

Kontroll av hulrom på nylagte asfaltdekker med Georadar 2021



Team geologi og geoteknikk, Trond Østen, 23.02.2022



| | | | |
|--|--|-------------|------------------|
| Oppdrag: | Innovasjonsprosjekt med bruk av georadar for kontroll på nylagte asfaltdekker | | |
| Oppdragsgiver: | Drift og vedlikehold, team asfalt og fagkontrakter v/Anne-Grethe Jenssen | Dato: | 23.02.2022 |
| Planfase: | Drift | Oppdragsnr: | 99-21 |
| | Antall sider | 58 | Dokumentnr.: R01 |
| Utarbeidet av: | Trond Østen | Sign.: | |
| Kontrollert av: | Haris Brcic | Sign.: | |
| <p>Sammendrag:</p> <p>Trøndelag fylkeskommune gjennomførte i 2021 et innovasjonsprosjekt med bruk av georadar for kontroll av hulrom for nylagte asfaltdekker. Det ble gjennomført målinger på 9 strekninger, totalt ca 40 km med veg. Målingene ble fordelt på 3 asfaltkontrakter:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 4-50-2021-01 Namsos <ul style="list-style-type: none"> o Fv 30 Singsås – Hindbjørga o Fv 65 Forve bru – Svorkmo o Fv 6606 Strandvegen - 4-50-2021-02 Hitra og Frøya <ul style="list-style-type: none"> o Fv 716 Nabeita – Hammarvika o Fv 716 Utrøyveien o Fv 6466 Leirvikveien - 4-50-2021-04 Trøndelag sørøst <ul style="list-style-type: none"> o Fv 17 Sprova – Korsen o Fv 769 Lænn – Søreide o Fv 7062 Klinga - Romstad <p>Målingene ble fordelt på 3 asfaltkontrakter for å kunne gi flere entreprenører og byggeledere erfaringer med metoden, og hvilke resultat som kan fås av målingene. Georadar er en ikke destruktiv målemetode, som måler punkter hver 10 cm, men resultatet presenteres som et gjennomsnitt pr meter. Det ble gjort tre målestriper pr felt, i hjulsporene og mellom hjulspor. Georadarmålingene ble kalibrert med tre borepunkt pr strekning. Hvert borepunkt besto av tre kjerner à 100 mm. Resultatet fra georadaren ble sammenlignet med densitetsmålinger og kalibreringskjernene. Det ble ikke gjennomført noen etterkontroll, med uttak av kjerner der det indikeres høyt hulrom.</p> <p>Alt i alt synes resultatet på de fleste strekningene å gi god overenstemmelse mellom de forskjellige målemetodene. Noe variasjon vil det alltid være, da nøyaktigheten på densitetsmålingene kan variere, og det vil automatisk bli en viss forskjell mellom punktmålinger og gjennomsnittsmålinger. Hulrommet på strekningene lå hovedsakelig innenfor grensene.</p> <p>Det var imidlertid problemer med sammenhengen mellom forventet hulrom og reelt hulrom på noen av strekningene. Siden det kun ble tatt ut 3 kalibreringspunkter pr strekningen, ga dette et dårlig grunnlag til å bedømme om kalibreringskurven var riktig eller ikke. Som del av anbefalingene for videre arbeid anbefales det at antall kalibreringspunkter pr strekning økes til 9 kalibreringspunkter.</p> | | | |



INNHALDSFORTEGNELSE

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Innledning | 4 |
| 1.1 | Om strekningene | 4 |
| 2 | Teori | 5 |
| 2.1 | Om georadar..... | 5 |
| 2.2 | Hulrom ved hjelp av Georadar..... | 5 |
| 2.2.1 | Mara Nord | 6 |
| 2.2.2 | Svensk/amerikansk metode | 7 |
| 2.2.3 | Valg av metode..... | 8 |
| 2.3 | Generelt | 8 |
| 3 | Kontroll av densitet på utlagte dekker | 9 |
| 3.1.1 | Laboratoriemålt hulrom..... | 9 |
| 3.1.2 | Feltmålt hulrom | 9 |
| 4 | Georadar målinger 2021 | 11 |
| 4.1 | Kontrakt 4-50-2021-01 Namsos | 13 |
| 4.1.1 | Laboratoriemålinger | 14 |
| 4.1.2 | Resultater | 14 |
| 4.2 | Kontrakt 4-50-2021-02 Hitra og Frøya | 25 |
| 4.2.1 | Laboratoriemålinger | 26 |
| 4.2.2 | Resultater | 26 |
| 4.3 | Kontrakt 4-50-2021-04 Trøndelag sørøst..... | 37 |
| 4.3.1 | Laboratoriemålinger | 38 |
| 4.3.2 | Resultater | 38 |
| 5 | Konklusjon | 51 |



1 INNLEDNING

Trøndelag fylkeskommune gjennomførte i 2021 et innovasjonsprosjekt, med utføring av kvalitetskontroll av hulrom på nylagte asfaltdekker ved hjelp av georadar. Georadar har i flere år blitt benyttet for undersøkt for kontroll av hulrom i Statens vegvesen. Denne målemetoden har også blitt benyttet i flere år av de danske vegmyndighetene, og det svenske Trafikkverket. Formålet med dette forsøket var å bygge opp kunnskaper og erfaringer både for entreprenør og byggherremiljøet i Trøndelag, på hvilke muligheter georadar har i kvalitetskontroll av hulrom på nylagte asfaltdekker.

Det settes i dagens samfunn større krav til bærekraften i alle tiltak som utføres. Dekkelegging er en stor bidragsyter til utslipp i samferdselssektoren, og tiltak for å øke bærekraften til asfaltdekker ønskes. En viktig faktor i en livsløpsanalyse er levetiden til dekket. Hulrom er en viktig faktor for asfaltdekkers levetid, og ved å identifisere og tidlig utbedre problemområder, kan dette gi en betydelig effekt på reasfalteringsfrekvensen. Georadar vil i motsetning til tradisjonelle kontrollmålinger med densitetsmålere eller uttak av borkjerner, gi en heldekkende målestripe over strekningen og ikke kun en punktmåling. Selv med kun 1-3 målestriper i hvert felt, vil dette gi et betydelig større bilde av kvaliteten på det utlagte dekket, og medfører at problemområder enklere kan identifiseres. Driftskontrollen gjennomføres ca hver 500 meter. Hvis en kontroll med densitetsmålere består av 3 punktmålinger, som hver dekker et areal på 40*20 cm, vil det ved en utleggerbredde på 3,5 meter, dekkes ca 0,07% av en seksjon på 500 meter. Ved hjelp av en georadar med 3 målestriper pr utleggerbredde, og en bredde på hver stripe på 25 cm, dekkes ca 21% av samme seksjon. Sjansen for å detektere mulige problemområder økes derfor betydelig.

1.1 Om strekningene

Det ble i 2021 gjennomført målinger på 9 strekninger. Strekningene var fordelt over 3 asfaltkontrakter:

- 4-50-2021-01 Namsos
 - o Fv 17 Sprova – Korsen
 - o Fv 759 Lænn – Sørenget
 - o Fv 7062 Klinga - Romstad
- 4-50-2021-02 Hitra og Frøya
 - o Fv 716 Nabeita – Hammarvika
 - o Fv 716 Utfrøyveien
 - o Fv 6466 Leirvikveien
- 4-50-2021-04 Trøndelag sørøst
 - o Fv 30 Singsås – Hindbjørga
 - o Fv 65 Forve bru – Svorkmo
 - o Fv 6606 Strandvegen

Lengde på strekningene var ca 40 km. Det ble valgt ut strekninger med forskjellige massetyper, slik at de tre mest vanlige massetypene; asfaltgrusbetong (Agb), asfaltbetong (Ab) og skjellettasfalt (Ska) ble undersøkt. Data for hulrom fra densitetsmålere, borkjerner og georadar presenteres i samme graf, for enklere kunne gjennomføre en direkte sammenligning. Denne rapporten er ment til å gi en kort innføring i hva en georadar er, hvordan hulrom kan beregnes fra georadardata, hvordan resultat bør tolkes og videre arbeid med metoden.



2 TEORI

2.1 Om georadar

Georadar er en ikke destruktiv målemetode, som kan benyttes til vurderinger av veger, jernbane, bruer, tunneler, arkeologi, etc. Målingene gir et kontinuerlig profil av måleobjektet, da intervallet mellom hver profil kan være noen ned mot noen millimeter.

Georadar baseres på prinsippet om at det sendes elektromagnetiske bølger med en varierende sentral frekvens mellom 10 MHz til 3000 MHz ned i grunnen for å finne forandringer i de elektriske egenskapene til materialene. Frekvens som velges er avhengig av undersøkelsesområde da lav frekvens har høy penetrasjonsdybde og motsatt. For kontroll av asfaltdekket skal det brukes utstyr med frekvens mellom 1 GHz til 3 GHz. Hvert materiale har et unikt definert intervall som den dielektriske verdien (permittivitet) ligger mellom. Den dielektriske verdien til hvert materiale er basert på mineralsammensetning, vanninnhold, etc. En oversikt over normale dielektriske verdier er vist i Tabell 1.

Tabell 1 Dielektrisk verdi for forskjellige materialer

| Materiale | Relative dielektrisk verdi (ϵ_r) |
|-----------|---|
| Luft | 1 |
| PEHD | 2,3 – 2,4 |
| Bitumen | 2,5 - 3,5 |
| Grus | 4 - 7 |
| Asfalt | 4 - 8 |
| Betong | 8 - 10 |
| Vann | 81 |
| Metall | > 32 000 |

2.2 Hulrom ved hjelp av Georadar

Georadar brukes til å undersøke hulromsinnhold (og til en viss grad homogenitet) i asfaltdekker, ved å konvertere målt dielektrisk verdi (ϵ_r) til hulrom. For omgjøring fra dielektrisk verdi til hulrom, må dataene kalibreres mot uttatte kalibreringskjerner. Generelt gir høyere dielektrisk verdi lavere hulrom, og lavere dielektrisk verdi høyere hulrom, så lenge målingene er gjennomført på samme massetype uten ytre påvirkninger (som f.eks vann). Dette kan forklares med hvordan asfalt er sammensatt. Den dielektriske verdien til asfalt er i hovedsak avhengig av tre faktorer:

1. Andel av granulært materiale
2. Andel av bitumen
3. Andel av luft.



Ved økt kompaktering vil andelen av luft med lav dielektrisk verdi synke, og andelen av bitumen og granulære materialer med høyere dielektrisk verdi øke. Dette medfører en total økning i dielektrisk verdi og en tettere masse. Noe forandring vil så klart også skyldes endringer i bindemiddelinholdet, som det vil være vanskelig å få fullstendig kontroll på i ettertid.

Den dielektriske verdien vil variere for hver massetype, slik at det er nødvendig å ha egne kalibreringskurver for hver strekning, dersom det ikke er benyttet samme resept, og er lagt i samme tidsrom. Variasjonen i dielektrisk verdi kan ikke benyttes til å bedømme variasjonen i hulrommet, da liten variasjon i dielektrisk verdi på noen strekninger kan medføre stor variasjon i hulrom, mens samme variasjon på andre strekninger medfører liten variasjon i hulrom.

Det finnes to metoder for omregning fra dielektrisk verdi til hulrom som er blitt benyttet i Norge; Mara Nord og den svensk/amerikanske metoden. Begge metodene benytter en eksponentiell formel, men Mara Nord metoden har kun en faktor. Metodene er ikke bygd på en norsk standard, eller noen metodebeskrivelse i Statens vegvesens håndbøker. Internasjonale regler og erfaringer har gitt grunnlaget for metodene.

Begge metodene bygger på «surface reflection method», som medfører at den relative dielektriske verdien til overflaten beregnes. Den relative dielektriske verdien beregnes basert på forskjellen i refleksjonsamplitude på asfaltdekke, og refleksjonsamplituden fra målinger på en metallplate. Formelen for utregning er:

$$\epsilon_r = \left(\frac{1 + \frac{Aa}{Am}}{1 - \frac{Aa}{Am}} \right)^2$$

Hvor

- Aa er refleksjonsamplituden til asfaltoverflaten
- Am er refleksjonsamplituden til metallplaten

Avhengig av sentralfrekvensen, har georadaren en dybdevirkning på 20-40 mm (høyere frekvens → mindre dybdevirkning). Dybdevirkningen bør undersøkes for hver georadar, for å unngå påvirkning fra underliggende lag. Sentralfrekvens må vurderes for hvert oppdrag, på bakgrunn av lagtykkelsen på det nylagte dekket. Arealet som georadaren dekker med hver målestripe er avhengig av Fresnell sonen. Dette arealet er avhengig av senterfrekvensen på georadaren, og hvor dypt i vegkonstruksjonen som det skal undersøkes. For georadarer med sentralfrekvens rundt 2 GHz, er ofte Fresnell sonen på 20-25 cm.

2.2.1 Mara Nord

Mara Nord bygger på en rapport fra 2011, som ble utarbeidet av Interreg IV A Nord. Her gikk de finske, svenske og norske vegmyndighetene, sammen med flere universiteter for å utarbeide rapporter som går på bruksområder for georadar, og retningslinjer ved forskjellige typer målinger. En av rapportene het "*Recommendations for guidelines for the use of GPR in asphalt air voids content*", og beskriver hvordan georadarmålinger kan benyttes i kvalitetskontroll av hulrom på nylagte asfaltdekker.



Metoden her bygger på den finske PANK metode, som har blitt benyttet i Finland siden 2004.

Hulrommet beregnes med følgende formel:

$$Y = 272,93e^{-1,3012*k*\epsilon_x}$$

Hvor

- Y er hulrom
- k er beregnet kalibreringskoeffisient
- ϵ_x er målt dielektrisk verdi

For kalibreringen kreves det minimum 2 kalibreringskjerner, som er blitt tatt på steder med gjennomsnittlig dielektrisk verdi. Det gjennomføres en punktmåling over hver av kalibreringskjernene, før den dielektriske verdien fra punktmålingene sammenlignes med laboratoriemålt hulrom. Basert på dette beregnes en kalibreringskoeffisient (k) som benyttes i videre beregning av hulrommet. K faktoren skal normalt ligge mellom 0,6-0,8, og $K*(-1,3012)$ kan sammenlignes med B faktoren i den svensk/amerikanske formelen, mens 272,93 kan sammenlignes med A faktoren.

2.2.2 Svensk/amerikansk metode

Den andre metoden for beregning av hulrom er den svensk/amerikanske metoden. Denne metoden benytter en lineær eller eksponentialligning for å beregne hulrommet, basert på kalibreringskjerner.

Hulrommet beregnet med lineær formel:

$$Y = A + B\epsilon_x$$

Hulrommet beregnet med eksponentiell formel:

$$Y = Ae^{B*\epsilon_x}$$

Hvor

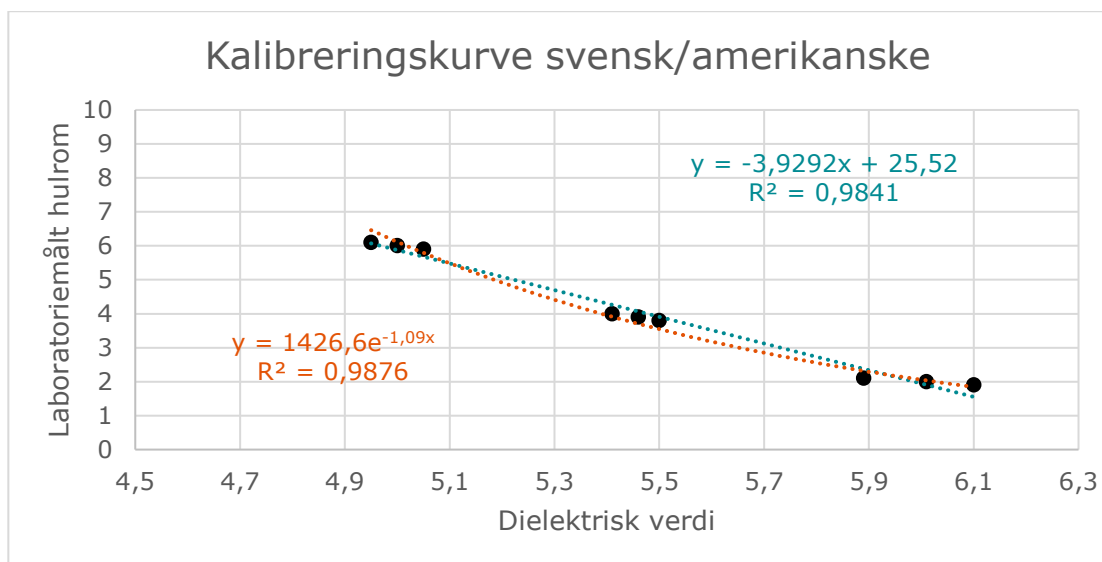
- o A og B er kalkulerte faktorer fra kalibrasjonskurven, hvor A er skjæringspunktet med Y akse og B er eksponenten (angir hvor fort grafen stiger)
- o ϵ_x er målt dielektrisk verdi

Det er hovedsakelig den eksponentielle formelen som benyttes. Metoden bygger på at det tas kalibreringskjerner med forskjellig dielektrisk verdi. Det er ingen eksakte grenser, men det er anbefalt følgende:

- Lav dielektrisk verdi: Gjennomsnittlig dielektrisk verdi - 2* standardavviket
- Middels dielektrisk verdi: Gjennomsnittlig dielektrisk verdi
- Høy dielektrisk verdi: Gjennomsnittlig dielektrisk verdi + 2* standardavviket



Det kan som et absolutt minimum tas ut 3 punkter (fordelt på en av hver), men det anbefales at det tas 9 punkter. Det gjennomføres punktmålinger over hver kalibreringskjerne, som senere blir sammenlignet med resultatet fra laboratoriemålingene. Et eksempel på en kalibreringskurve kan sees i Figur 1.



