

JANUAR 2026

FØRDEPAKKEN - MAGNETFELT

ADRESSE COWI AS
Inger Bang Lunds vei 4
5059 Bergen
Norway
TLF +47 02694
WWW. cowi.com

PROSJEKTNR. DOKUMENTNR.
A293066 315532_P_900_P00_0071

VERSJON	UTGIVELSESDATO	BESKRIVELSE	UTARBEIDET	KONTROLLERT	GODKJENT
IFI 1.7	29.01.2026	Lagt til N-V snittet i tillegg til eksisterende F-M snittet.	LAOI	INLS	INLS
IFI 1.6	25.11.2025	Endring i last og kabelsett. Oppdateringer etter tilbakemeldinger, gjennomført avanserte kalkulasjoner	LAOI	INLS	INLS
IFI 1.5	20.06.2025	Nytt lastscenario + oppdatering	LAOI	INLS	INLS
IFI 1.4	26.05.2025	Oppdatert etter kommentarer	LAOI	INLS	INLS
IFI 1.3	19.05.2025	Nytt lastscenario	LAOI	INLS	INLS
IFI 1.2	17.02.2025	Korrekturlesing	LAOI	INLS	INLS
IFI 1.1	30.01.2025	Oppdatering av notatet	LAOI	INLS	INLS
IFI 1.0	10.01.2025	Kalkulasjonsnotat	LAOI	INLS	INLS

INNHold

1	Introduksjon	3
1.1	Antagelser	4
2	Teori og metode	4
2.1	FEMM løsning	4
2.2	Biot-Savarts lov	5
2.3	Input til modell og beregning	6
3	Resultater	8
3.1	FEMM kalkulasjon uten skjold	8
3.2	Validering av FEMM modell med skjold	10
3.3	Resultater fra FEMM U-skjold	12
4	Diskusjon og alternativer	14
5	Konklusjon	17
6	Referanser	17

1 Introduksjon

Førdepakken skal søke konsesjon og har behov for å vise reduksjon av magnetfelt. BKK har kontaktet COWI for hjelp med kalkulasjon i denne fasen av prosjektet.

For å redusere magnetfeltet er det valgt å bruke Finite element method magnetics (FEMM) for å beregne dempning av magnetfeltet ved bruk av aluminiumsplater. Modellen som blir satt opp i FEMM blir validert igjennom ligningene beskrevet i [1]. Ligningene er beregnet via Python, med inputverdier fra REN-Grøft. Python koden er utarbeidet av COWI og følger analytiske og semi-analytiske metoder for kalkulasjon. Det er antatt at FEMM vil være mer nøyaktig, ettersom det tar hensyn til maxwells ligninger i 2D.

Det er to grøftesnitt som er i fokus for denne rapporten, de er merket med F-M snittet og N-V snittet. Begge snittene er i nærheten av der personlige boliger og eller barnehager. Det er derfor nødvendig å vurdere magnetfeltet og skjermingstiltak.

Det er valgt å simulere et konservativt lastscenario. Der konstant last med simulert spenning følger oppsettet som er satt i Tabell 1 for F-M snittet og Tabell 2 for N-V snittet. Det skal påpekes at høyere laster kan forekomme på disse kablene, men i kortere perioder. Forutsetningene som er avklart med BKK og COWI er vist i tabellene under Tabell 1 og Tabell 2.

Tabell 1: Kabeltype og kabelsett for F-M Snittet

Kabel	Spenning	Strøm	Kabelsett nr.
Lavspent TFXP 240 4-leder	0,2 kV	140 A	4
TSLF 240 Trekant konfigurasjon	22 kV	80 A	3
TSLF 24 kV 800A	22 kV	450 A	2
TSLF 145kV 2000A	66 kV	800 A	1

Tabell 2: Kabeltype og kabelsett N-V Snittet.

Kabel	Spenning	Strøm	Kabelsett nr.
Lavspent TFXP 240 4-leder	1 kV	140 A	5
TSLF 240 Trekant konfigurasjon	22kV	80 A	4
TSLF 240 Trekant konfigurasjon	22 kV	80 A	3
Lavspent TFXP 240 4-leder	1 kV	140 A	2
TSLF 145kV 2000A	66 kV	800 A	1

Endring i kabel konfigurasjon (faseorientering) påvirker magnetfeltet. Dette samsvarer med analysene som er gjort i [2] og [3], der endring i kabel-konfigurasjon, fase-konfigurasjon og antall kabler kan påvirke magnetfeltet positivt eller negativt. Andre forutsetninger som er lagt til grunn er at analysen vil vise hvilken type dempning et aluminium skjold kan oppnå, men det bør fortsatt legges vekt på hva litteraturen anbefaler.

1.1 Antagelser

Antagelsene er som følger:

- › Relativ permeabilitet fra bakken er antatt til å være lik Granitt.
- › Analysen viser ikke påvirkning av temperatur.
- › Alle antagelser som REN-Grøft legger til grunn vil avvike fra sammenligningen i denne analysen.

2 Teori og metode

Metoden som er brukt i dette notatet er å validere modell oppsettet i FEMM ved bruk av REN-Grøft uten skjold, og bruk av Biot-Savarts lov for validering av modell med et langt plateskjold. Kapitlene nedenfor vil gå igjennom teorien beskrevet for de ulike metodene. Uten skjold blir begge sammenlignet med REN-Grøft. Som er ansett som et gyldig verktøy i Norge.

2.1 FEMM løsning

Det brukt Finite element method (FEM) for å løse Faradays/Maxwells ligninger i 2D. Ved bruk av denne metoden løses ligningene under iterativt med grense verdier, skjermstrømmen bli kalkulert som en induert strøm. Denne metoden og programvaren er testet og godkjent for magnetiske problemer [5], [6]. Dette tillater da nøyaktig kalkulering av U-Skjold og andre skjold geometrier.

FEMM bruker Maxwells-ligninger for å løse magnetfelt vektorene i XY- planet. Disse ligningene er kjent på differensial form som:

$$\nabla \times H = J + \frac{\partial D}{\partial t}$$

$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t}$$

$$\nabla \cdot B = 0$$

$$\nabla \cdot D = \rho$$

Den første ligningen (Amperes-Maxwell lov) er det antatt for lave frekvenser at $\frac{\partial D}{\partial t}$ blir neglisjerbar. En kan da beskrive magnetfeltet B med følgende ligninger:

$$B = \mu H$$

$$B = \nabla \times A$$

Der A er vektorpotensialet i 2D og μ er magnetisk permabilitet, ved å sette disse forholdene inn i Maxwells ligninger kan en løse følgende:

$$\nabla \cdot (v \nabla A) + j\omega \sigma A = -J$$

Der $v = \frac{1}{\mu}$ og σ er ledningsevne til materialet. Etter å ha løst for A igjennom hele XY-planet med alle elementer og induert strøm blir det totale magnetfeltet på valgt observasjonspunkt oppgitt.

