.

Dette problemet blir kalt **Inverse Problem** i *Algorithms for geodesics* (2013) [2]. Karney presenterer en metode for å løse slike problemer. Python-biblioteket *geographiclib* implementerer denne; funksjonen `geodesic.Geodesic.WGS84.Inverse()` tar inn to punkter og løser for geodetisk avstand samt de to asimutene [3] (se figur 2).



Figur 2: Vinkelen vi er ute etter er α_1 . Gitt to punkter på overflaten av den ellipsoidiske modellen av jordkloden gir algoritmen til Karney den geodetiske avstanden s_{12} og de to asimutene α_1 og α_2 .

4 Metode

Utstyr:

- Telefon
- Telefonholder
- Trefot
- Vater

For målingene ble en trefot brukt for å stabilisere telefonen og sørge for minst mulig bevegelse som kunne påvirke resultatene. Et vater siktet først inn på Nidarosdomen og telefonen ble lagt ved siden av vateret. Som figur (...) viser. Før alle målingene ble mobilprogrammet Phypox kalibrert ved å snu rundt på mobilen i rundt 30 sekunder. Det ble så gjort tre målinger med tre forskjellige mobiler. Dette gjentok seg tre ganger..... Målingene ble gjort rett utenfor hovedbygningen til NTNU i starten av broen på veien "Øvre Alle".

Målesett	Person	Avg	Median	Stdev
Nidarosdomen	<i>Jakob</i>	78.69426775501927	78.81940482037227	0.4061147610786631
	<i>Thobjørn</i>	79.12018430173728	79.30565009143876	0.8022059718097903
	<i>Vemund</i>	80.4410143256388	80.5640018135939	0.3634180356735184
Tyholt	<i>Jakob</i>	74.00525470076137	73.99374283473165	0.1696097617744345
	<i>Thobjørn</i>	69.84405313063458	69.84481628975762	0.23783707908135124
	<i>Vemund</i>	64.88396226885696	64.88878650273976	0.1536602040364709
Tyholt flymodus	<i>Jakob</i>	-	-	-
	<i>Thobjørn</i>	69.51471848904954	69.50812397471903	0.23377230938795532
	<i>Vemund</i>	64.01113226614285	64.00077502713458	0.19637870559584572
Tyholt restart	<i>Jakob</i>	70.24494392624547	70.23952699923372	0.14105773528789897
	<i>Thobjørn</i>	70.22236255930493	70.19965196059098	0.3584978803732806
	<i>Vemund</i>	64.02981427807558	64.0301616779955	0.15070723547695047

5 Resultat

5.1 Inklinasjon

5.2 Deklinasjon

6 Diskusjon

Referanser

- [1] Christoph Brüne. LABORATORIUM I FY1003 ELEKTRISITET OG MAGNETISME. NTNU Institutt for fysikk, 03. jan. 2023.
- [2] Karney, C.F.F. Algorithms for geodesics. J Geod 87, 43–55 (2013). <https://doi.org/10.1007/s00190-012-0578-z>
- [3] Charles F. F. Karney. GeographicLib. 2022. <https://geographiclib.sourceforge.io/>