Figur 1 Eksempel på kalibreringskurve med svensk/amerikansk metode

Hvor *turkis* er lineær formel og *oransje* er eksponentiell formel

Kalibreringskurven gis av regresjonsligningen mellom punktmålingene og målt dielektrisk verdi. For å bedømme hvor god tilpasning hulrommet har til regresjonsligningen, benyttes korrelasjonskoeffisienten (R^2). R^2 varierer mellom 0 og 1, hvor 1 gir en perfekt tilpasning og 0 angir at det er null tilpasning mellom dataene. For hulrom er det anbefalt at R^2 er større enn 0,8. Dette betyr ikke at målinger med korrelasjon under 0,8 ikke kan gi et godt bilde av hulrommet på en strekning, men dataene her må sees nøyer opp mot andre målinger.

2.2.3 Valg av metode

Både Mara Nord og den svensk/amerikanske metoden kan benyttes til kalibrering av hulrom. Erfaringen tilsier at Mara Nord formelen gir et noe mindre variasjon i resultatet enn det den svensk/amerikanske formelen gir. Dette kan forklares med at Mara Nord formelen har en fast lavere A faktor og at $k^*(-1,3012)$ er mindre enn B faktoren, slik at Mara Nord gir et noe mer snittet resultat. På strekker med lite variasjon i hulrom, vil forskjellen mellom de to metodene være svært liten. Den svensk/amerikanske eksponentielle metoden vil bli benyttet i størst mulig grad.

2.3 Generelt

Det skal benyttes minimum 10 skann/meter. Målingene snittes over en meter. Dette for å fjerne støy som målingene kan skape. Når resultater fra georadarmålinger tolkes, anbefales det at det sees på trender, og ikke enkeltverdier over korte områder. F.eks vil 90/10 verdier (90% er under oppgitt verdi, mens 10% er høyere) for strekninger på 200 meter gi et godt bilde av resultatet på strekningene, mtp vurderinger av overordnet kvalitet. Grunnen til at det ikke anbefales å se på enkeltverdier, er ganske enkelt på grunn av at



målingene over korte partier kan påvirkes av ytre påvirkninger (vann, møkk i vegbanen, etc), noe som kan medføre støy på resultatene.

Målinger skal utføres så raskt som mulig etter dekkelegging, og senest 3 uker etter legging (leverandørens anbefaling). Dette for å sikre at målingene gir resultatet slik det var ved dekkelegging og ikke blir påvirket av ytre faktorer. Dersom det måles under/like etter dekkelegging kan ikke dekket være over 60°C, dette sikres ved bruk av IR-termometer.

Målingen med georadar er følsom for vann og fuktighet i vegbanen, måling utføres derfor kun på tørr vegbane, dersom det regner eller vegoverflaten er for fuktig, utsettes eller avbrytes målingen. Vann har som man ser fra Tabell 1 en høy dielektrisk verdi, og vil derfor gi utslag som lavt hulrom.

Nøyaktigheten på georefereringen for hver måling, skal være på centimeters nivå.

3 KONTROLL AV DENSITET PÅ UTLAGTE DEKKER

3.1.1 Laboratoriemålt hulrom

Det er på alle uttatte kjerner gjennomført følgende laboratorieundersøkelser iht. Statens vegvesens håndbok R210 Laboratorieundersøkelser, kapittel 362, 363 og 364

- Metode B: Prøvens densitet – Måling
- Metode C: Prøvens densitet – Hydrostatisk overflatetørr
- Maksimumsdensitet

Hulrommet som blir benyttet til kalibrering baseres på reglene i «*korrigert vedlegg 3 til TR2505*»:

- Dersom hulrommet til metode B: Måling er større eller lik 10%, er dette å betegne som prøvens hulrom
- Dersom hulrommet til metode B: Måling er mindre enn 10%, er metode C: Hydrostatisk overflatetørr å betrakte som prøvens hulrom.

Alle prøver er kappet i topp og bunn. Dette vil gi noen unøyaktigheter opp mot georadarmålingene, da georadaren tar med overflatehulrom. Dette vil imidlertid kun ha en påvirkning for åpne dekker, da spesielt på grov skjellettasfalt (Ska). Det var på disse kontraktene ingen grove Ska dekker. Det forventes derfor ikke en stor påvirkning av dette på disse målingene.

3.1.2 Feltmålt hulrom

Statens vegvesen rapport 800 «dokumentasjon og kontroll av asfalt» benyttes som for å bestemme antall kontroller som skal gjennomføres av hulrom. Det angis her 3 kontrollmetoder for å dokumentere hulrommet

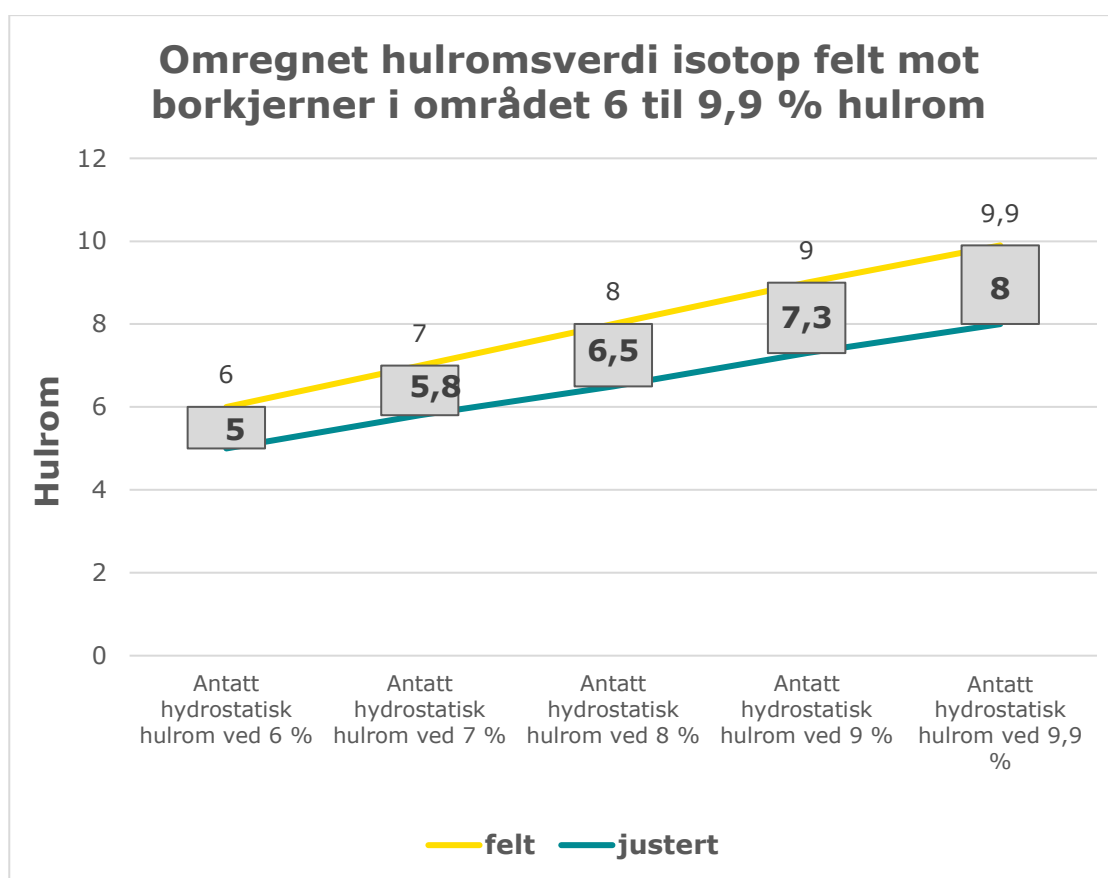
1. Måling av densitet ned kalibrert, ikke-destruktive målemetoder
2. Måling av hulrom ved hjelp av kalibrert georadar måler
3. Opptak av borkjerner med beregning av hulrom

Av disse metodene er det metode 1 som i all hovedsak benyttes for løpende driftskontroll eller byggherrens stikkprøvekontroll. Densitetsmålere, i form av radioaktive isotopmålinger (av typen Troxler eller Seaman) eller induksjonsmåling (PQI) benyttes. Det har tidligere i



hovedsak vært benyttet radioaktive isotopmålinger, men det er i senere tid blitt benyttet mer og mer induksjonsmålere.

Statens vegvesen gjorde i 2016 en sammenligning mellom isotopmålere og laboratoriemålt hulrom med metoden hydrostatisk overflatetørr på uttatte borkjerner. Sammenhengen mellom isotopmålt hulrom og hulrom målt på lab er vist i Figur 2. Ved isotopmålt hulrom over 10%, ble isotopmålt resultat direkte sammenlignet med skyvelærmålt hulrom. NB! Denne omregningen er kun et overslag, og ikke iverksatt som en bransjestandard, og er derfor kun informativt ment ved videre tolking. Det er ikke gjort noen omregning på målte isotopmålinger.



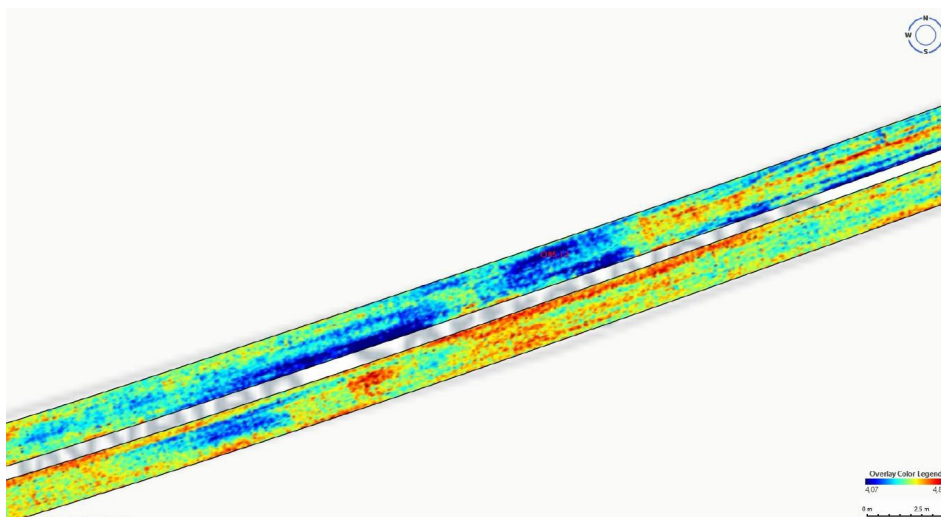
Figur 2 Omregning isotopmåling til antatt hulrom kjerne [Kilde: Johnny Stenshagen, SVV]

Byggherre har på noen parseller gjennomført stikkprøvekontroll av hulrommet under utlegging med induksjonsmåler, PQI. Det er forskjellig rutiner for hvilke densitetsmålinger som entreprenør har brukt til sin driftskontroll. Det er benyttet både isotopmålinger med Seaman og induksjonsmålinger med PQI på kontraktene.

4 GEORADAR MÅLINGER 2021

Trøndelag fylkeskommune inngikk avtale med Terratec AS, for gjennomføring av georadarmålinger i 2021. Terratec benytter en georadar av merket 3D-radar, som består av til sammen 25 georadarantenner, med en innbyrdes avstand på 7,5 cm. Det ble i hvert felt gjennomført 3 målinger, som ble snittet over hver meter. Målingene ble gjennomført i hjulsporene og mellom hjulspor. Basert på dette ble det valgt å benytte senterantenne ± 75 cm, for å definere hjulsporene.

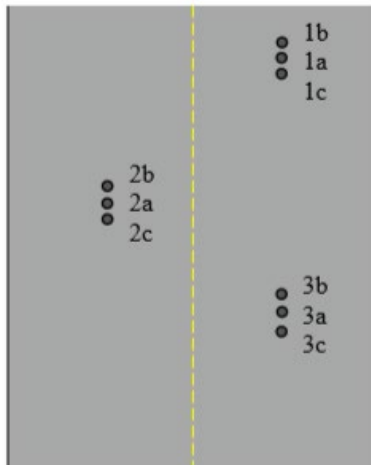
Det ble på kontrakten overlevert resultater i Excel format, video av målingene, samt rådata fra målingene. Rådataene kan i ettertid benyttes til tolking av asfalt eller overbygningstykkelse. Terratec AS presenterte i tillegg muligheter for visuell fremvisning av dielektrisk verdi og hulromsdata i kartformat, som vist i Figur 3.



Figur 3 Visualisering av målt dielektrisk verdi i kartløsning [Kilde: Terratec AS]

Alle dataene er innsamlet med GNSS i koordinatsystem EUREF 89, UTM 33N og videre omformet til vegreferanse med hoved parsell og meter (Hp og meter). All posisjonering er foretatt med RTK-GNSS, samt at det er gjennomført etterkalibrering ned Kartverkets ETPOS-tjeneste. Dette medfører at dataene har god georeferert nøyaktighet.

Det ble på hver strekning markert seks mulige borelokasjoner, fordelt med 2 pkt. med lav dielektrisk verdi, 2 pkt. med gjennomsnittlig dielektrisk verdi og 2 pkt. med høy dielektrisk verdi. Av disse ble det boret på 3 punkter. Hvert punkt besto av 3 kjerner à 100 mm, med innbyrdes avstand på 30 cm. Punktmålingene ble gjennomført over kjerne A, i oversikten vist i Figur 4.

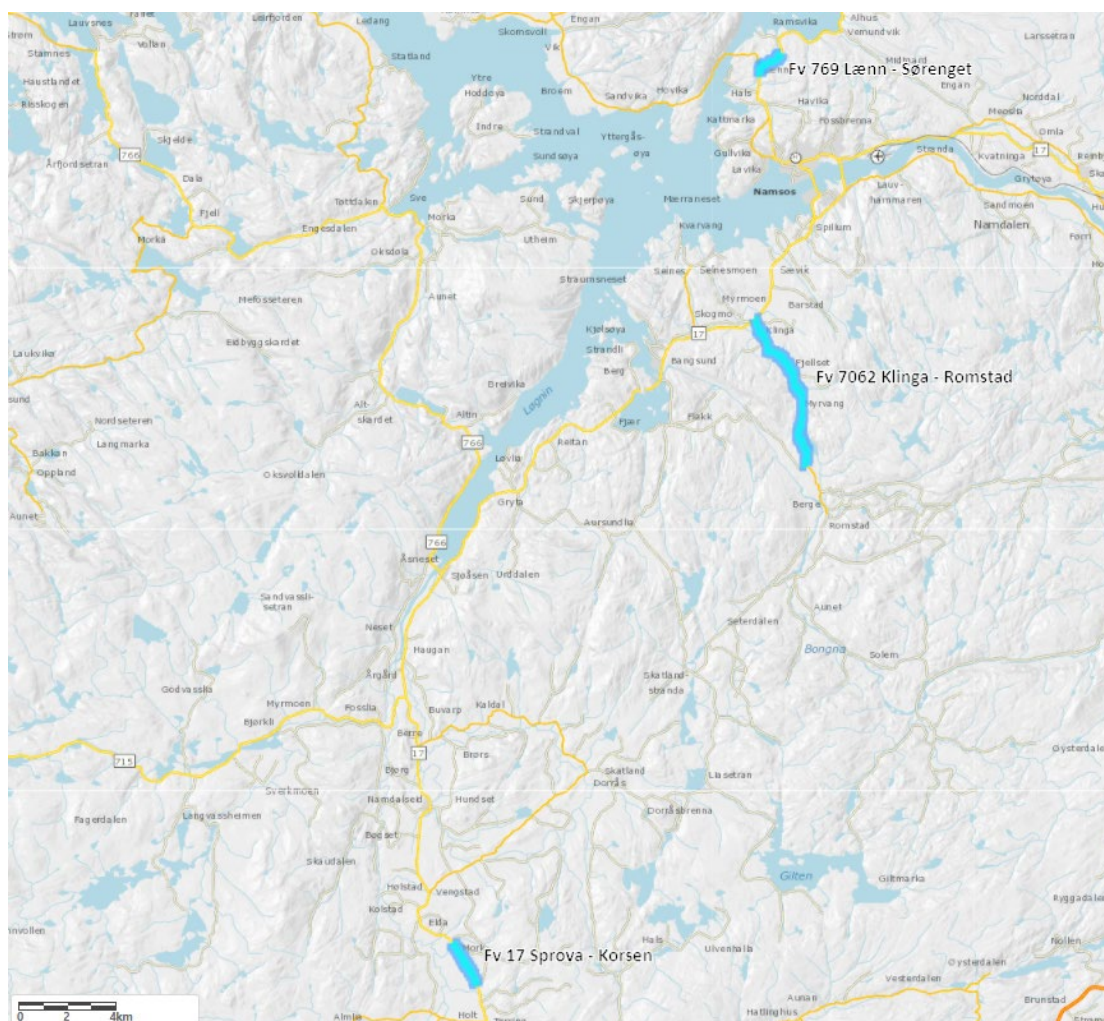


Figur 4 oversikt over borepunkter

Terratec AS har levert en separat endelig sluttrapport, i tillegg til kortfattede rapporter for hver strekning. Denne rapporten skal gi en samlet oversikt over resultatene og de presenteres for hver kontraktspunkt.