2.2 Biot-Savarts lov

Kalkulasjonene er basert på ligningene som er henvist i [1]. Magnetfelt er kompliserte temaer, og er som oftest beregnet ut med FEM analyser. Eksempel på slike analyser er REN-Grøft og FEMM. Biot-Savarts lov metoden gjør en forenkling, og beregner magnetfeltet med en konstant AC strøm.

$$B(x, y)_k = \frac{\mu * |I|}{2 \pi R} * \Phi \exp j \Phi_I \quad 1 (1)$$

Ligning (1) beskriver magnetfeltet dannet i XY-planet fra en linje strøm. Dette er basisen for beregningen av magnetfeltet. Siden kablene er skjermet må også det motvirkende magnetfeltet induisert i skjermen også hensyntas. Dette er gjort ved å beregne den komplekse strømmen som går i skjermen. Denne er beregnet ved å sette opp en simulasjon i REN-Grøft. Det resulterende magnetfeltet blir da:

$$B(x, y)_{net} = \sum_{k=1}^K B_{kjerner_k} + B_{skjerm_k} \quad 2 (2)$$

Ligning (2) beskriver summasjonen av vektorfeltet som et bidrag fra kjerne og skjerm for kabel k. Fra ligning (1) er fasene også hensyntatt. Det betyr Φ_{skjerm} er forskjøvet fra kjernen, så vil den induerte strømmen i skjermen skape et motvirkende magnetfelt til det kjernen skaper.

For å hensynta permeabiliteten i bakken er det valgt å lage en bildestrøm som tar hensyn til denne permeabiliteten. Det vil si at linje strømmene brukt i ligning (1), er skalert med følgende faktor:

$$I_{ny} = \frac{2\mu_b}{1+\mu_b} * I_{gammel} \quad 3 (3)$$

Ligning (3) tar hensyn til permeabiliteten i bakken og skalerer strømmen for å få en mer riktig fremstilling av hvordan magnetfeltet endrer seg igjennom bedre ledende løsmasser.

Metoden videre blir å sammenligne denne kalkulasjonen med den originale REN-Grøft kalkulasjonen uten skjold. Videre viser beregningen reduksjon av magnetfelt ved bruk av et plateskjold. Det er dokumentert at skjold geometri som U-skjold har bedre effekt [3], men slike geometrier vil ikke være innenfor antagelsene som denne kalkulasjonen inneholder.

For skjold av typen aluminium må en beregne strømmen induert i skjoldet, grunnet varierende felter, som beskrevet i Maxwells sine ligninger.

Skjold av denne typen fungerer på følgende måte:

- › Varierende felt induserer en strøm kalt (Eddy currents).
- › Denne strømmen skaper et motvirkende magnetfelt til kabelen.

Skjoldfaktor beskriver hvor effektivt skjoldet demper magnetfeltet, den enkleste formen er beskrevet som:

$$SF = \frac{B_0}{B_s} \quad 4 (4)$$

Ligning (4) beskriver hvor effektivt skjoldet er. Under skjoldet er skjoldfaktoren 1, mens over skjoldet skal skjoldfaktoren være større enn 1. I denne kalkulasjonen hensyntar vi et enkelt plateskjold.

Typisk så øker effekten med grad av innkapsling rundt kablene. Skjoldtyper som U-skjold kan være bedre, men dyrere. Strømledende skjold opplever skjoldfaktorer omkring 60%, men 80 % reduksjon er rapportert i visse prosjekter henvist til [2], [3], [4].

Homogen reduksjonsfaktor blir beregnet på følgende måte:

$$A_{faktor} = e^{-\frac{d}{\delta}} \quad 5 (5)$$

Ligning (5) viser reduksjonsfaktoren fra et ledende skjold grunnet tykkelsen på platen og dybden det magnetiske feltet penetrer platen. Der «skin depth» dybden er definert som:

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu \sigma}} \quad 6 (6)$$

Ligning (6) antar at skjoldet er uniformt, og har lik reduksjon over hele platen. Ligningen beskriver hvor dypt den magnetiske fluxen penetrer skjoldet.

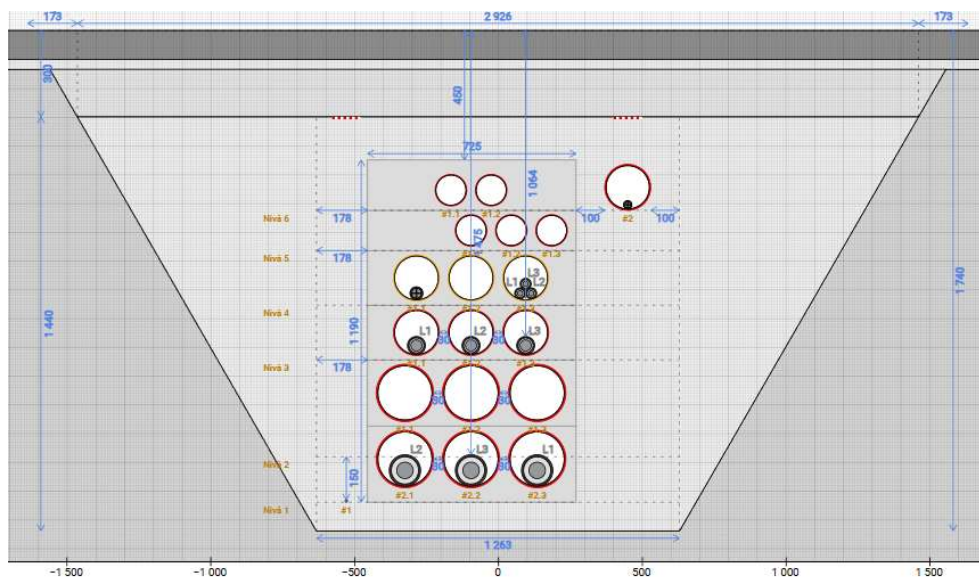
2.3 Input til modell og beregning

Strømmen som går igjennom er hentet fra REN-Grøft simuleringer, denne forenklingen er blitt brukt til å kalkulere magnetfeltet generert fra kablene. Rutenettet som er satt opp i denne kalkulasjonen plasserer kablene under bakken etter mål satt opp i REN-Grøft.

2.3.1 F-M snittet

I F-M snittet er det nederste kabelsettet orientert L2, L3, L1 plassert ca. 1,5 m under bakken. Kabelsett 2 er orientert L1, L2, L3 og er plassert 1,0 m under bakken. Det tredje kabelsettet i trekant-konfigurasjon er plassert 0,9 m under bakken. Det siste kabelsettet er lavspent kabelen og er plassert 0,88 m under bakken.

Kabelkonfigurasjonen følger samme oppsett som REN-Grøft simuleringen er vist i Figur 1.



Figur 1: Kabeloppsett med avstander. F-M Snittet

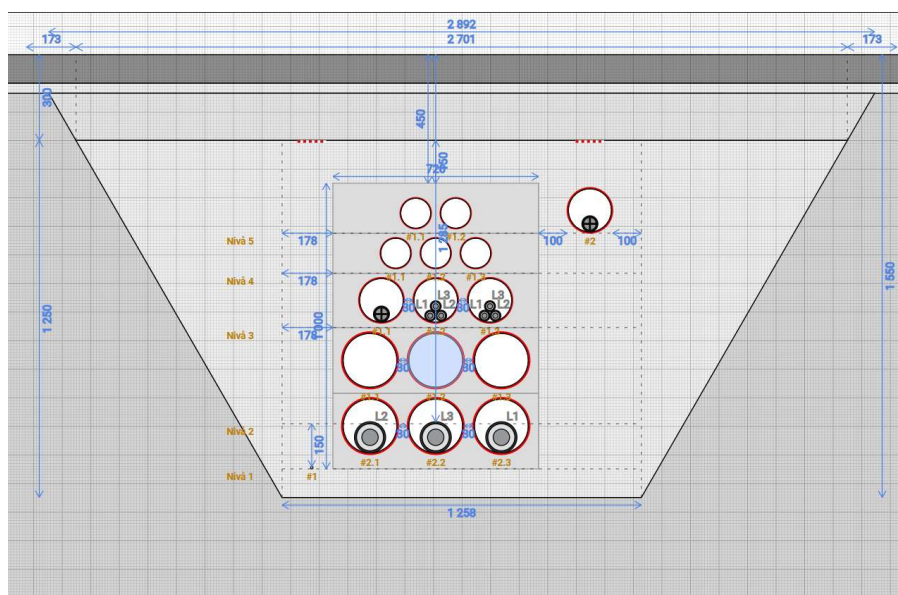
Strømmen som er brukt i kalkulasjonen er hentet fra REN-grøft simuleringen. Den komplekse strømmen er henvist i Tabell 3. Merk at skjermstrøm og jordstrøm ikke er inkludert i FEMM modellen, dette er fordi FEMM beregner de selv basert på oppsettet.

Tabell 3: Strøm simulert per kabel sett og fase hentet fra REN-Grøft simulering.

Fase	Kjernestrøm	Skjermstrøm	Kabelsett
L1	$800 + 0j$	$-9,4 - 256,7j$	1
L2	$-400 - 692,8.0j$	$-110 + 178,1j$	1
L3	$-400 + 692,9.0j$	$168,7 + 36,4j$	1
L1	$450 + 0j$	$-64,9 - 92,0j$	2
L2	$-225 + 387.7j$	$-81,3 + 76,5j$	2
L3	$-225 - 387.7j$	$127,0 + 20,4j$	2
L1	$80 + 0j$	$11,3 + 13,9j$	3
L2	$-40 + 69.3j$	$9,6 - 4,9j$	3
L3	$-40 - 69.3j$	$16,6 - 6,1j$	3
L1	$140 + 0j$	NA	LV
L2	$-70 + 121,2j$	NA	LV
L3	$-70 - 121,2j$	NA	LV
G	$-43,9 - 20,0j$	NA	G

2.3.2 N-V Snittet

I N-V snittet er det noen endringer fra F-M snittet, det er benyttet 2 like LV ledere og det er benyttet to trekant forlegnings kabler. Der det nederste kabelsettet er forlagt L2, L3, L1 er plassert ca. 1,3 m under bakken. LS og trekant kabalene er om lag 0,8 m under bakken siste kabelsettet, kabelsett 5 LV2 er plassert ca. 0,6 m under bakken. Kabelarrangementet er vist i Figur 2.



Figur 2: Kabeloppsett i N-V snittet

Tabell 4: Strømmer basert på N-V snittet.

Fase	Kjernestrøm	Skjermstrøm	Kabelsett
L1	800 + 0j	-15,8 - j234,0	1
L2	-400 - 692,8.0j	155,2 + j37,5	1
L3	-400 + 692,9.0j	-91,9 + j167,7	1
L1	140 + 0j	Na	2 LV1
L2	-70 + 121,2j	Na	2 LV1
L3	-70 - 121,2j	Na	2 LV1
L1	80 + 0j	-11,1 - j20,3	3
L2	-40 + 69.3j	-17,5 - j11,0	3
L3	-40 - 69.3j	-3,6 - j8,1	3
L1	80 + 0j	-2,0 - j9,0	4
L2	-40 + 69.3j	4,7 + j0,7	4
L3	-40 - 69.3j	-8,2 + j0,3	4
L1	140 + 0j	NA	5 LV2
L2	-70 + 121,2j	NA	5 LV2
L3	-70 - 121,2j	NA	5 LV2
G	14,2 + j69		G

3 Resultater

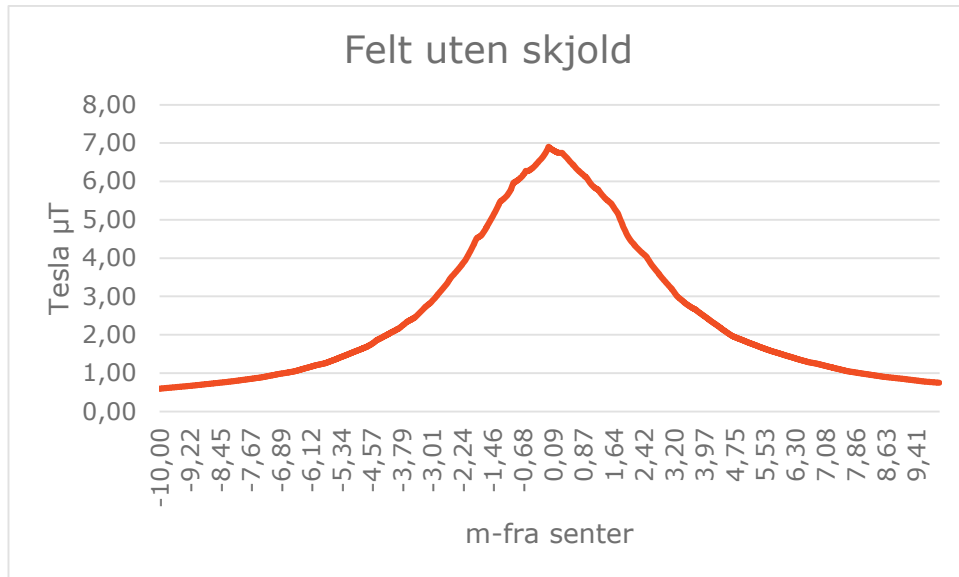
Sammenlignet med REN-Grøft så avviker resultatet uten skjold noe, for begge metodene. Dette er fordi de forskjellige bakkematerialene vil gi en annen permeabilitet sammenlignet med det som er antatt her i notatet (Granitt 1.026 μT). Hvilken metode og hvordan REN-Grøft beregner magnetfeltet er ukjent, men antatt at programmet bruker «mesh» basert på de forskjellige termiske verdiene. FEMM bruker også et «mesh»-system, men fokuserer på de magnetiske verdiene, permeabilitet i bakke og andre materialer kan også legges til som forskyver verdiene noe.