4.1 Kontrakt 4-50-2021-01 Namsos

Strekningene på Namsoskontrakten ble målt den 15.09.2021. Strekningene ble dekkelagt i perioden 11.08 – 01.09. Dette medførte at Fv 17 Sprova – Korsen og Fv 769 Lænn – Sørenget ble målt utenfor tidsfristen på 3 uker. Et oversiktskart over strekninger som ble målt med georadar er vist i Figur 5. En oversikt over hvilke dekketyper som er benyttet er vist i Tabell 2



Figur 5 Oversiktskart strekninger på kontrakt 4-50-2021-01 Namsos



Tabell 2 Oversikt over dekketyper på kontrakt 4-50-2021-01 Namsos

| Strekning | Dekketyper |
|--------------------------|------------|
| Fv 17 Sprova – Korsen | Ska 11 |
| Fv 769 Lænn – Sørenget | Ab 11 |
| Fv 7062 Klinga - Romstad | Agb 11 |

4.1.1 Laboratoriemålinger

Tabell 3 Laboratoriemålinger på kontrakten 4-50-2021-01 Namsos

| Veg | Pkt | Hydrostatisk overflatetørr | | | | Måling | | | |
|--------------------------------|-----|----------------------------|---------------------|--------------------|-------|--------------------|--------------------|--------------------|-------|
| | | Del - prøve A | Del - prøve B | Del- prøve C | Snitt | Del- prøve A | Del- prøve B | Del- prøve C | Snitt |
| Fv 17 Sprova - Korsen | 1 | 6,6% | 6,6% | 6,7% | 6,6% | 7,1% | 7,3% | 8,2% | 7,5% |
| | 2 | 4,6% | 4,5% | 4,4% | 4,5% | 5,4% | 4,7% | 5,0% | 5,0% |
| | 3 | 3,0% | 3,6% | 2,7% | 3,1% | 3,0% | 4,2% | 2,7% | 3,3% |
| Fv 769 Lænn - Sørenget | 1 | 2,9% | 2,8% | 3,0% | 2,9% | 2,7% | 3,1% | 4,1% | 3,3% |
| | 2 | 2,8% | 3,0% | 2,9% | 2,9% | 3,2% | 3,8% | 3,7% | 3,5% |
| | 3 | 2,9% | 2,8% | 2,7% | 2,8% | 3,5% | 3,8% | 3,7% | 3,7% |
| Fv 7062 Klinga - Romstad | 1 | 4,2% | 4,2% | 4,2% | 4,2% | 4,6% | 3,8% | 4,2% | 4,2% |
| | 2 | 3,3% | 3,6% | 3,3% | 3,4% | 2,7% | 3,8% | 3,5% | 3,3% |
| | 3 | 2,9% | 3,1% | 3,2% | 3,1% | 2,8% | 3,2% | 3,3% | 3,1% |

Målinger som er benyttet til kalibrering er uthevet i rødt i Tabell 3. Det er kun resultat fra hydrostatisk overflatetørr som er benyttet til kalibreringen. Det er lite variasjon i hulrommet på kjernene innad på punktene, som indikerer at dekket var homogent i dette området. For Fv 769 og Fv 7062 er det kun benyttet en kjerne til kalibrering.

4.1.2 Resultater

Det var på strekningene Fv 769 Lænn – Sørenget og Fv 7062 Klinga – Romstad mye interferens fra en ekstern kilde på målingene, som medførte at noen av målingene ble fjernet. Dette er imidlertid kun korte partier, og hadde liten innvirkning på det endelige resultatet. På både Fv 769 og Fv 7062 var ikke sammenhengen mellom borekjernene og målt dielektrisk verdi slik den burde være. På bakgrunn av dette er den gjennomsnittlig



dielektriske verdien benyttet til å kalibrere strekningene basert på Mara Nord formelen. Det ble imidlertid kun benyttet ett pkt, slik at beregningsgrunnlaget er svakt. En oppsummering av korrelasjonsfaktoren og benyttet kalibreringsfaktorer kan sees i Tabell 4.

Tabell 4 Korrelasjonsfaktor på for kontrakt 4-50-2021-01 Namsos

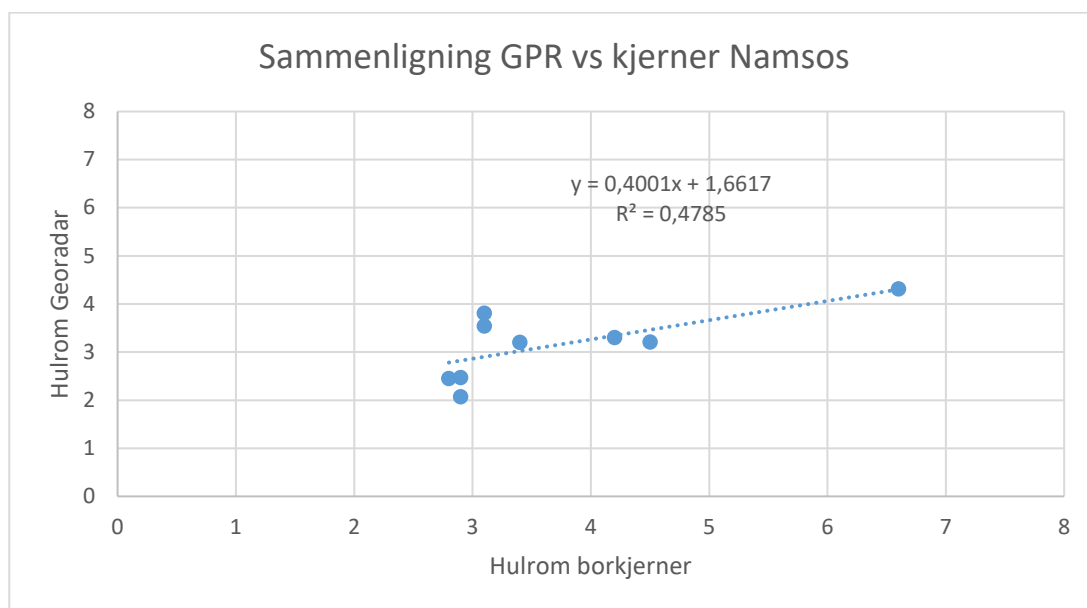
| Strekning | Korrelasjon (R ²) | Kalibreringsfaktor (K) | A og B faktor | Kommentar |
|--------------------------------|-------------------------------|------------------------|----------------------------|---|
| Fv 17 Sprova – Korsen | 0,62 | - | A = 218,95 B = -0,86717 | Dette er noe korrelasjon mellom dielektrisk verdi og hulrom. Gir imidlertid god overenstemmelse med isotopmålinger |
| Fv 769 Lænn – Sørenget | - | 0,8141 | | Strekningen ble beregnet med Mara Nord formelen, da det ikke var variasjon i hulrom på de uttatte punktene. Dette medfører at korrelasjonsfaktoren ikke gir mening. Det er noe variasjon mellom isotopmålinger og GPR målinger, men jevnt over er det en god sammenligning. Hulrommet fra georadaren er imidlertid så jevnt, at det forventes at noe av variasjonen på strekninger mangler. |
| Fv 7062 Klinga – Romstad | - | 0,7677 | | Beregnet med Mara Nord formelen. Konsulent hadde noen problemer med målingene, slik at uttatte borkjerner viser motsatt verdi av det som var forventet (lav dielektrisk verdi tilsvarte lavt hulrom). Resultatet gir imidlertid god overenstemmelse med isotopmålinger. |

Resultatet presenteres under for hvert felt for strekningene. Resultatet fremvises basert på en meters gjennomsnittsverdier. Entreprenørens densitetsmålinger og resultatene fra kalibreringskjernene presenteres i samme graf. Noe forskjell i verdiene må forventes, med tanke på at densitetsmålinger og resultatet fra kalibreringskjernene er punktmålinger og ikke snittet verdi over 1 meter.



I og med resultatene for Fv 769 og Fv 7062 kun er basert på en gjennomsnittlig dielektrisk verdi, må hulrommet på disse strekningene kun ansees som en indikasjon! Alle dataene kan sees i større detaljer i utarbeidede Excel ark.

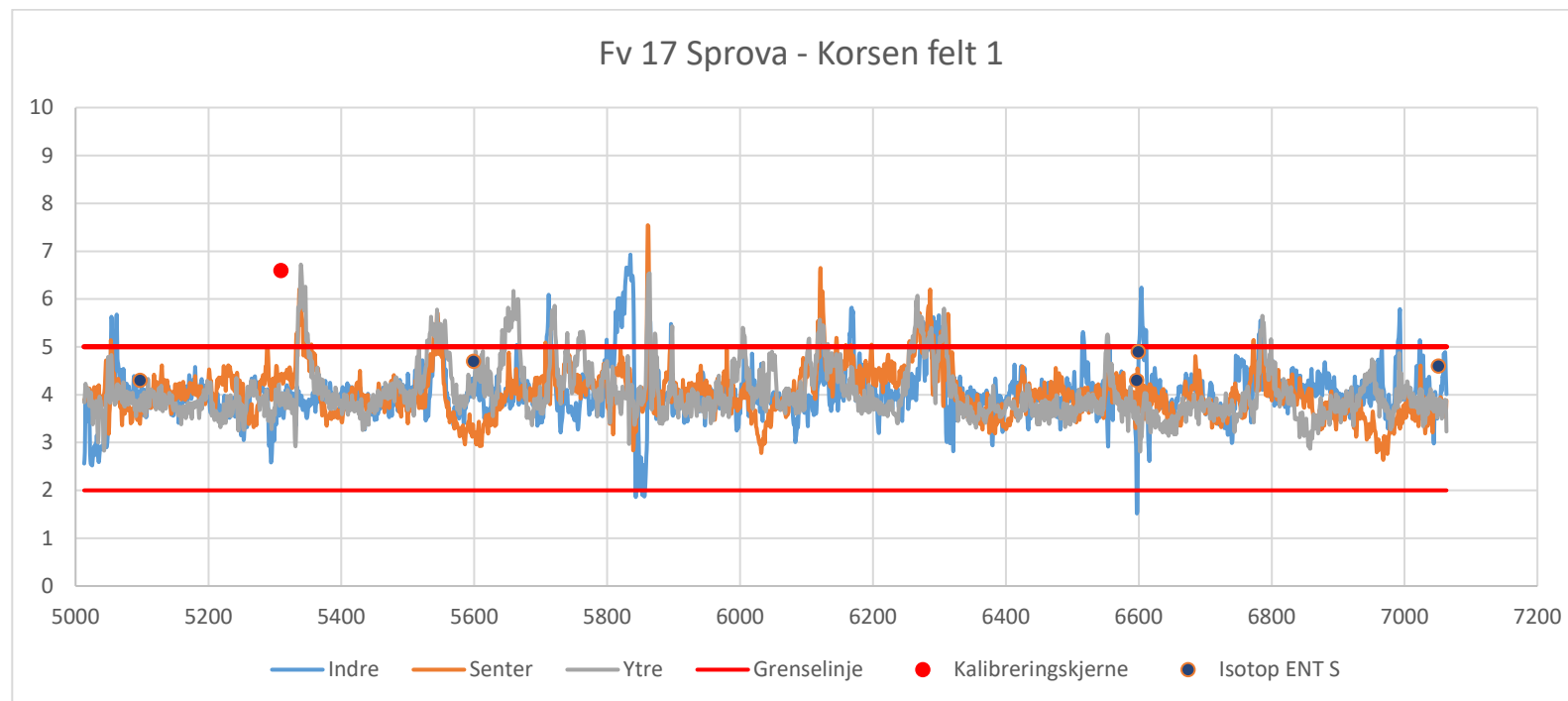
Figur 6 viser sammenligningen mellom georadarmålt hulrom og laboratoriemålt hulrom på kalibreringskjernene. Gjennomsnittlig hulrom pr punkt er benyttet for hulrommet for kalibreringskjernene.



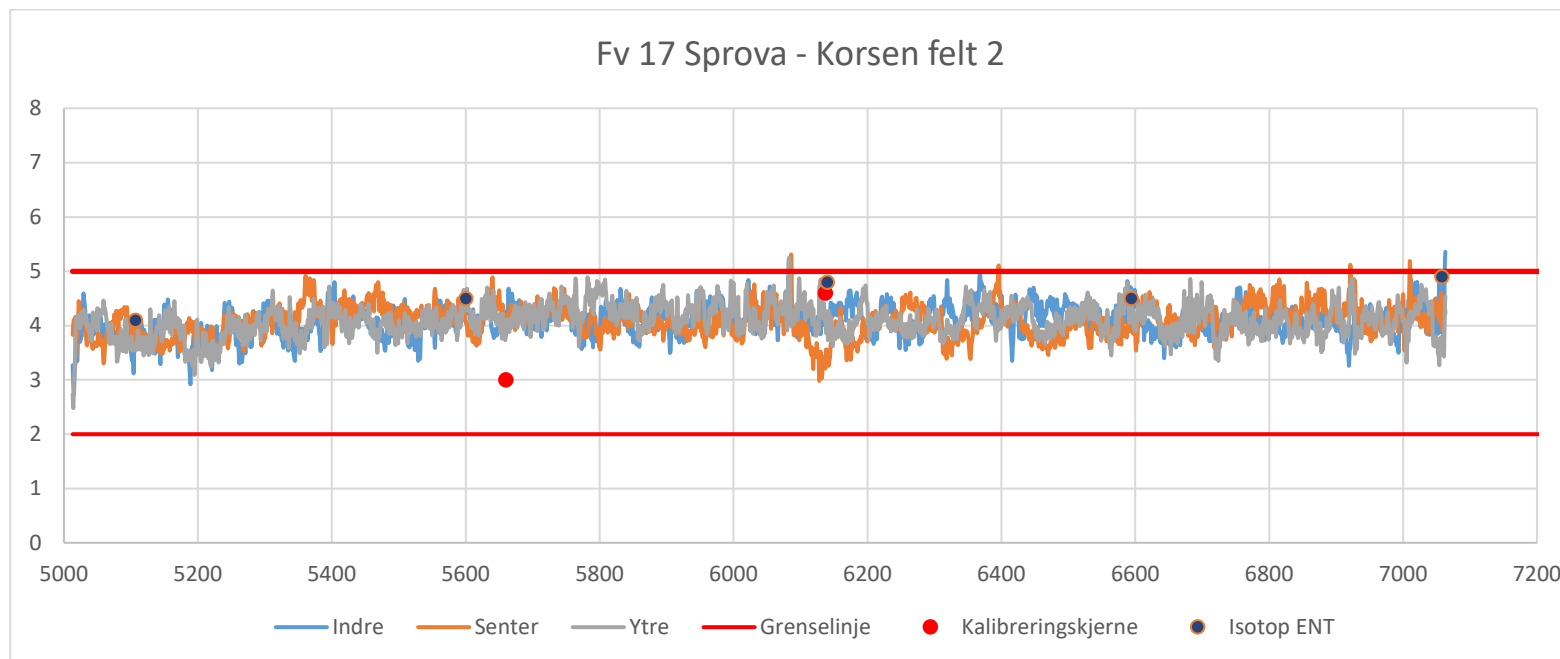
Figur 6 Sammenligning målt hulrom georadar og kalibreringskjerner



4.1.2.1 Fv 17 Sprova – Korsen



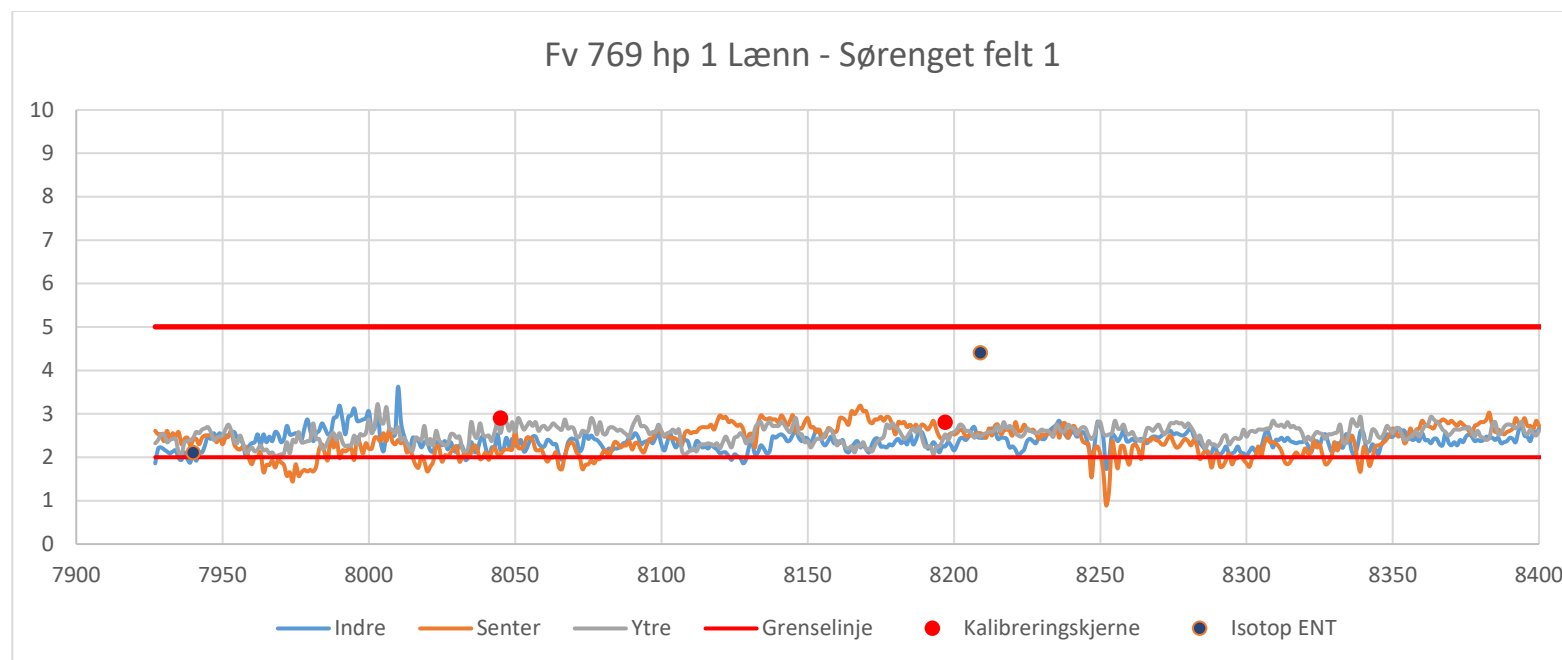
Figur 7 Hulrom Fv 17 Sprova - Korsen felt 1