3.1 FEMM kalkulasjon uten skjold

Sammenligningen uten skjold blir noe lavere enn det som er vist i REN-Grøft uten skjold. Forskjellen er på om lag 0,4-1,9 μT . FEMM resultatene er godt sammenlignet med Biot-Savarts lov og REN-Grøft. Videre stemmer antagelsen uten skjold bra mot REN-Grøft simuleringen for begge snittene.

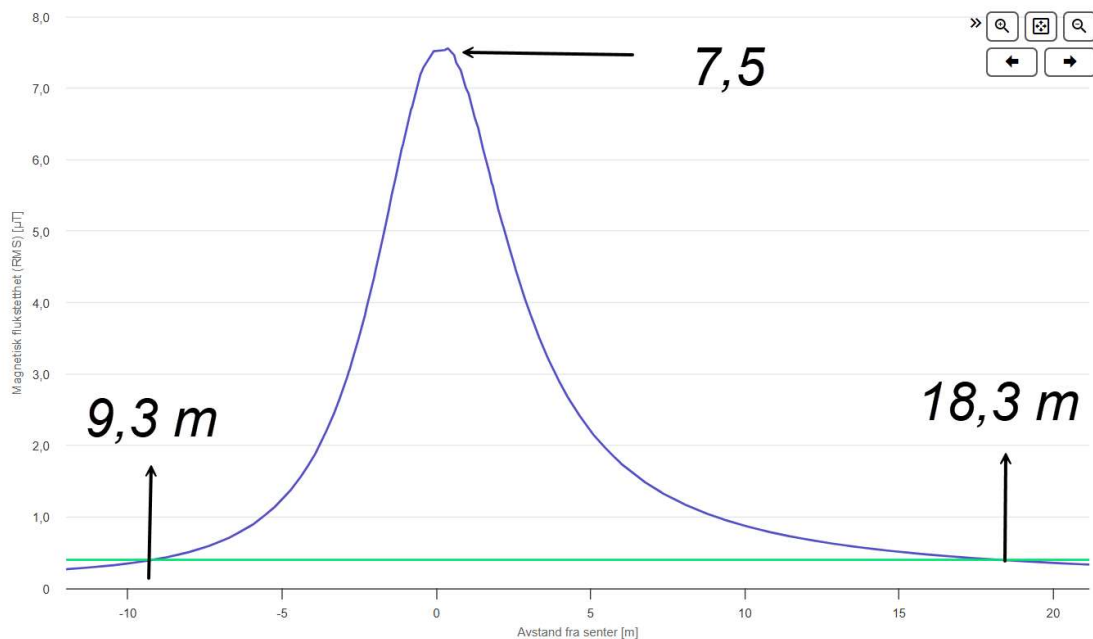
3.1.1 F-M Snittet

Resultatene fra FEMM uten skjold er vist i Figur 3 for F-M snittet. Det er noe lavere topp verdi i FEMM kalkulasjonen opp mot REN grøft, det er også noe avvik i avstand fra senter før feltet faller under utredningsnivået. Topp verdien er redusert med om lag 0,5 μT , og noe bredere sammenlignet med REN grøft.



Figur 3: FEMM kalkulasjon av magnetfelt uten skjold.

Sammenlignet med REN-grøft er verdiene like, med noe lavere topp verdi, fra Figur 4. Formene på kurven er tilsynelatende lik som er å forvente når det ikke er annen ledende masse, eller annen magnetisk masse som kommer i veien for magnetfeltet.

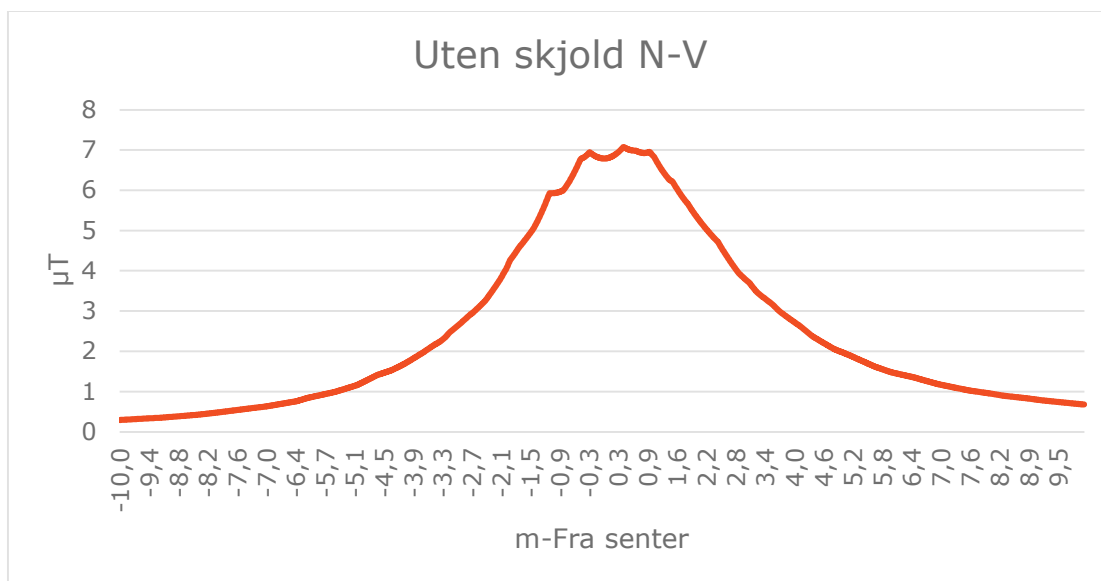


Figur 4: REN-Grøft simulering uten skjold.

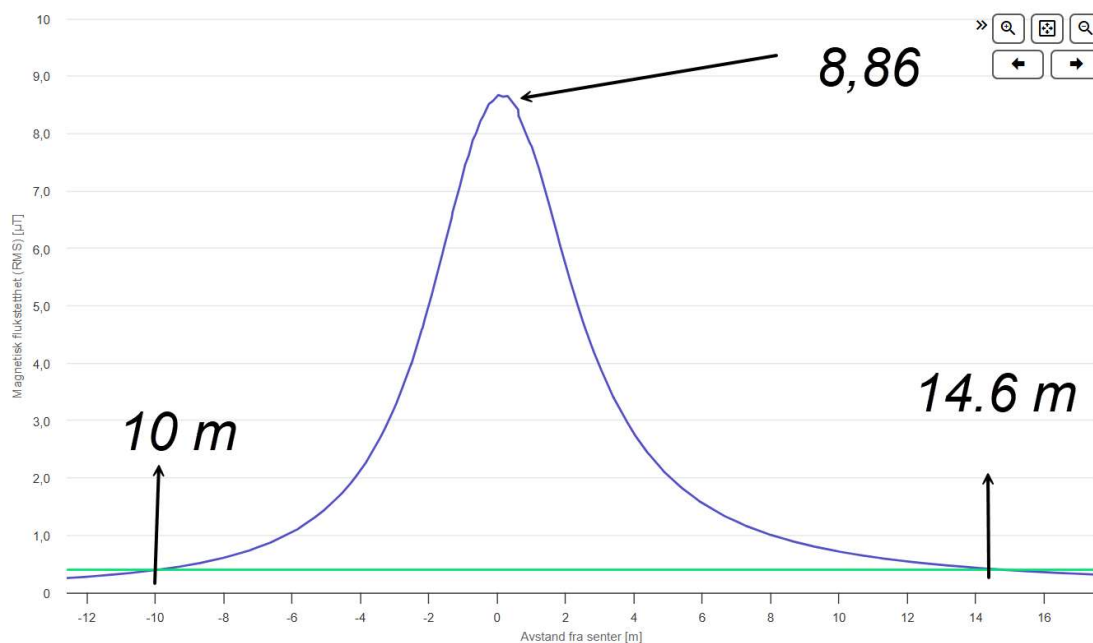
3.1.2 N-V Snittet

Observert for N-V snittet er det lignende observasjoner som for F-M snittet. I hovedsak er det lignende peak og form på magnetfeltet 1 m over bakken, sammenlignet mot Ren grøft. Hovedforskjellen er noe lavere peak, simulert i FEMM på omkring 1,86 μT , og noe smalere kurve før feltet faller

under utredningsnivå, ca. 1 m. Feltene fra begge kalkulasjons metodene er observert i Figur 5 og Figur 6. Sammenligningen for N-V snittet uten skjold er ansett som god nok, forskjeller kan skyldes verdier for jordsmonn, og dimensjonering av skjerm for hver kabel.



Figur 5: FEMM Kalkulasjon uten skjold N-V snittet.

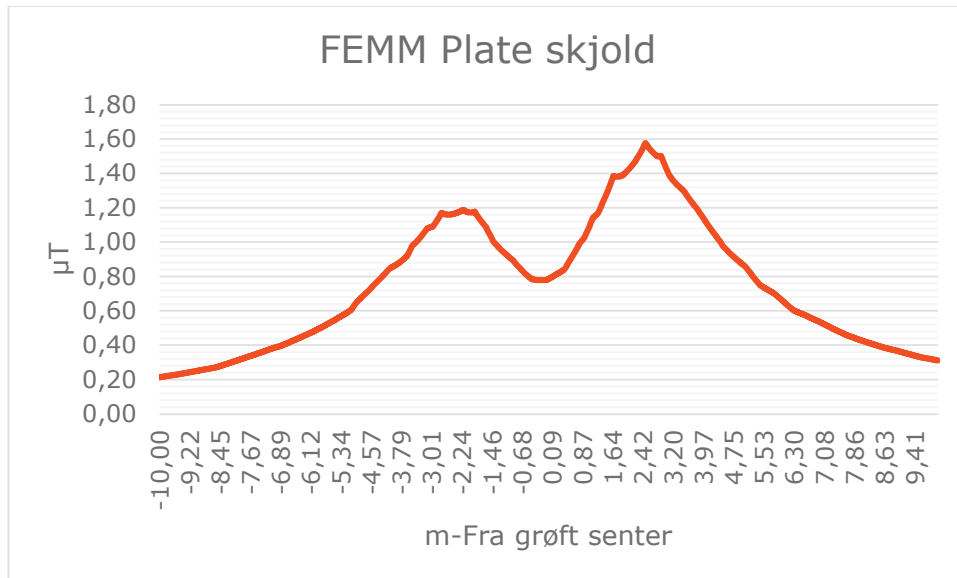


Figur 6: REN grøft kalkulasjon av N-V snittet.

3.2 Validering av FEMM modell med skjold

For validering av metode med plateskjold er det kun fokusert på F-M snittet.

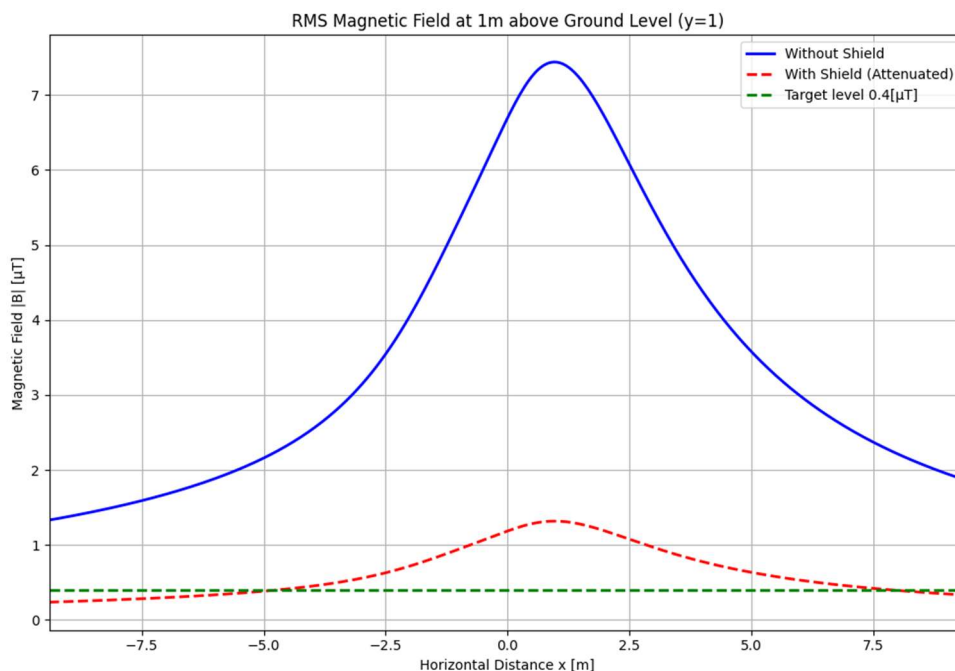
Ved å sette et 4 m langt skjold (2 m) på hver ende vil feltet reduseres noe, men det forekommer toppverdier rett på utsiden av skjoldet. Dette er observert i Figur 7, der senter av traseen blir godt dempet. Men feltet går ikke under utredningsnivå før 6,4 m og 8,2 m (venstre og høyre av traseen).



Figur 7: FEMM kalkulasjon med plateskjold.

Kalkulasjonen utført med den semi-analytiske metoden, resulterer i en topp verdi på 7,25 μT . Dette samsvarer bra med Ren-Grøft uten skjold, med et lite avvik på 0,25 μT . Bredden ut fra senter stemmer også godt overens, men tilnærmet 10 til 11 m før feltet er under 0,4 μT .