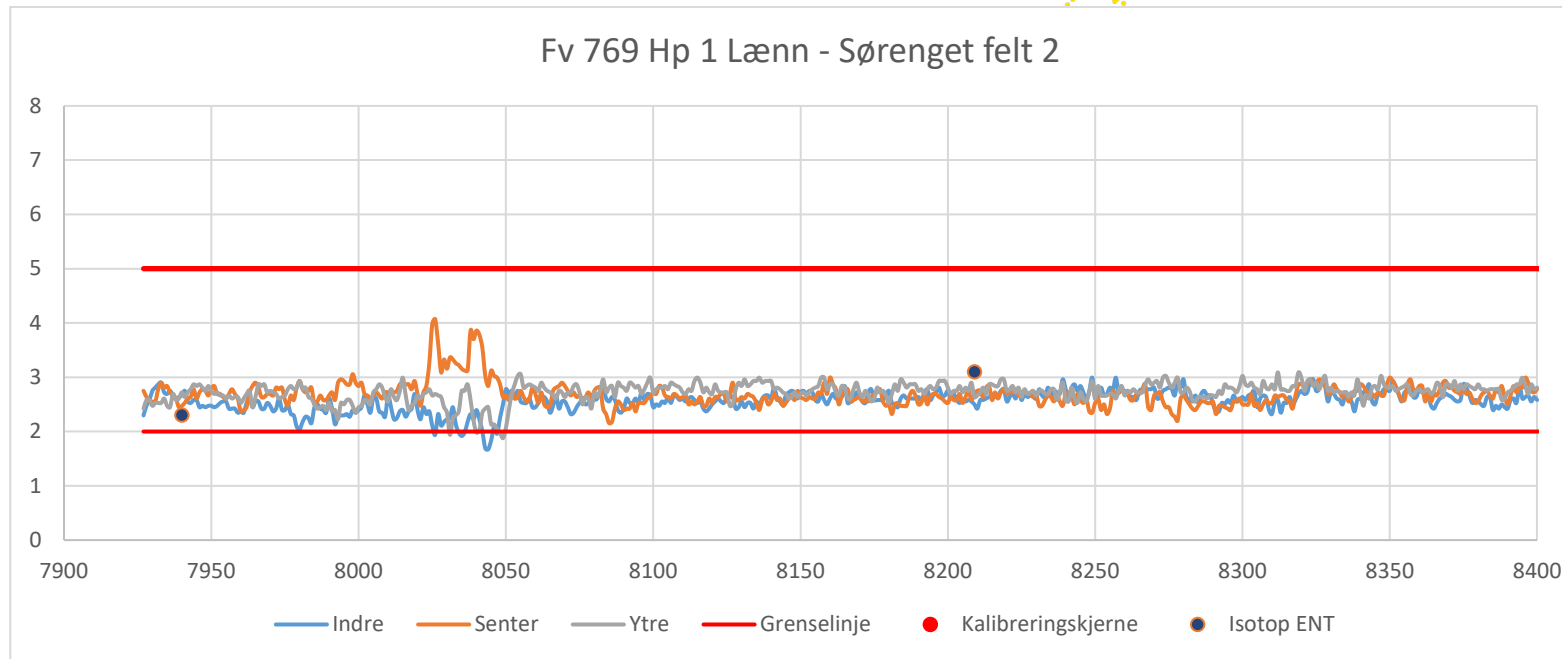
Figur 8 Hulrom Fv 17 Sprova - Korsen felt 2



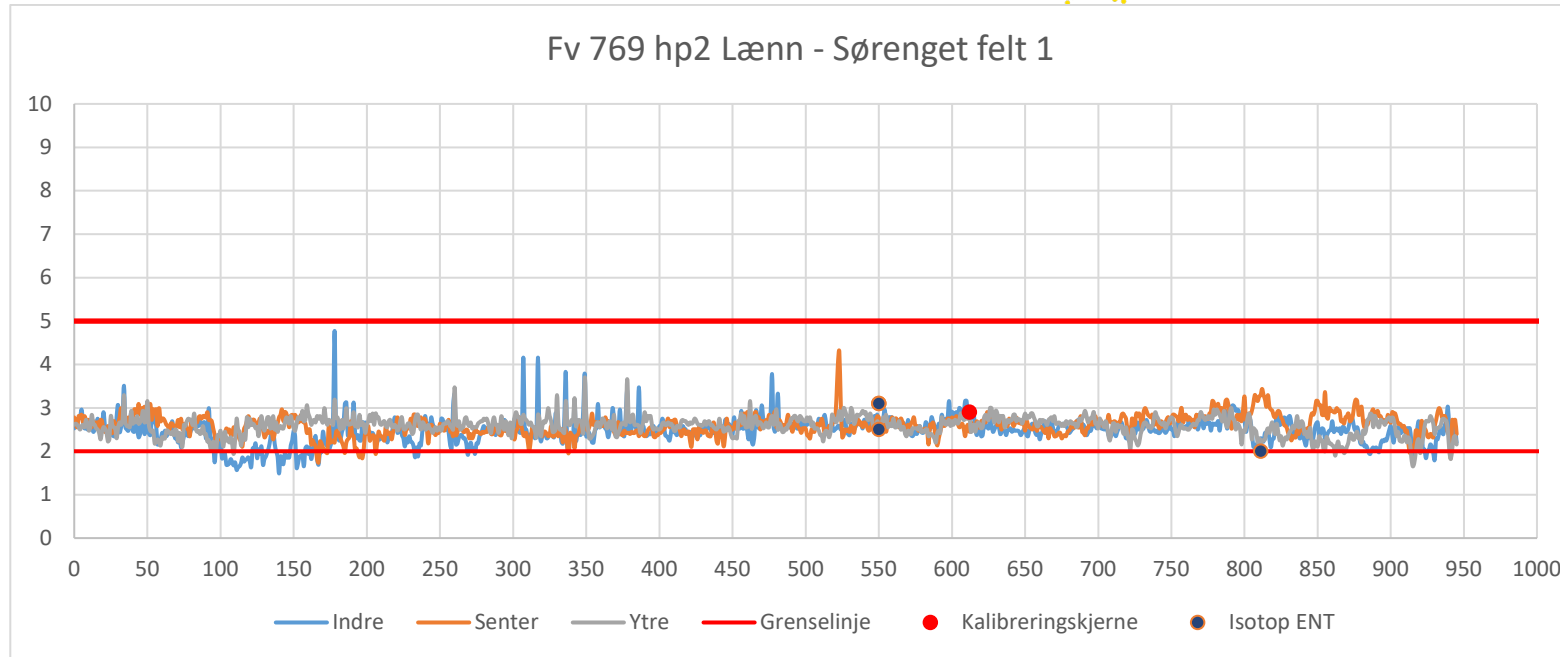
4.1.2.2 Fv 769 Lænn - Sørenget



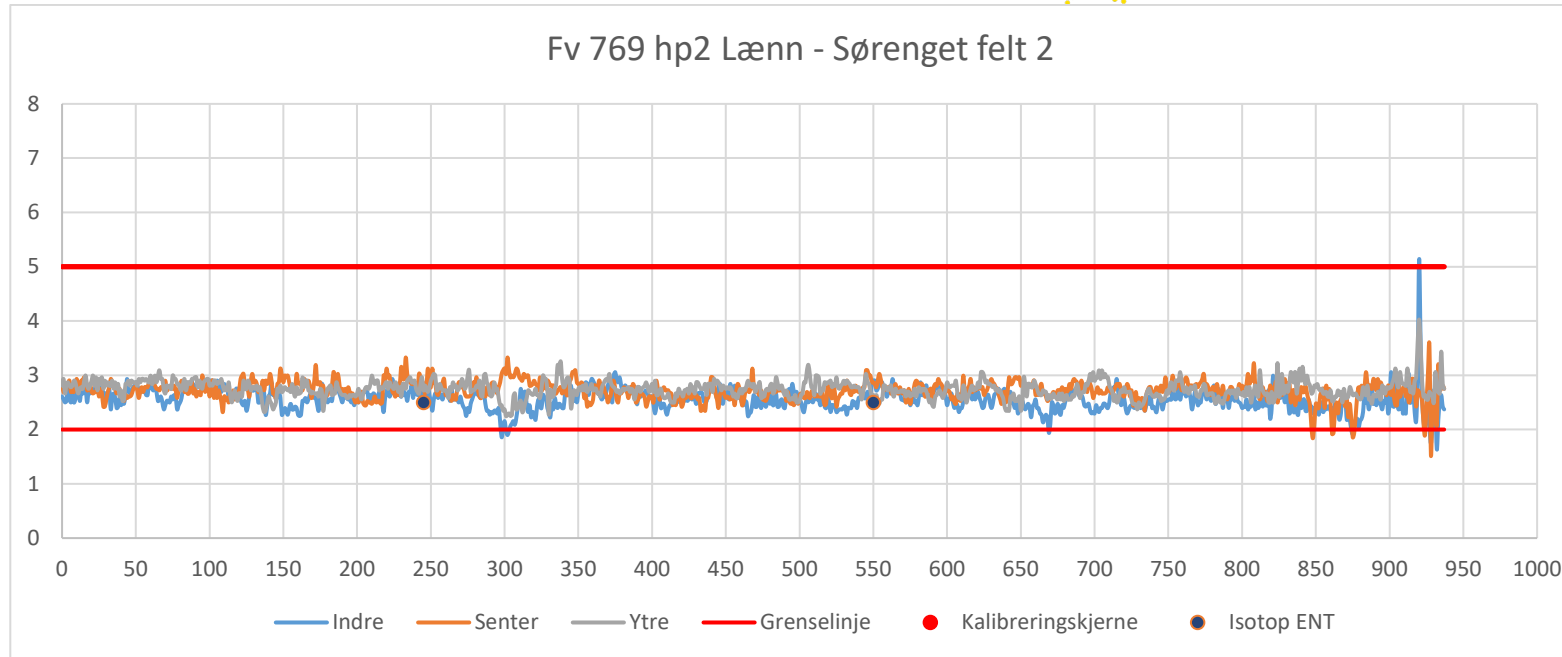
Figur 9 hulrom Fv 769 hp1 Lænn - Sørenget felt 1



Figur 10 Hulrom Fv 769 hp 1 Lænn - Sørenget felt 2



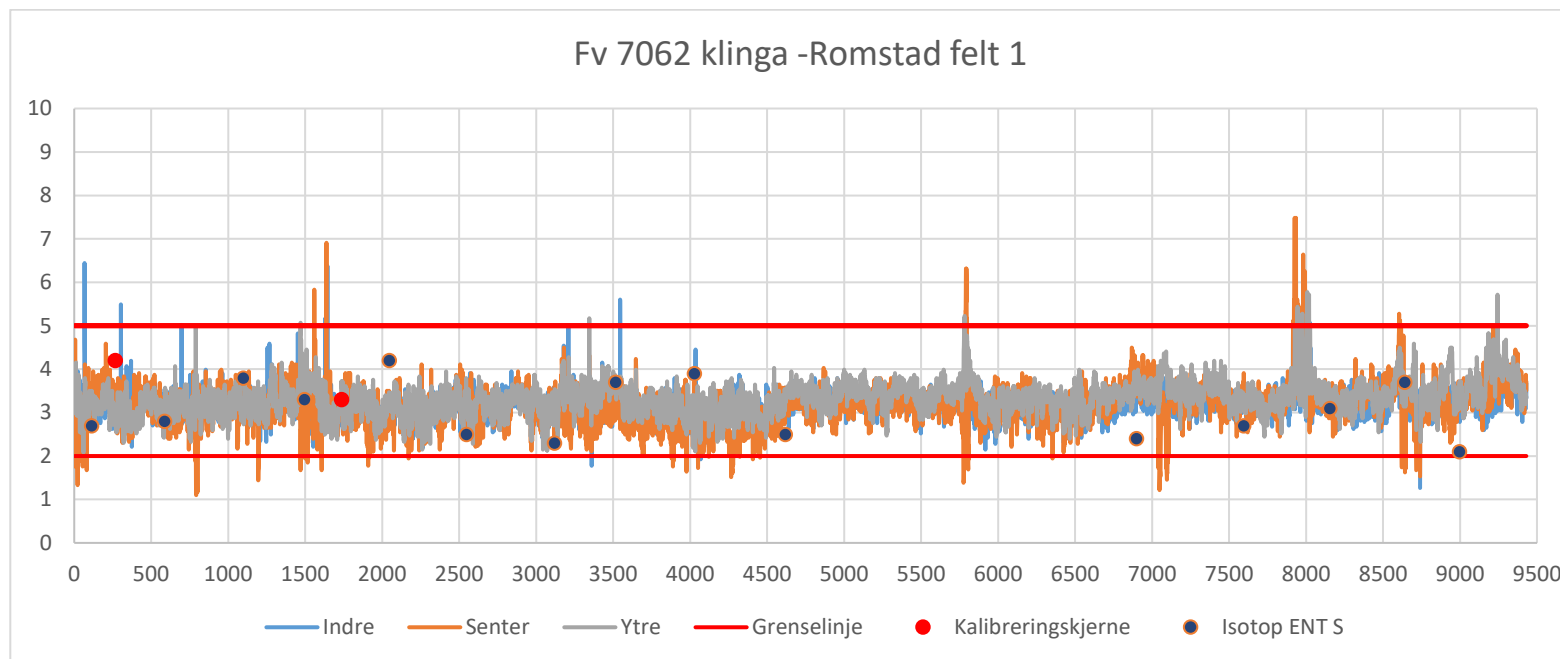
Figur 11 Hulrom Fv 769 hp 2 Lænn - Sørenget felt 1



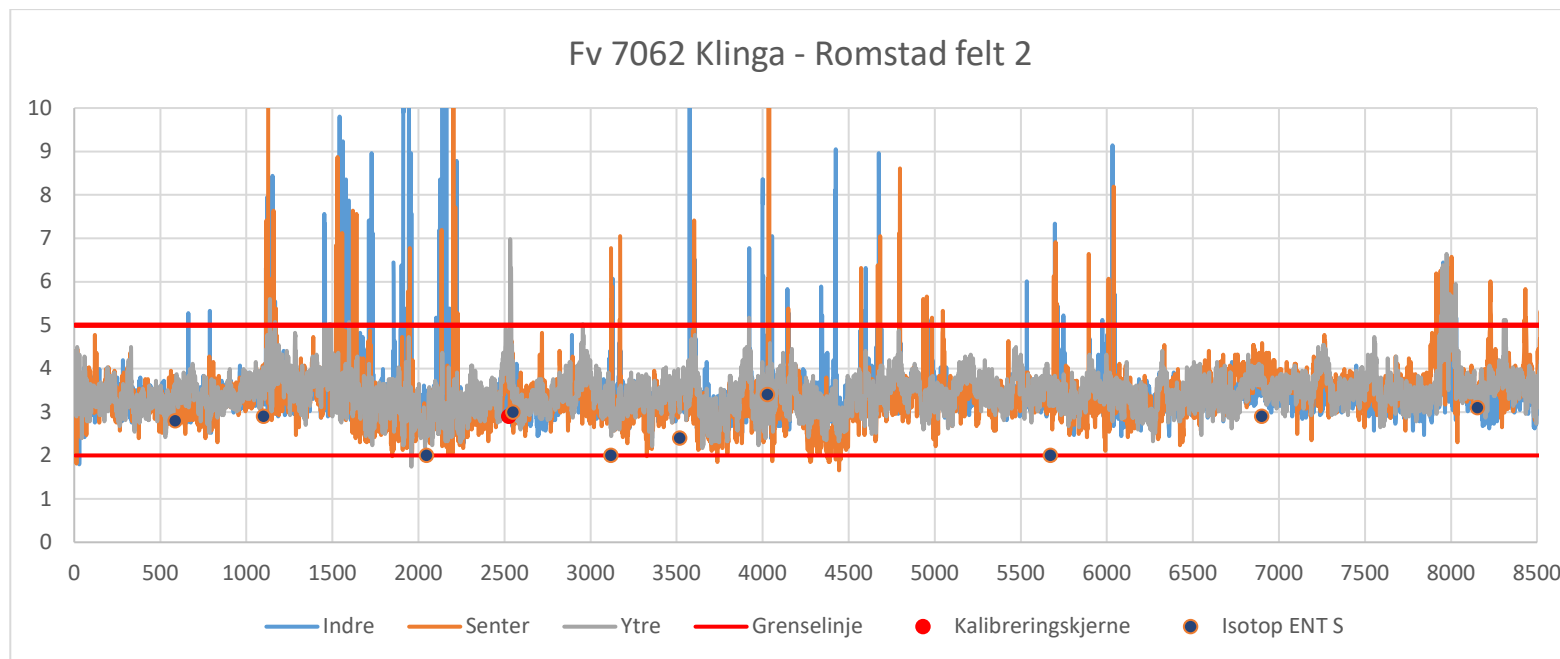
Figur 12 Hulrom Fv 769 hp 2 Lænn - Sørenget felt 2



4.1.2.3 Fv 7062 Klinga - Romstad



Figur 13 Hulrom Fv 7062 Klinga - Romstad felt 1



Figur 14 Hulrom Fv 7062 Klinga - Romstad felt 2



4.2 Kontrakt 4-50-2021-02 Hitra og Frøya

Strekningene på Hitra og Frøya kontrakten ble målt den 14.07.2021. Strekningene ble målt innen tre uker etter ferdigstilling. Det hadde kommet noe lett regn på morgenen, men målingene ble ikke gjennomført før på ettermiddagen. Hvis noen partier hadde vært påvirket av fukt, ville dette ha syntes godt på selve målingene. Et oversiktskart over strekningene som ble målt er vist i Figur 15. Benyttede dekketyper er vist i Tabell 5.