Ved å implementere et teoretisk skjold resulterer toppverdien i 1,20 μT som vist i Figur 8. Bredden blir også redusert, med om lag 5 m til venstre for senter av traseen og 7,5 m til høyre. Noe lavere enn det FEMM kalkulerer, men verdiene er sammenlignbare.



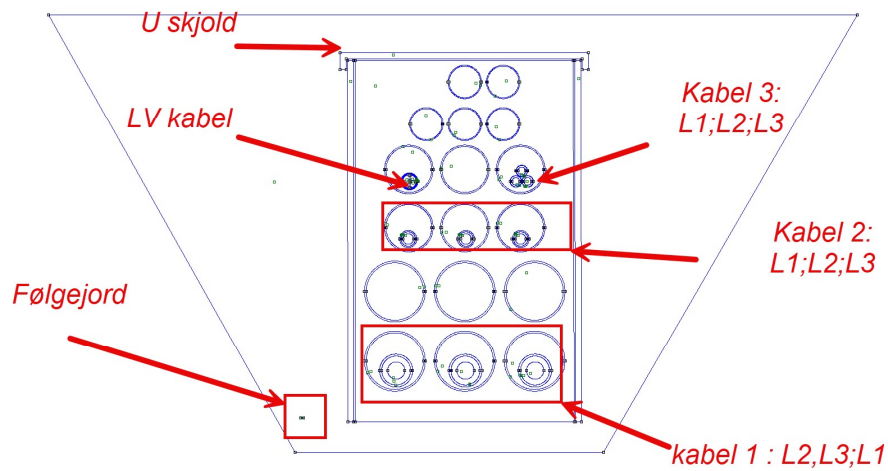
Figur 8: Biot-Savarts lov kalkulasjon for magnetfelt 1 m over bakken ($y=1$) med skjold (rød stiplet), uten skjold (blå), og utredningsnivå (grønn stiplet). Scenario 1.

Fra å sammenligne FEMM med teoretisk beregning av Biot-Savarts lov er det noen forskjeller. Hovedforskjellen forekommer med å introdusere et skjold i løsmassene vil endre strømmen som blir induert i skjermen. Den andre hovedforskjellen er antagelsen om en flat demping vil ta det originale feltet og skalere det ned, mens FEMM beregner vektorpotensialet i punktet. Det vil derfor være et lavere magnetfelt mer sentrert inn mot et plateskjold enn ut mot endene av plateskjoldet. Siste faktoren som beskriver avviket, er «uendelig langt skjold» som er antatt i den semi-analytiske metoden. Dette er ikke praktisk gjennomførbart, men nødvendig for å kunne bruke en uniform dempingsfaktor.

Modellen som er satt opp i FEMM er samlet sett vurdert, og godkjent for bruk til å utprøve andre skjold geometrier. Resultatene er sammenlignbare med det som er vist ved bruk av Biot-savarts lov for et plateskjold, og sammenlignbart med andre programmer som REN-Grøft og Biot-Savarts lov uten skjold.

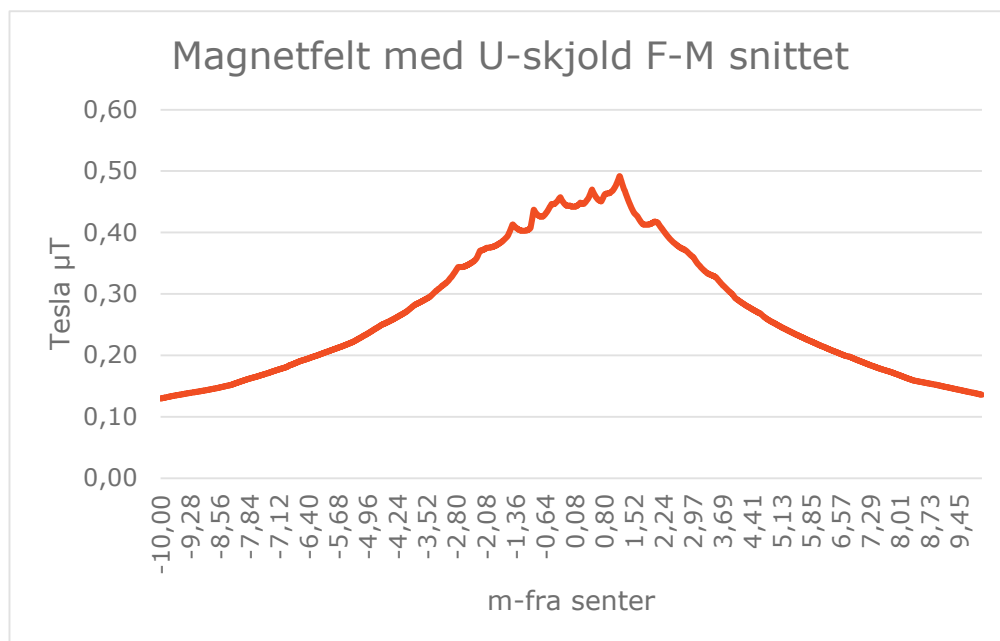
3.3 Resultater fra FEMM U-skjold

I FEMM analysen er kablene satt opp etter Nexans kabel skjema med dimensjoner. Det er benyttet et skjold som er praktisk mulig, med aluminiumsplater på hver side av betongkanalen og en plate på toppen som er knekt over betongkanalen. Oppsettet er vist i Figur 9, der fase konfigurasjonen er lik som tidligere vist. Skjold oppsettet er likt for begge snittene både F-M og N-V, det er F-M som er illustrert i figuren. Kabelarrangementet vil variere fra snitt til snitt.



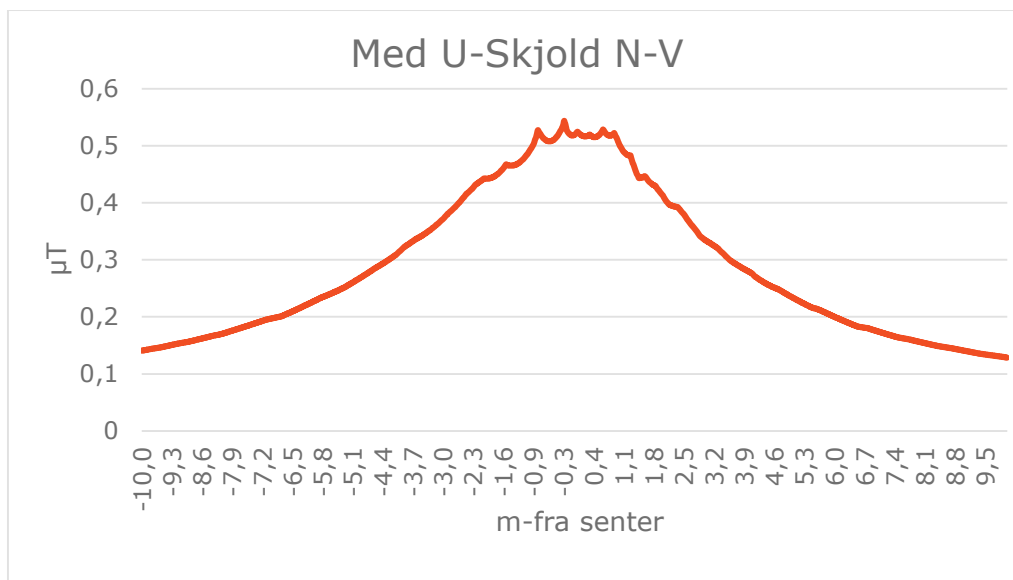
Figur 9: FEMM kalkulasjon for høyoppløsning magnetfelt. F-M snittet, likt skjold er brukt i N-V.

Ved å introdusere et U-skjold rundt betong kanalen vil magnetfeltet avta kraftig. Feltet vil falle under utredningsnivå ved om lag 2 m fra hver side av traseen. Det vil også resultere i en topp verdi på 0,5 μ T. Feltet 1 m over bakken ved bruk av et U-skjold er vist i Figur 10.



Figur 10: FEMM kalkulasjon av magnetfelt 1 m over bakken med U-skjold F-M snittet.

Ved å introdusere et likt U-skjold i N-V snittet ser vi også store forbedringer til magnetfeltet. Feltet faller under utredningsnivået ved om lag 2,6 m til venstre og 1,8 m til høyre. Feltet sin toppverdi vil også bli redusert til 0,5 μT feltet 1 m over bakken kan sees i Figur 11.



Figur 11: FEMM kalkulasjon med U-Skjold av N-V snittet.

4 Diskusjon og alternativer

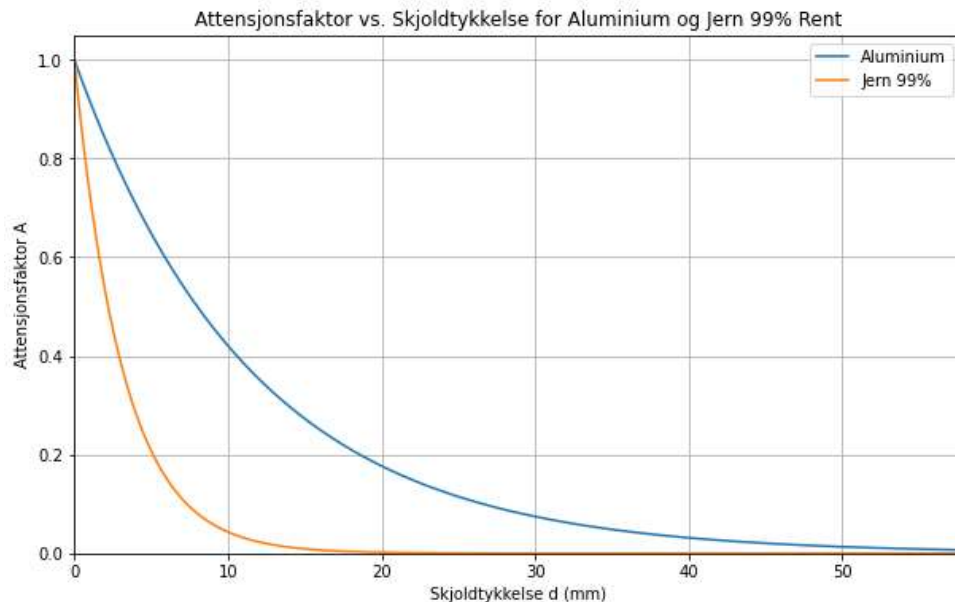
Simuleringsgrunnlaget som er gjort avviker noe fra REN-Grøft i begge metoder. Avvikene er ikke store, men verdt å nevne 0,2 -0,5 μT i topp verdi. Dette skyldes en rekke faktorer, men hovedsakelig verdier på permeabilitet hentet fra forskjellige kilder og til den grad de hensyntas. Andre faktorer som permeabilitet i bakken og nøyaktige avstander mellom fasene kan også variere med små marginer.

Metoden for å oppnå resultatene er todelt, det er tatt i bruk Biot-Savarts lov for validering av oppsettet i FEMM og sammenlignet for et plateskjold. Resultatene her viser til teoretisk demping ved homogent magnetfelt mot en homogen plate. FEMM som løser Maxwells ligninger i 2D og beregner eddy currents (virvelstrømmer) i skjoldet. Sistnevnte metode kan også løse for forskjellige skjold geometrier. [2]

Biot-Savarts metoden har fulgt formlene som er listet i [1]. Metoden viser til en pålitelig første-gangskalkulasjon, men ikke ønsket nøyaktighet for praktiske løsninger. FEMM metoden løser mer nøyaktige magnetfeltligninger og tar hensyn til grenseverdier og variasjoner.

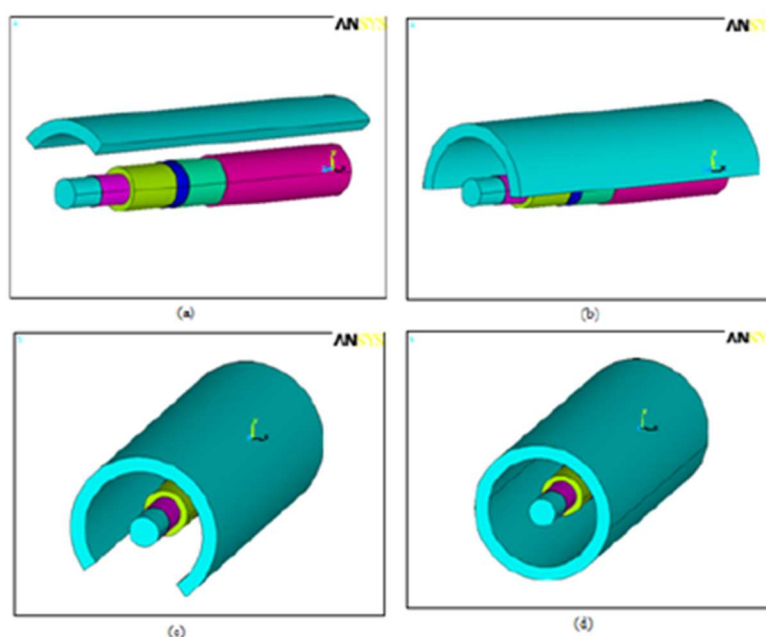
Geometrier som U-skjold gir bedre resultater. Fra litteratursøk, og anbefalinger fra CIGRE [1], [2], [7] vil optimalt resultat være å sikre kilden til magnetfeltet, men også skjerme områder av interesse. Skjoldet som foreslås for Førdepakken er derfor å dekke hele kanal området i x-retning, med en knekk på endene for å styre magnetfeltet nedover i bakken, og dekke sidene av betongkanalen. Andre løsninger er Cable-man av CFW consulting sine prefabrikkerte skjold løsninger for magnetfelt. Fra deres tester oppnår de en reduksjon av magnetfeltet på om lag 80-90 %.