Figur 15 Oversiktskart strekninger på 4-50-2021-02 Hitra og Frøya



Tabell 5 Dekketyper for strekningene på kontrakt 4-50-2021-02 Hitra og Frøya

| Strekning | Dekketyper |
|-----------------------------|------------|
| Fv 716 Nabeita – Hammervika | Ska 11 |
| Fv 716 Utrøyveien | Agb 11 |
| Fv 6466 Leirvikveien | Agb 11 |

4.2.1 Laboratoriemålinger

Tabell 6 Laboratoriemålinger på kontrakt 4-50-2021-02 Hitra og Frøya

| Veg | Pkt | Hydrostatisk overflatetørr | | | | Måling | | | |
|-----------------------------------|-----|----------------------------|---------------------|--------------------|-------|--------------------|--------------------|--------------------|-------|
| | | Del - prøve A | Del - prøve B | Del- prøve C | Snitt | Del- prøve A | Del- prøve B | Del- prøve C | Snitt |
| Fv 716 Utrøyveien | 1 | 2,9% | 4,1% | 5,6% | 4,2% | 1,5% | 5,4% | 6,1% | 4,3% |
| | 2 | 2,5% | 4,7% | 3,4% | 3,6% | 3,0% | 5,2% | 4,1% | 4,1% |
| | 3 | 3,3% | 3,3% | 2,8% | 3,1% | 3,5% | 3,6% | 4,4% | 3,8% |
| Fv 716 Nabeita – Hammarvika | 1 | 1,6% | 1,0% | 1,4% | 1,3% | 1,4% | 0,8% | 1,7% | 1,3% |
| | 2 | 6,1% | 6,6% | 6,0% | 6,2% | 6,9% | 8,1% | 7,0% | 7,3% |
| | 3 | 2,6% | 2,1% | 2,5% | 2,4% | 3,4% | 1,7% | 2,3% | 2,4% |
| Fv 6466 Leirvikveien | 1 | 5,2% | 5,4% | 3,9% | 4,8% | 5,8% | 5,6% | 2,6% | 4,7% |
| | 2 | 3,0% | 3,2% | 2,6% | 2,9% | 2,6% | 2,6% | 2,9% | 2,7% |
| | 3 | 3,4% | 4,3% | 3,7% | 3,8% | 5,0% | 3,5% | 3,1% | 3,9% |

Målinger som er benyttet til kalibrering er uthøvet i rødt i Tabell 6. Det er kun resultat fra hydrostatisk overflatetørr som er benyttet til kalibreringen. Det er lite variasjon i hulrommet på kjernene innad på punktene, som indikerer at dekket var homogent i dette området.

4.2.2 Resultater

Det ble på strekningene Fv 716 Utrøyveien og Fv 6466 Leirvikveien benyttet samme masse, slik at kalibreringen av disse strekningene ble kombinert. Det ble her benyttet 4 av 6 kalibreringskjerner, da 2 av kjernene avvok betydelig fra forventet hulrom.



Korrelasjonen mellom punktmålinger og laboratoriemålingene kan sees i Tabell 7. Som det kan sees er det grei korrelasjon for Fv 716 Utfrøyveien og Fv 6466 Leirvikveien, og veldig god korrelasjon på Fv 716 Nabeita – Hammarvika. Det er her imidlertid viktig å påpeke at tre eller fire punkter kan medføre at korrelasjonene er noe overvurdert.

Tabell 7 Korrelasjonsfaktorer for kontrakt 4-50-2021-02 Hitra og Frøya

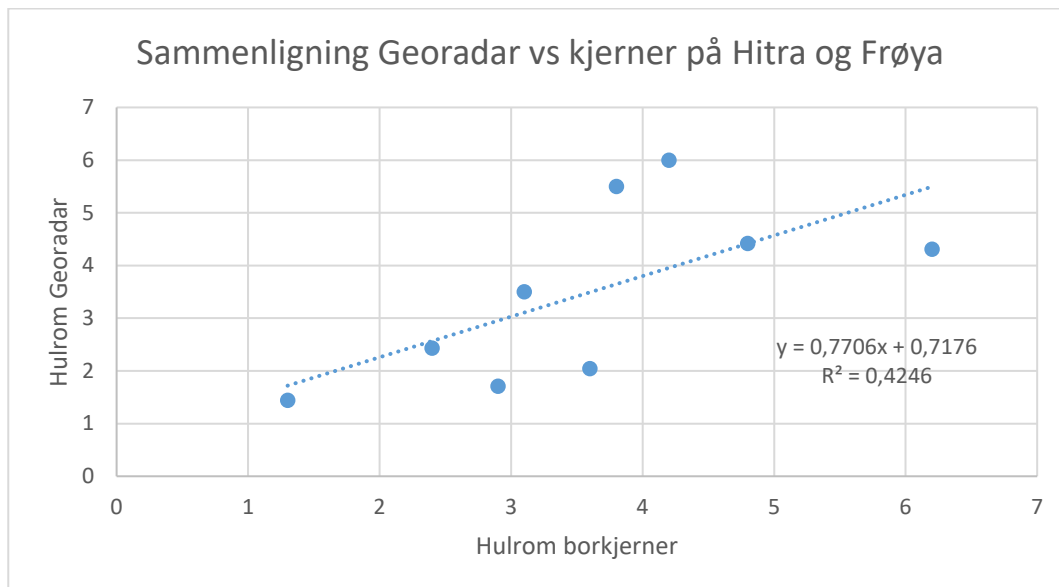
| Strekning | Korrelasjonsfaktor (R ²) | A og B faktor | Kommentar |
|-----------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|---|
| Fv 716 Utfrøyveien | 0,81 | A = 15 778,5259 B = -2,17 | Kun benyttet 4 av 6 kjerner, da en på hver strekning avvek betydelig fra forventet verdi. Det er god korrelasjon mellom georadarmålt hulrom og utførte densitetsmålinger. |
| Fv 716 Nabeita - Hammarvika | 0,99 | A = 60 351 689,13682 B = -3,8442 | Kalibrasjonskurven er bratt, slik at kun små endringer i dielektrisk verdi, medfører store utslag i hulrom. Det er god korrelasjon mellom georadarmålt hulrom og utførte densitetsmålinger. |
| Fv 6466 Leirvikveien | 0,81 | A = 15 778,5259 B = -2,17 | Kun benyttet 4 av 6 kjerner, da en på hver strekning avvek betydelig fra forventet verdi. Det er god korrelasjon mellom georadar målt hulrom og utførte densitetsmålinger. |

Resultatet presenteres under for hvert felt for strekningene. Resultatet fremvises basert på en meters gjennomsnittsverdier. Entreprenørens densitetsmålinger og resultatene fra kalibreringskjernene presenteres i samme graf. Noe forskjell i verdiene må forventes, med tanke på at densitetsmålinger og resultatet fra kalibreringskjernene er punktmålinger og ikke snittet verdi over 1 meter.

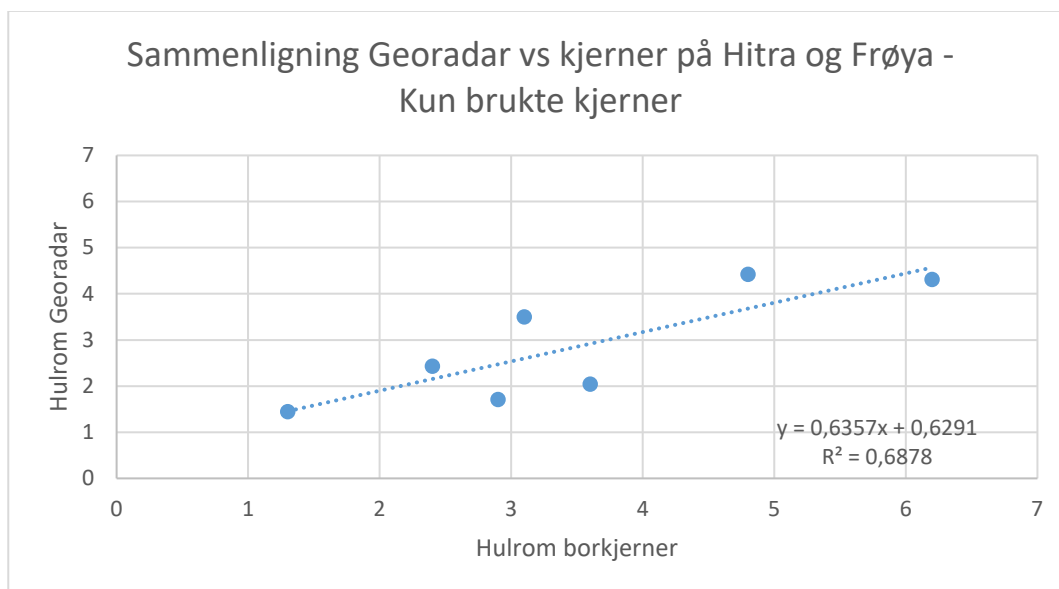
På Fv 6466 Leirvikveien kan det sees i felt 1 at det er stor variasjon i hulrommet på indre målestripen. Dette er på grunn av variasjoner i plassering av langsgående skjot, slik at målingene veksler mellom å ligge på skjot eller bare i nærheten.

Resultatet for hver strekning kan sees i større detalj, i utarbeidede Excel ark.

Figur 16 og Figur 17 viser sammenligningen mellom laboratoriemålt hulrom og georadarmålt hulrom, for henholdsvis alle kalibreringskjernene og kun de kjernene som ble benyttet til kalibreringen. Gjennomsnittlig hulrom pr punkt er benyttet for kalibreringskjernene i sammenligningen.



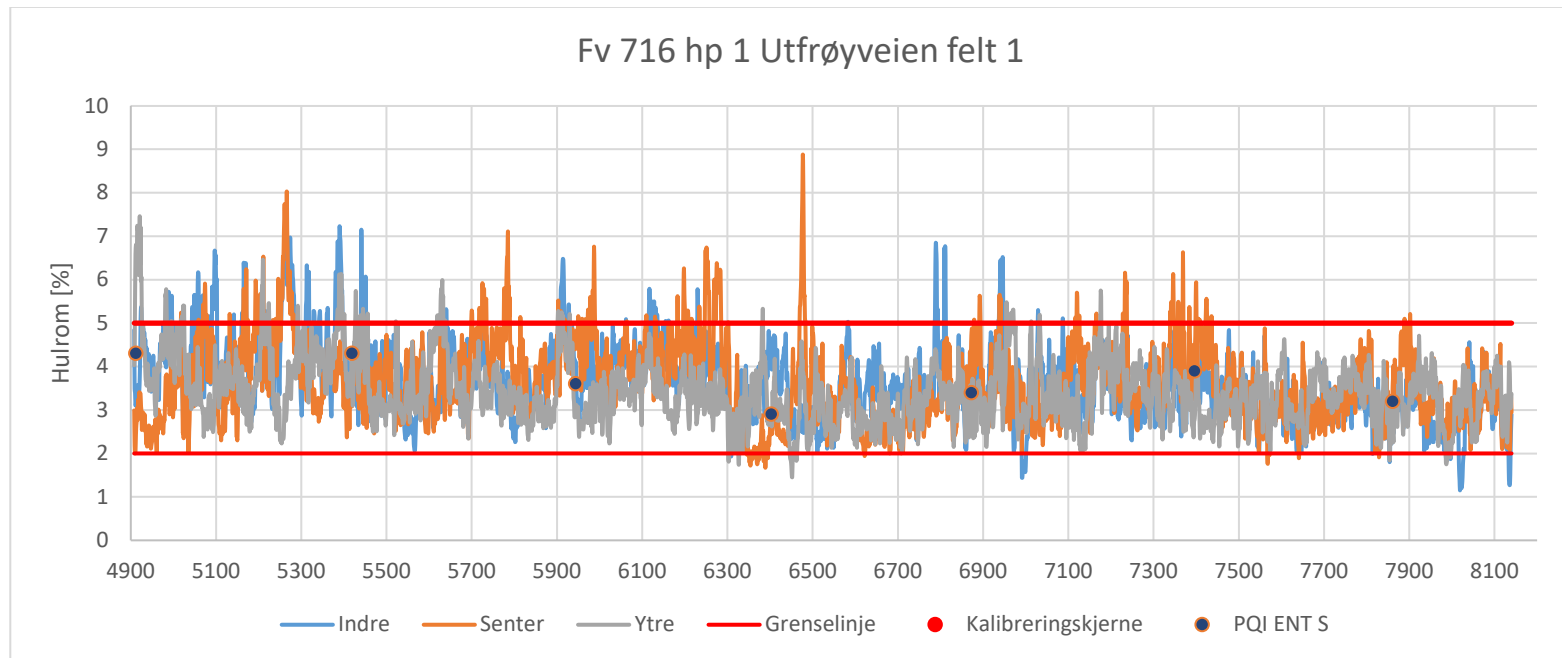
Figur 16 Sammenligning georadarmålt hulrom og laboratoriemålt hulrom på kalibreringskjerner



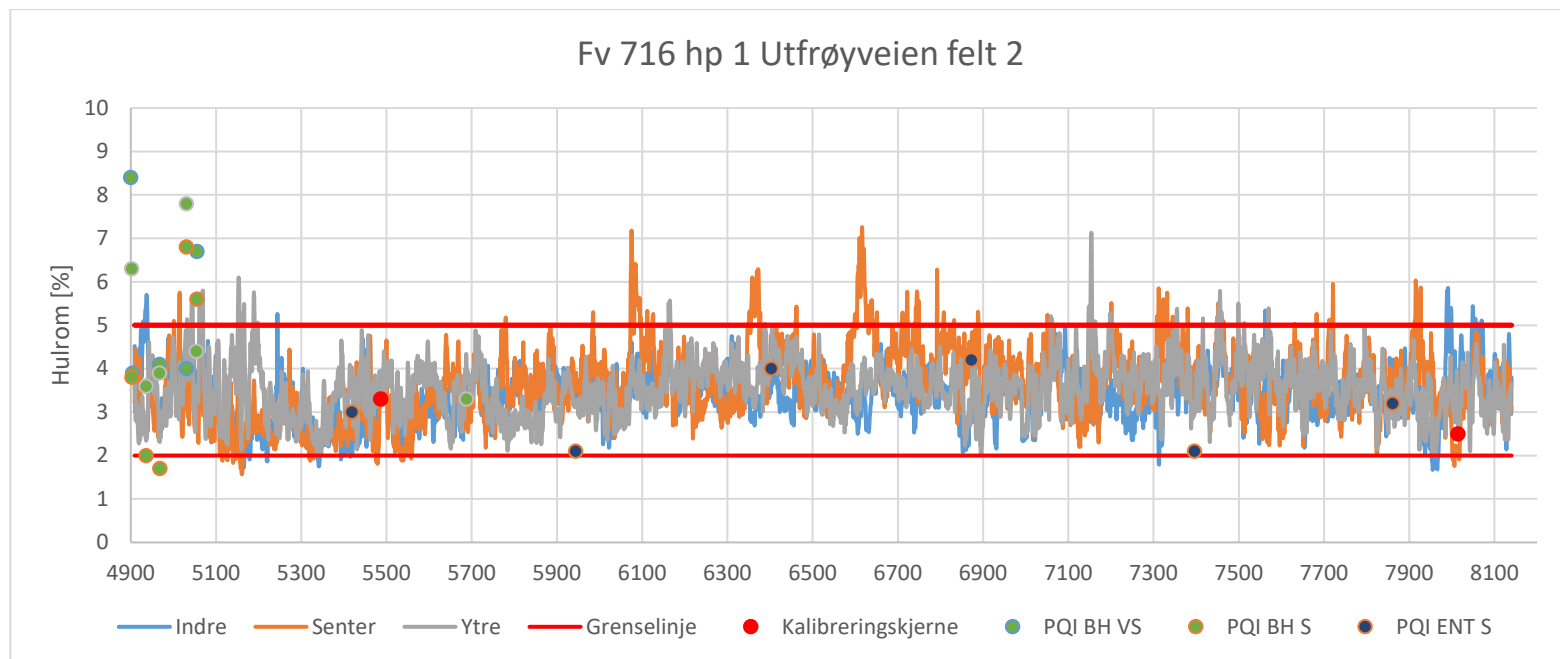
Figur 17 Sammenligning georadarmålt hulrom og laboratoriemålt hulrom på kalibreringskjernene - Kun benyttede kjerner til kalibrering



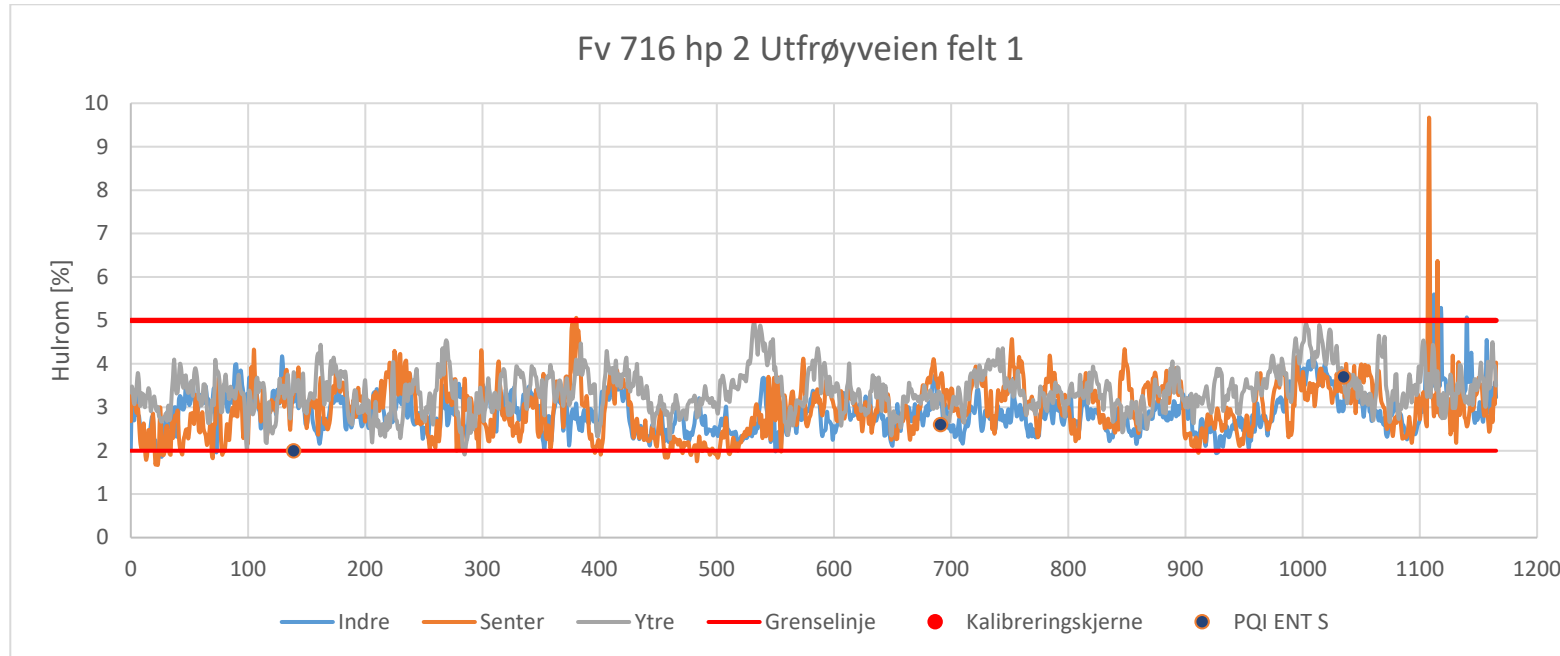
4.2.2.1 Fv 716 Utrøyveien



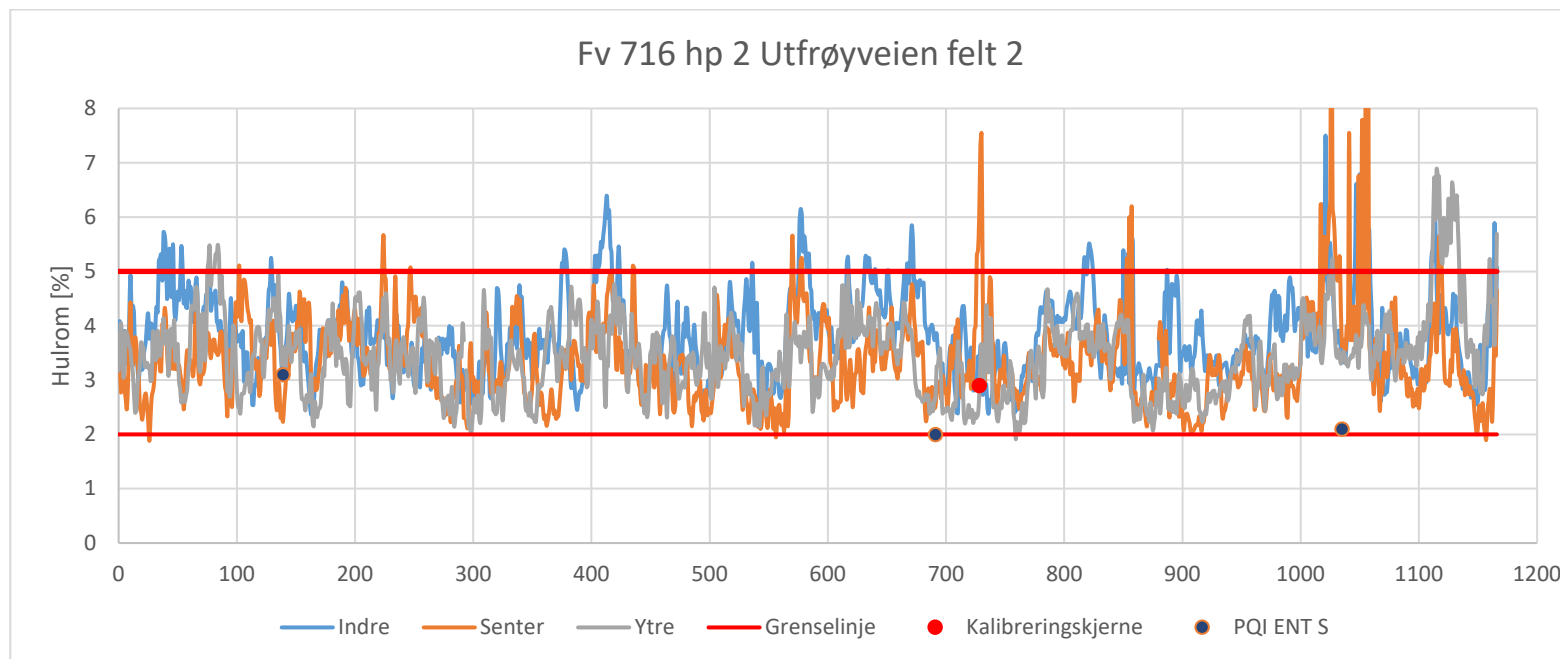
Figur 18 Hulrom Fv 716 hp 1 Utrøyveien felt 1



Figur 19 Hulrom Fv 716 hp 1 Utførveien felt 2



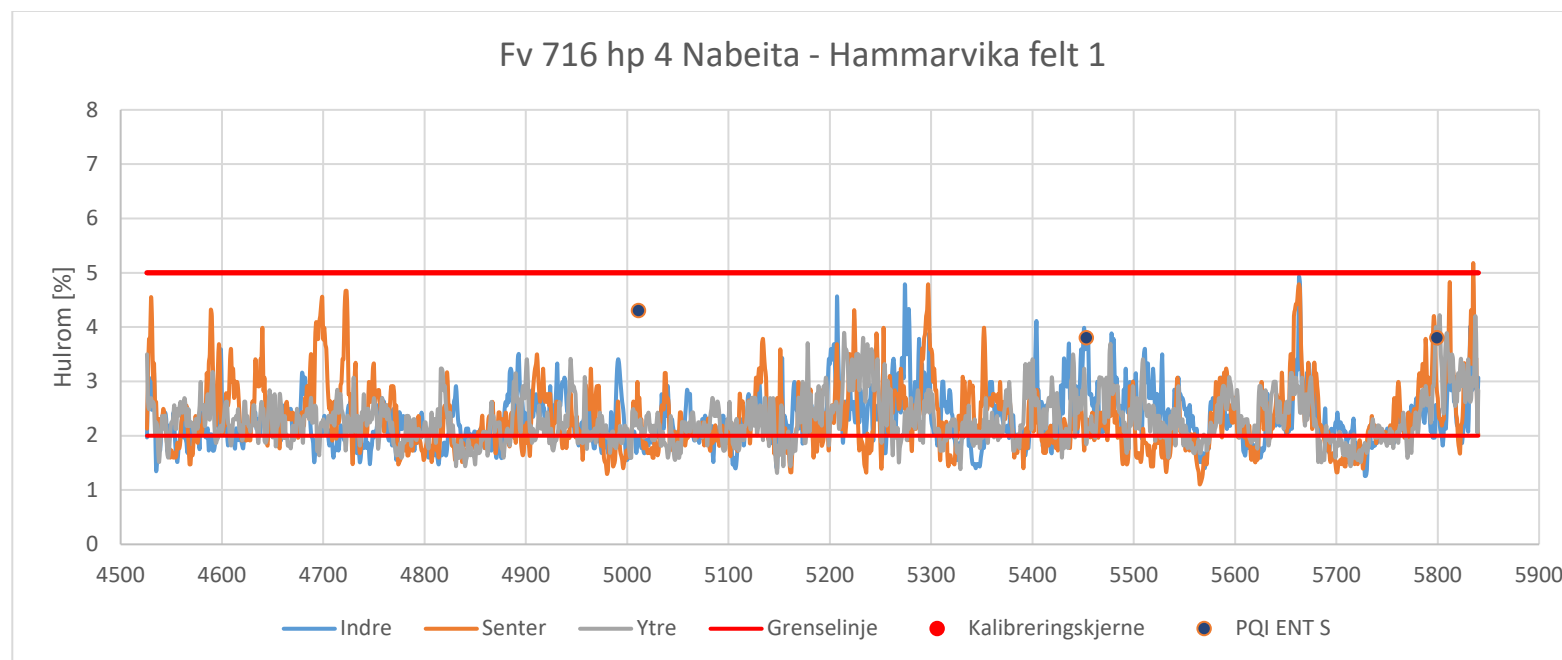
Figur 20 Hulrom Fv 716 hp 2 Utførveien felt 1



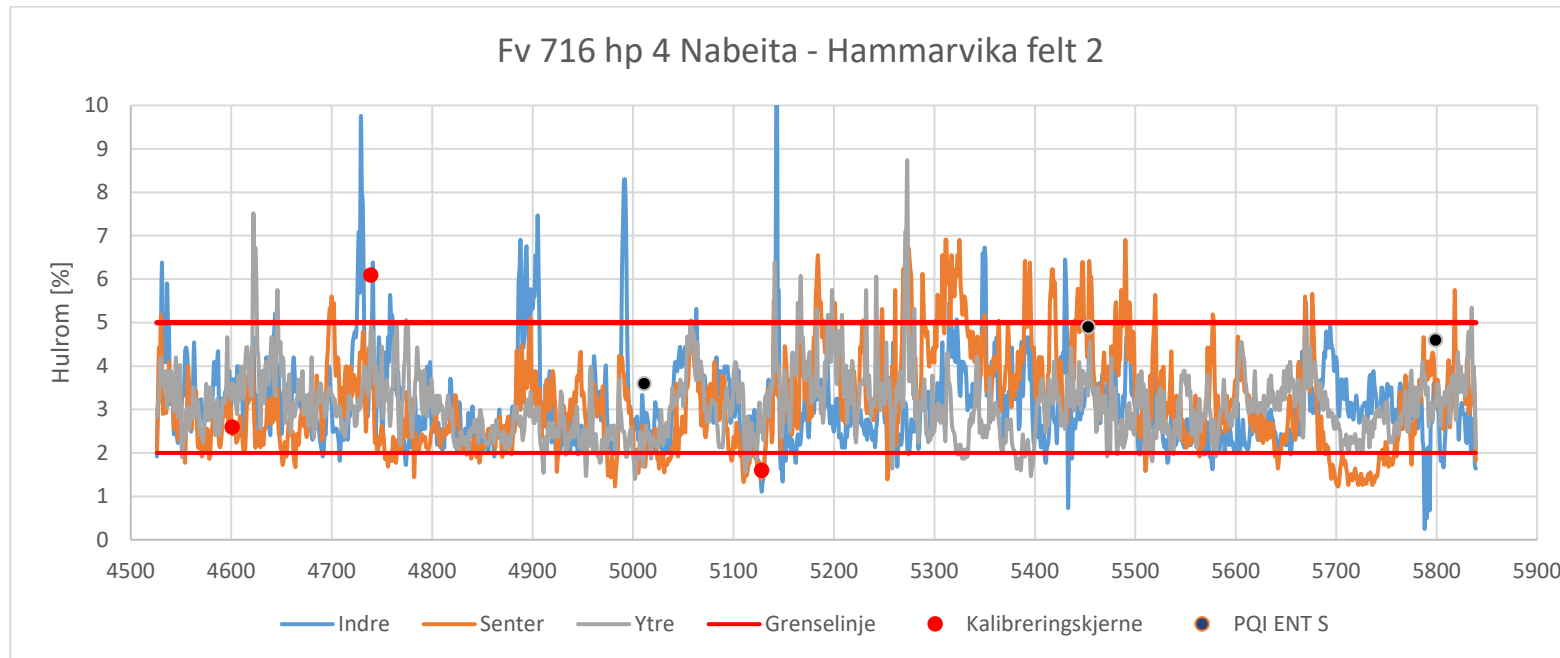
Figur 21 Hulrom Fv 716 hp 2 Utførøveien felt 2



4.2.2.2 Fv 716 Nabeita - Hammarvika



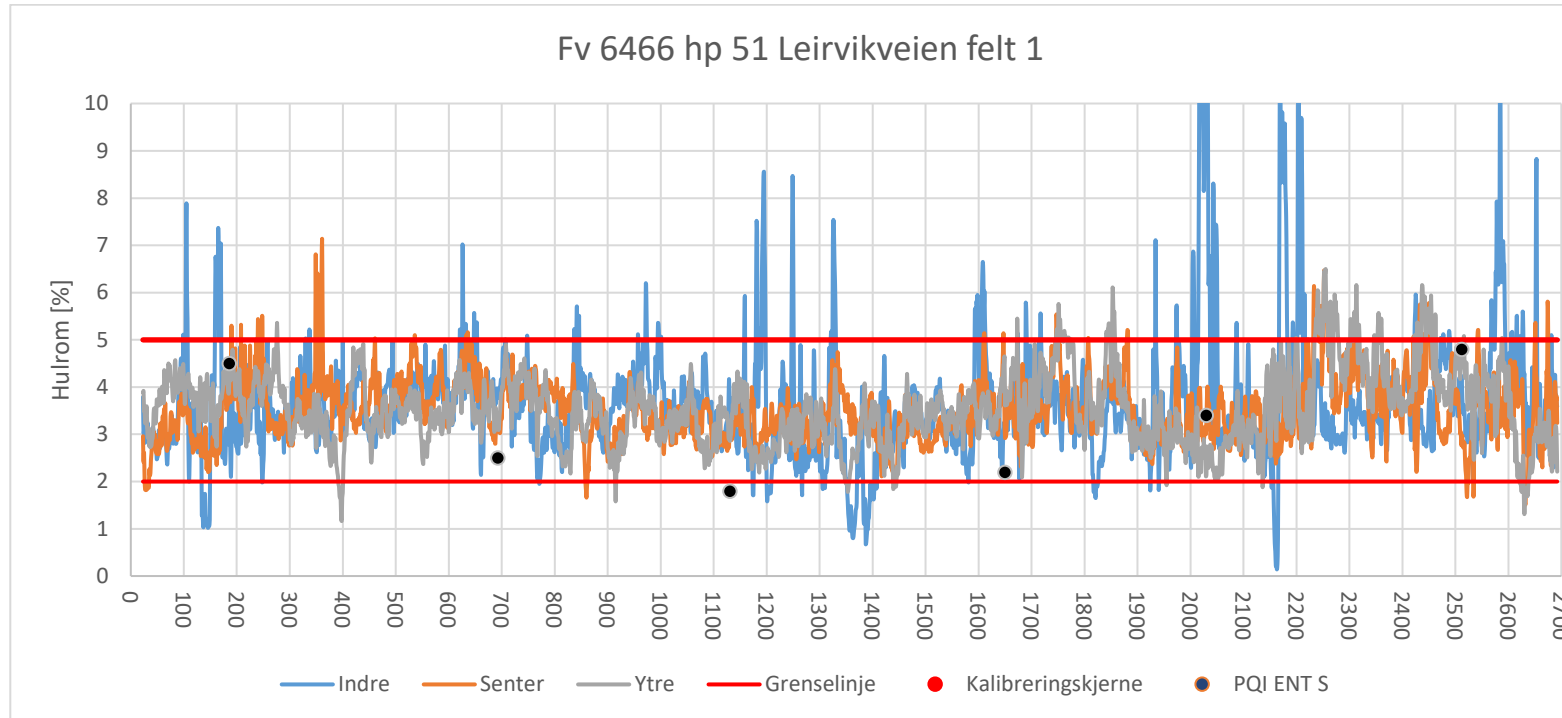
Figur 22 Hulrom Fv 716 Nabeita - Hammarvika felt 1