I notatet er det kun vurdert aluminiumskjold. Det kan i mange tilfeller være bedre med lavt karbonstål eller jern. Sett fra Figur 12 så trenger jern en tykkelse på omkring 5-6 mm for å oppnå samme reduksjon som aluminium oppnår ved 20 mm tykkelse. Fra litteraturen så medfører jernskjold også større tap i kablene, dette kan medføre større tap over lengre perioder [3].



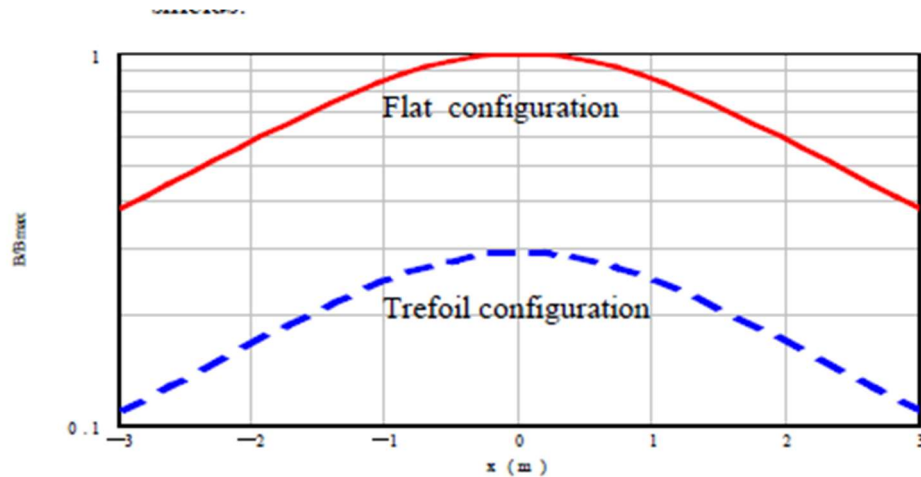
Figur 12: Attensjonsfaktor (reduksjonsfaktor) for jern og aluminium ved 50hz.

Formen på skjold har også mye å si. For en gunstig løsning bør det sees videre på CAPEX og OPEX. Da forskjellige typer skjold introduserer tap i kablene. Et annet foreslått skjold er bøyde jernskjold, disse er illustrert i Figur 13. Fordelen med denne type skjold er at du trenger lavere tykkelse (5 mm), men tapene grunnet eddy currents er større. Det vil også medføre større varmegang.



Figur 13: Jernskjold alternativ.

Det er også vist i litteraturen at orientering av kabel har stor effekt på magnetfeltet. Ved å legge kablene i trekant konfigurasjon har vist å redusere magnetfeltene signifikant [4] [9], illustrert i Figur 14.



Figur 14: Konfigurasjon av kabel og påvirkning på magnetfelt.

Videre så vil harmoniske strømmer også påvirke magnetfeltet, men det er ikke hensyntatt her. Andre tap som følge av skjold er heller ikke hensyntatt og beregnet.

5 Konklusjon

Det er beregnet reduksjon av magnetfelt ved forskjellige skjold geometrier, modellen er validert opp mot REN-Grøft og ved bruk av teoretiske ligninger. Fra resultatene er det vist at U-skjold vil redusere magnetfeltet til under utredningsnivå ved 2,24 og 2,42 m (venstre og høyre) på hver side av senter i traseen for F-M snittet. Feltet vill bli redusert under utredningsnivå 2,6 og 1,8 (venstre og høyre) på hver side av trassen for N-V snittet.

Faseorienteringer bør være likt som simulert for ønsket oppnådd resultat, avvik eller endringer i fasene kan ha stor innvirkning på det resulterende magnetfeltet. Strømpådrag bør ikke øke mye fra simuleringene som er gjort.

Denne undersøkelsen viser til aluminium skjold vill redusere magnetfeltet uavhengig av geometri. Endring i geometri vil gi bedre resultater, referer til plate mot U-skjold. Det er derfor anbefalt å bruke et U-skjold da dette vil redusere magnetfeltet betraktelig, og forsikre at feltet er under utredningsnivå innenfor bebyggelse og eller barnehager.

6 Referanser

- [1] Conseil international des grands réseaux électriques, Red., *Mitigation techniques of power-frequency magnetic fields originated from electric power systems*. Paris: CIGRÉ, 2009.
- [2] «Shielding techniques to reduce magnetic fields associated with underground power cables - Case study from Sydney - Australia».
- [3] J. C. del-Pino-López, P. Cruz-Romero, L. Serrano-Iribarnegaray, og J. Martínez-Román, «Magnetic field shielding optimization in underground power cable duct banks», *Electric Power Systems Research*, bd. 114, s. 21–27, sep. 2014, doi: 10.1016/j.epsr.2014.04.001.
- [4] H. B. Duc, T. P. Minh, D. B. Minh, N. P. Hoai, og V. D. Quoc, «An Investigation of Magnetic Field Influence in Underground High Voltage Cable Shields», *Eng. Technol. Appl. Sci. Res.*, bd. 12, nr. 4, s. 8831–8836, aug. 2022, doi: 10.48084/etasr.5021.
- [5] T. N. Tefera, G. S. Puneekar, K. Ibrahim, M. B. Tuka, og M. Bajaj, «Cable dimension determination using Finite Element Method Magnetic (FEMM) for three-core belted and gas insulated cables», *e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, bd. 10, s. 100826, des. 2024, doi: 10.1016/j.prime.2024.100826.
- [6] RadioCommunications Laboratory, Section of Applied and Environmental Physics, Dept. of Physics, Aristotle University of Thessaloniki, 54124, Thessaloniki, Hellas og K. B. Baltzis, «The FEMM Package: A Simple, Fast, and Accurate Open Source Electromagnetic Tool in Science and Engineering», *JESTR*, bd. 1, nr. 1, s. 83–89, jun. 2008, doi: 10.25103/jestr.011.18.
- [7] A. Z. E. D. Mohamed, H. G. Zaini, O. E. Gouda, og S. S. M. Ghoneim, «Mitigation of Magnetic Flux Density of Underground Power Cable and its Conductor Temperature Based on FEM», *IEEE Access*, bd. 9, s. 146592–146602, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3121175.
- [8] M. T. A. Êvo, H. De Paula, I. J. S. Lopes, R. C. Mesquita, og D. S. C. Souza, «Study of the Influence of Underground Power Line Shielding Techniques on Its Power Capability», *J Control Autom Electr Syst*, bd. 28, nr. 4, s. 541–551, aug. 2017, doi: 10.1007/s40313-017-0319-x.

Bilag A FEMM Simuleringer