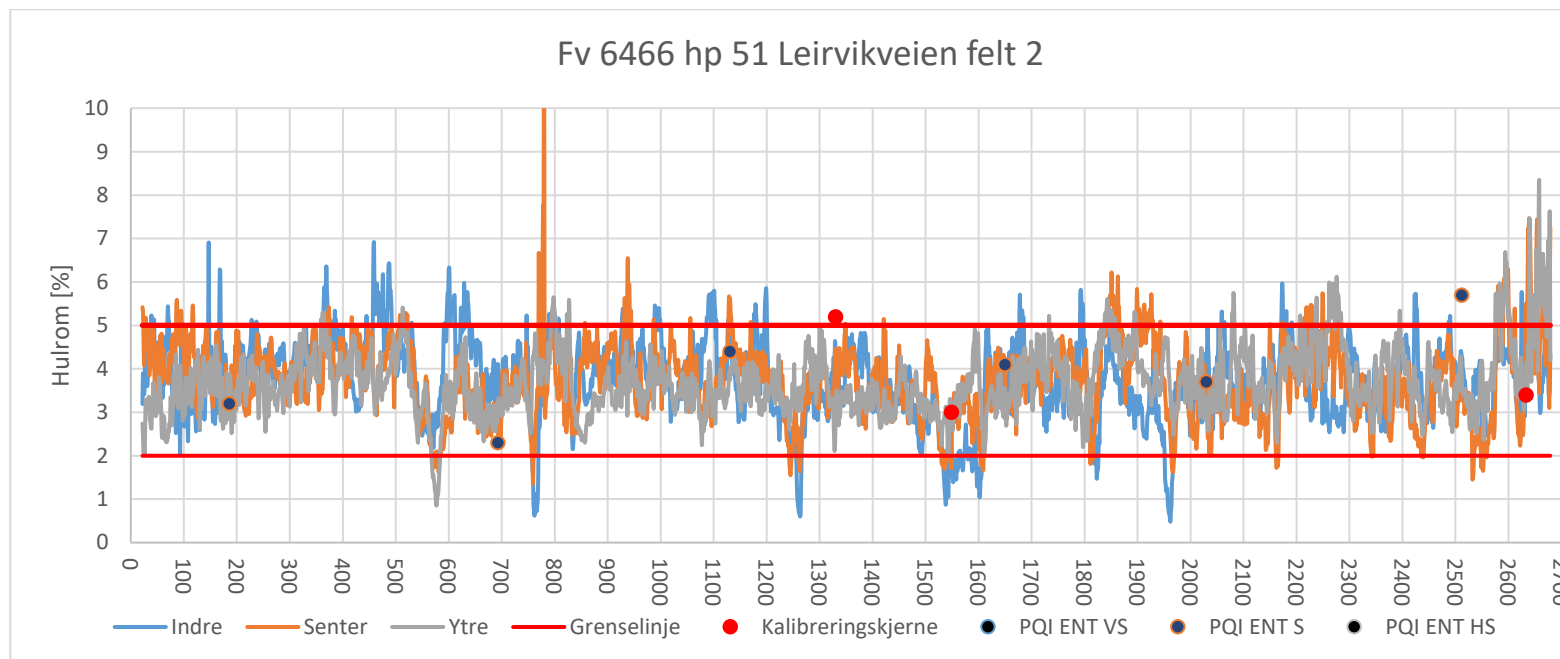
Figur 23 Hulrom Fv 716 Nabeita - Hammarvika felt 2



4.2.2.3 Fv 6466 Leirvikveien



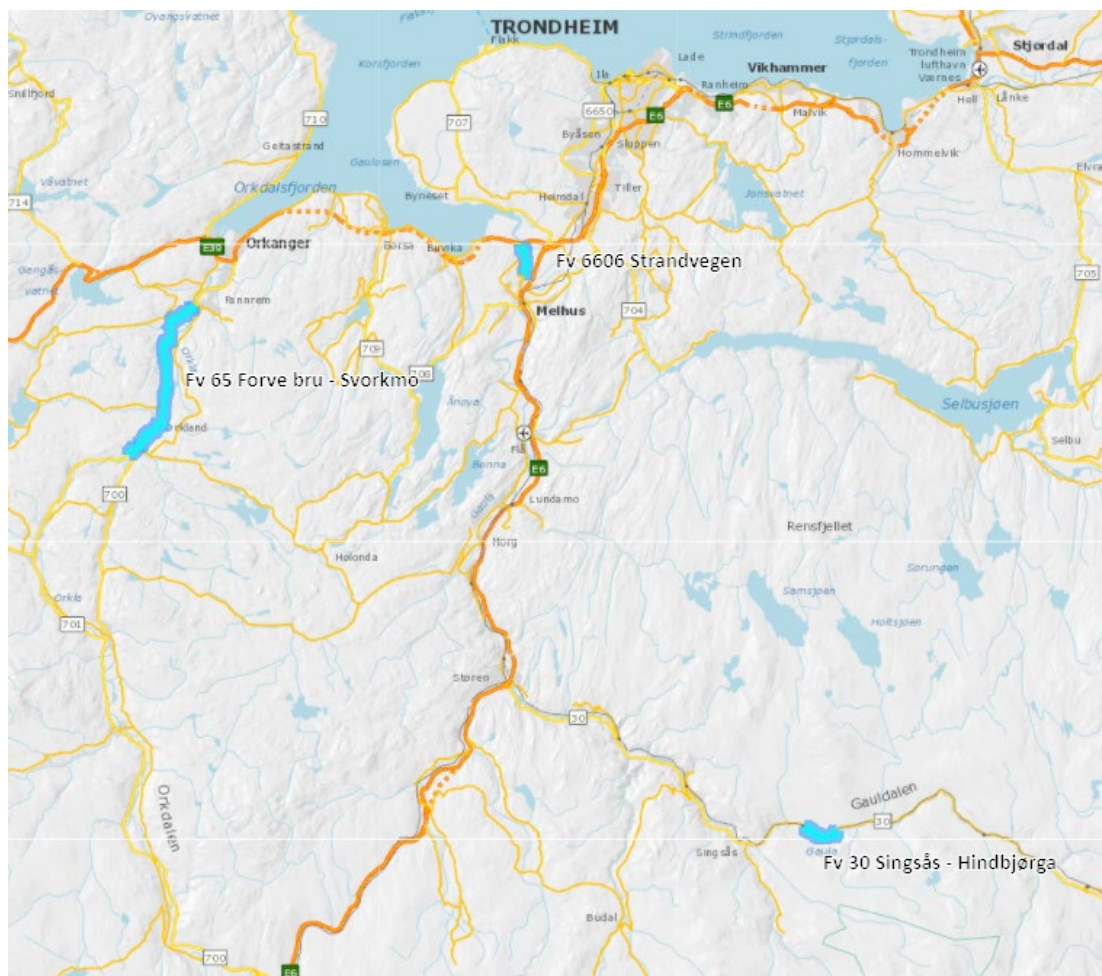
Figur 24 Hulrom Fv 6466 Leirvikveien felt 1



Figur 25 Hulrom Fv 6466 Leirvikveien felt 2

4.3 Kontrakt 4-50-2021-04 Trøndelag sørøst

Strekningene på Trøndelag sørøst kontrakten ble målt i to perioder. Fv 30 og Fv 6606 ble målt den 01.07.2021, mens Fv 65 ble målt den 16.09.2021. Fv 6606 ble målt utenfor tidsperioden på 3 uker mellom ferdig dekkelegging og måling, mens de resterende strekning ble målt innen tidsfristen. Et oversiktskart over strekningene som ble målt er vist i Figur 26. Benyttede dekketyper er vist i Tabell 8.



Figur 26 Oversiktskart over strekninger på kontrakt 4-50-2021-04 Trøndelag sørøst



Tabell 8 Oversikt over dekketyper på kontrakt 4-50-2021-04 Trøndelag sørøst

| Strekning | Dekketyper |
|----------------------------|----------------|
| Fv 30 Singsås – Hindbjørga | Ab 11 |
| Fv 65 Forve bru – Svorkmo | Ska 16 med PmB |
| Fv 6606 Strandvegen | Agb 11 |

4.3.1 Laboratoriemålinger

Tabell 9 Laboratoriemålinger på kontrakt 4-50-2021-04 Trøndelag sørøst

| Veg | Pkt | Hydrostatisk overflatetørr | | | | Måling | | | |
|-------------------------------|-----|----------------------------|---------------------|--------------------|-------|--------------------|--------------------|--------------------|-------|
| | | Del - prøve A | Del - prøve B | Del- prøve C | Snitt | Del- prøve A | Del- prøve B | Del- prøve C | Snitt |
| Fv 30 Singsås - Hindbjørga | 1 | 1,9% | 2,4% | 1,6% | 2,0% | 2,1% | 2,2% | 1,7% | 2,0% |
| | 2 | 5,0% | 4,9% | 5,3% | 5,1% | 5,3% | 5,2% | 8,2% | 6,2% |
| | 3 | 7,6% | 7,8% | 7,3% | 7,5% | 8,8% | 8,8% | 8,1% | 8,5% |
| Fv 65 Forve bru - Svorkmo | 1 | 1,5% | 1,2% | 1,8% | 1,5% | 1,7% | 1,1% | 2,2% | 1,7% |
| | 2 | 5,1% | 5,4% | 3,9% | 4,8% | 5,9% | 6,4% | 4,4% | 5,6% |
| | 3 | 3,8% | 2,5% | 2,0% | 2,7% | 4,2% | 3,4% | 2,4% | 3,4% |
| Fv 6606 Strandvegen | 1 | 5,6% | 5,6% | 6,1% | 5,8% | 5,4% | 4,9% | 5,9% | 5,4% |
| | 2 | 3,4% | 3,8% | 3,4% | 3,6% | 3,2% | 3,9% | 3,7% | 3,6% |
| | 3 | 2,4% | 2,6% | 2,7% | 2,5% | 2,6% | 2,2% | 2,7% | 2,5% |

Målinger som er benyttet til kalibrering er uthøvet i rødt i Tabell 9. Det er kun resultat fra hydrostatisk overflatetørr som er benyttet til kalibreringen. Det er lite variasjon i hulrommet på kjernene innad på punktene, som indikerer at dekket var homogent i dette området.

4.3.2 Resultater

Til opprettelse av kalibreringskurven og beregning av korrelasjonsfaktor blir punktmålinger benyttet. På Fv 6606 blir imidlertid strekningsmålingene benyttet for å lage kalibreringskurven. Dette gjøres fordi det mellom strekningsmåling og punktmålinger gikk 5 timer, og under punktmålingene ble det oppdaget at det hadde kommet kondens på asfalten, noe som betydelig endret den dielektriske verdien.



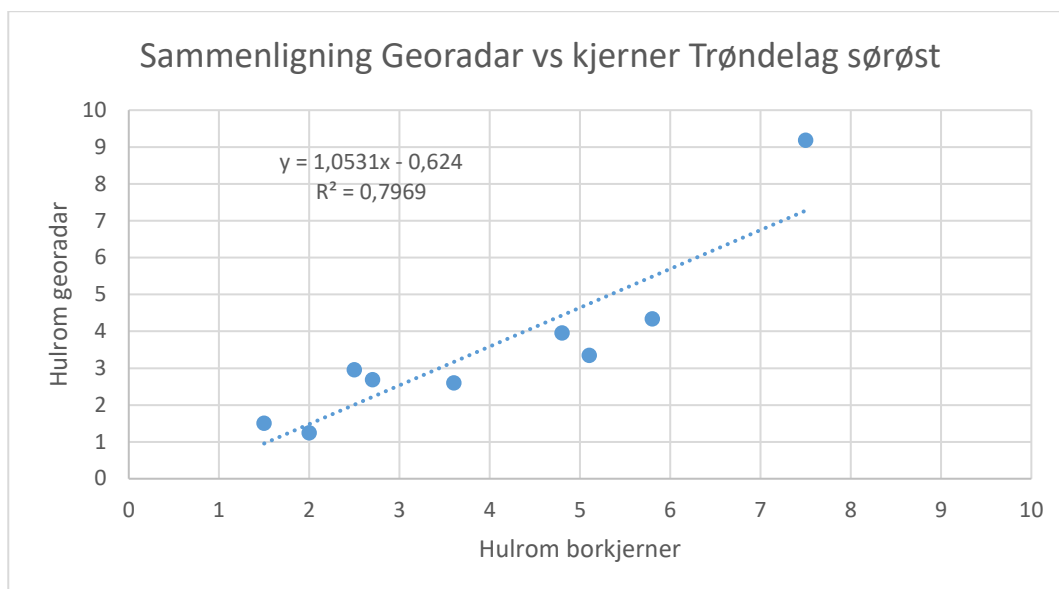
Tabell 10 Korrelasjonsfaktor for kontrakt 4-50-2021-04 Trøndelag sørøst

| Strekning | Korrelasjonsfaktor (R^2) | A og B faktorer | Kommentar |
|----------------------------|------------------------------|--|---|
| Fv 30 Singsås - Hindbjørga | 0,78 | A = 153 234,9493 B = -2,1697 | Det var fint vær under målingen. Korrelasjonsfaktoren er noe lavere enn ønsket, men beregnet hulrom for georadaren viser god overenstemmelse med isotopmålinger. Kalibreringskurven er bratt, slik at det ved små endringer i dielektrisk verdi kan medføre store utslag i hulrom. Det forventes derfor at hulrommet kan være noe overvurdert på de høyeste partiene. Alt i alt forventes det at målingene gir et godt bilde av hulrommet på strekningen. |
| Fv 65 Forve bru - Svorkmo | 0,75 | A = 234,69 B = -1,059 | Strekningen ble målt sent på året, og det hadde regnet noe først på formiddagen. Det er imidlertid ikke tegn i målingene på at deler av strekningen var fuktig. |
| Fv 6606 Strandvegen | 0,95 | A = 4516,8 B = -1,4271 | Benyttet strekningsmåling istedenfor punktmålinger. Dette medfører en liten usikkerhet ift plassering, men denne skal ifølge Terratec være minimal. Det var fine værforhold under målingen. |

Resultatet presenteres under for hvert felt for strekningene. Resultatet fremvises basert på en meters gjennomsnittsverdier. Entreprenørens densitetsmålinger og resultatene fra kalibreringskjernene presenteres i samme graf. Noe forskjell i verdiene må forventes, med tanke på at densitetsmålinger og resultatet fra kalibreringskjernene er punktmålinger og ikke snittet verdi over 1 meter.

Alt resultat kan sees i større detalj, i utarbeidede Excel ark.

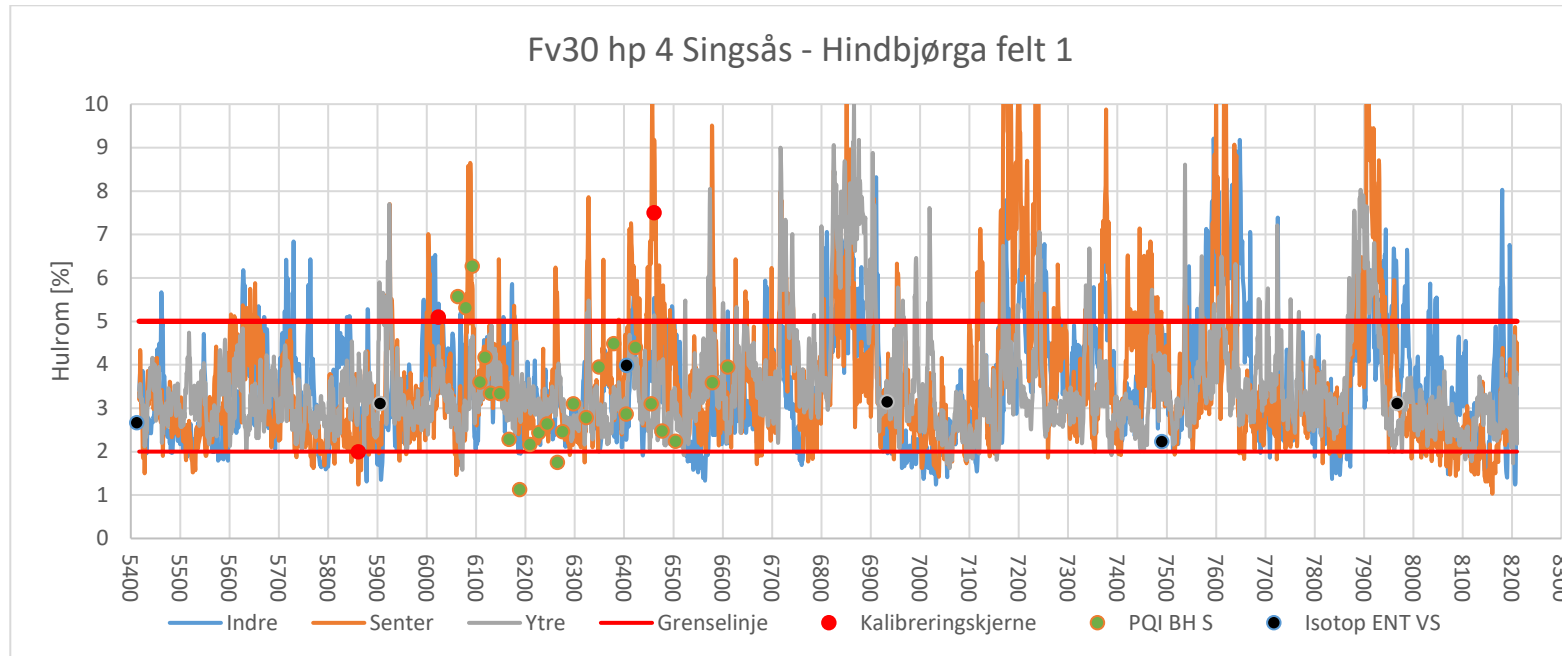
Figur 27 viser en sammenligning mellom georadarmålt hulrom og laboratiemålt hulrom på kalibreringskjernene. Som det kan sees er det grei overenstemmelse mellom georadarmålt hulrom og hulrom fra kjernene, med en korrelasjon R^2 på 0,797. Gjennomsnittlig hulrom pr punkt er benyttet for kalibreringskjernene i sammenligningen.



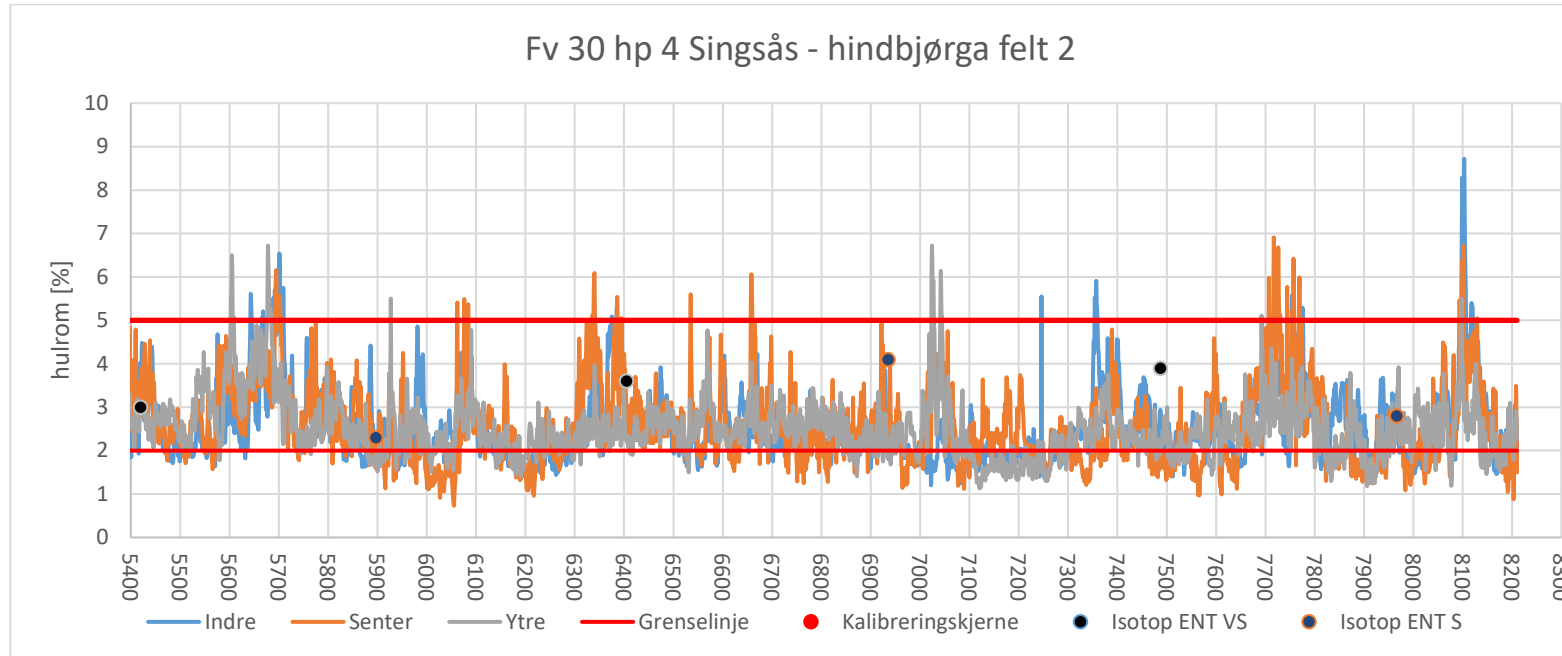
Figur 27 Sammenligning av georadarmålt hulrom og laboratiemålt hulrom på kalibreringskjerner



4.3.2.1 Fv 30 Singsås - Hindbjørga



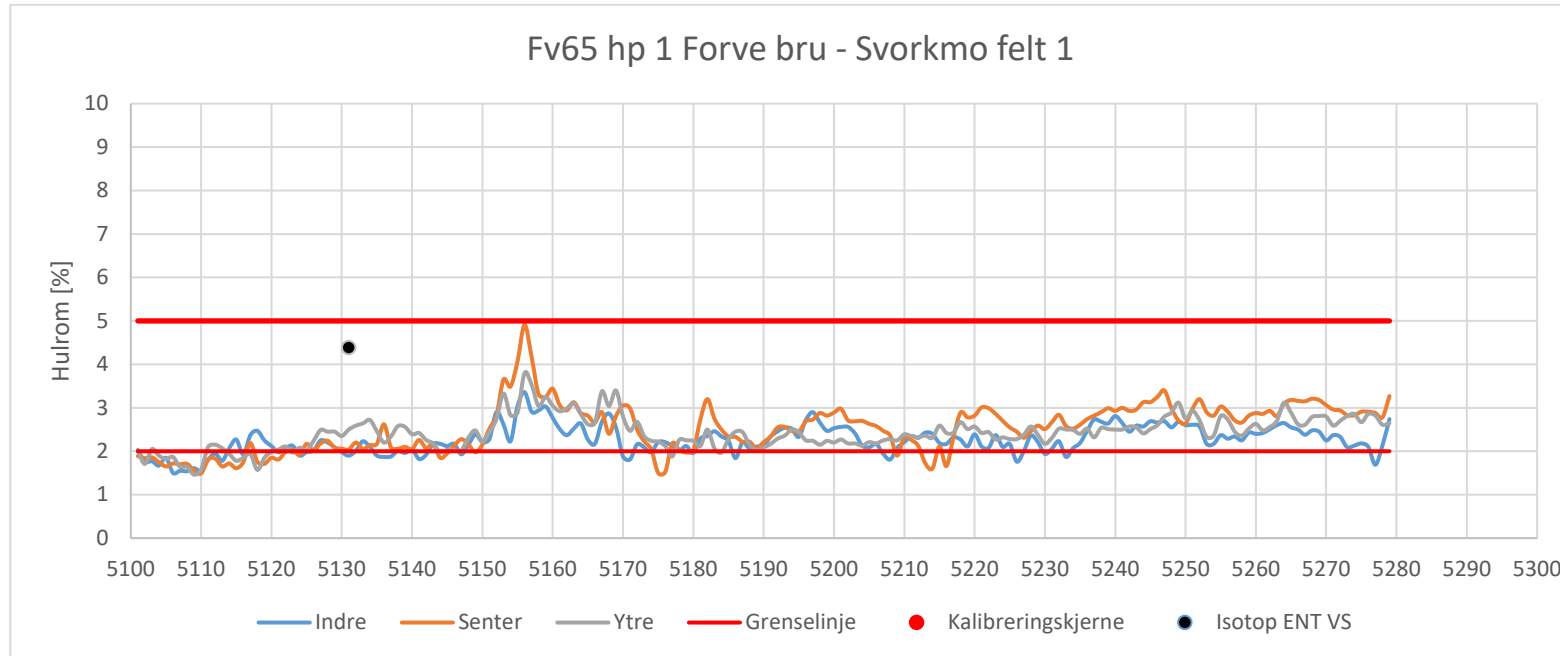
Figur 28 Hulrom Fv 30 Singsås - Hindbjørga felt 1



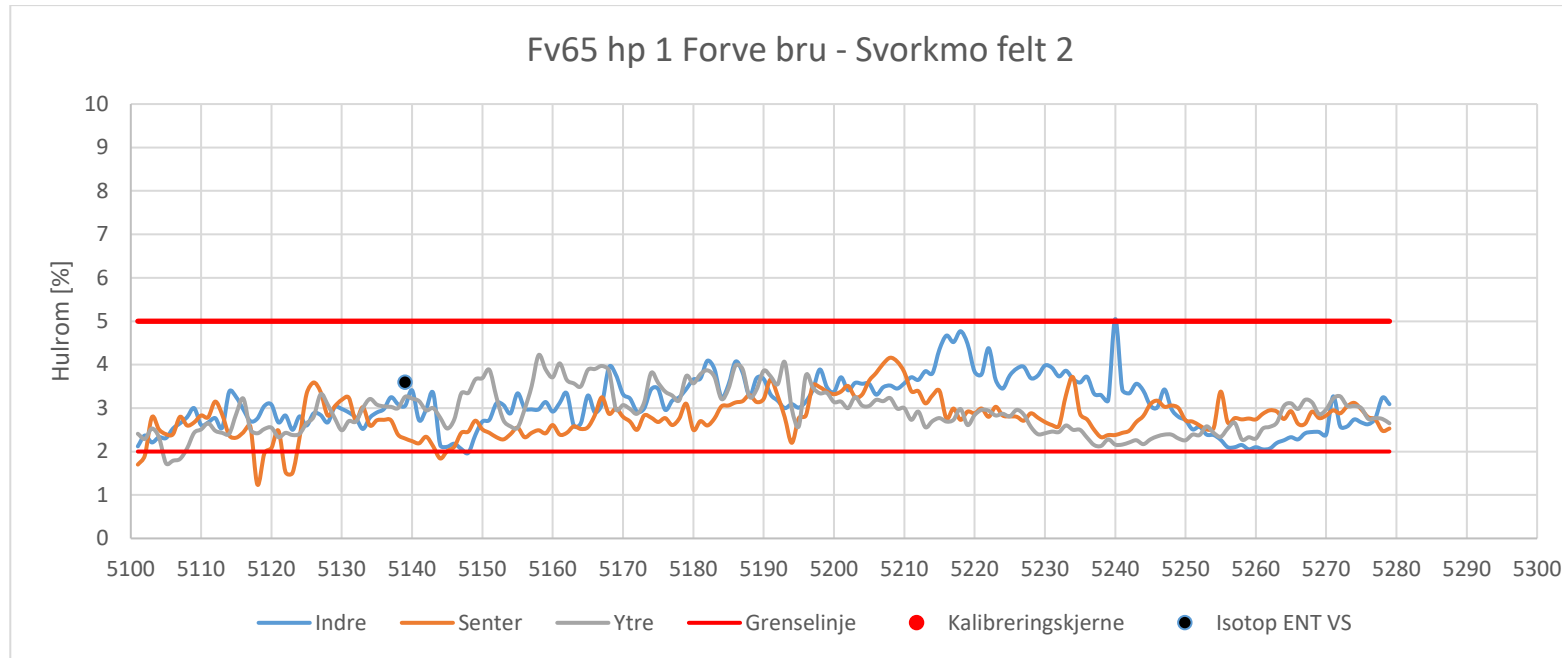
Figur 29 Hulrom Fv 30 Singsås - Hindbjørga



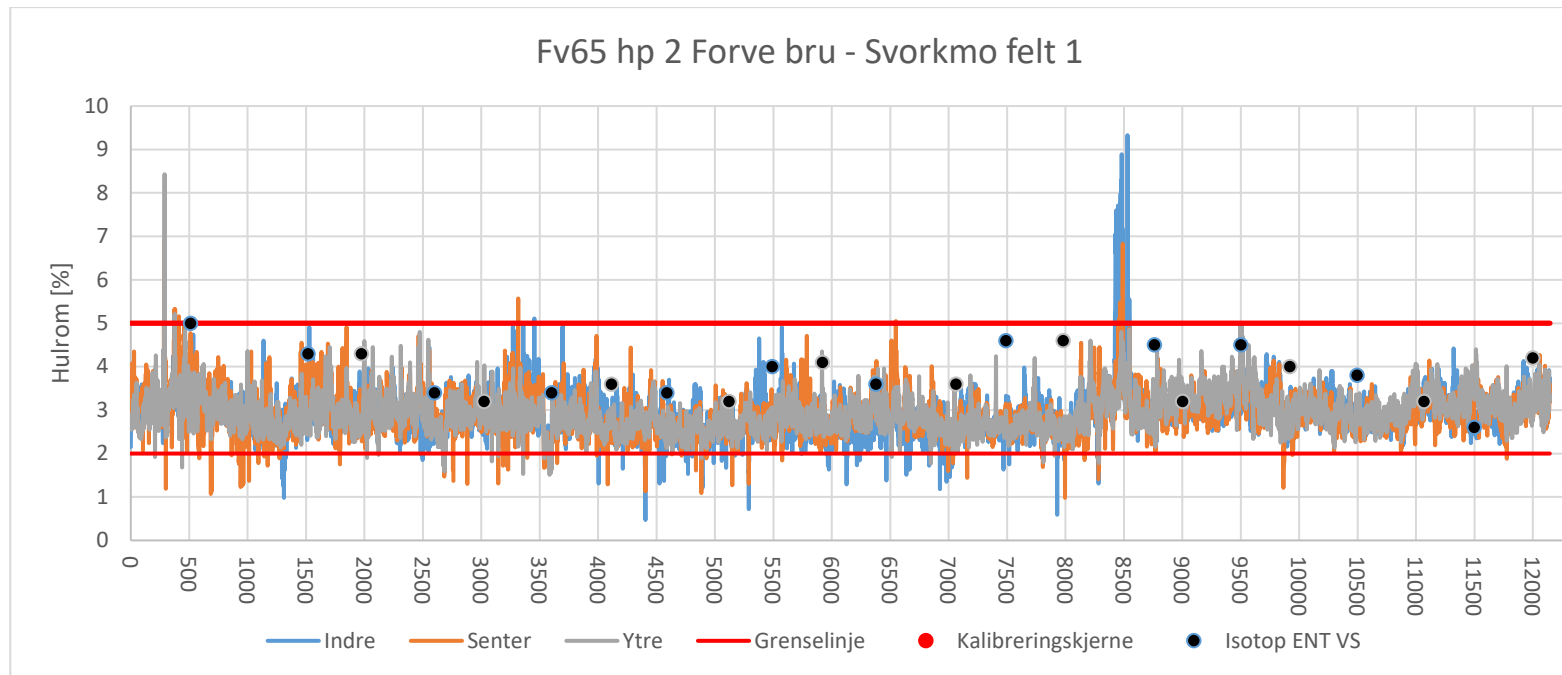
4.3.2.2 Fv 65 Forve bru - Svorkmo



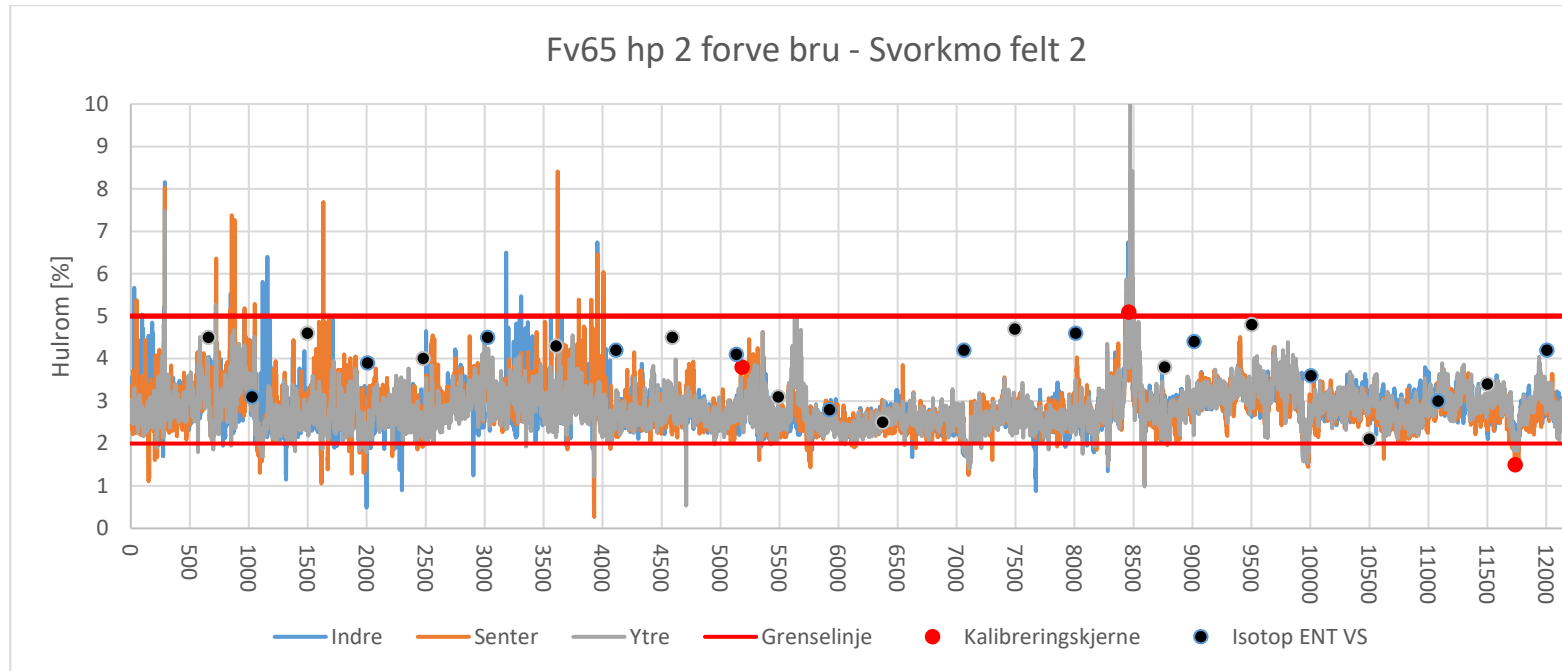
Figur 30 Fv 64 hp 1 Forve bru - Svorkmo felt 1



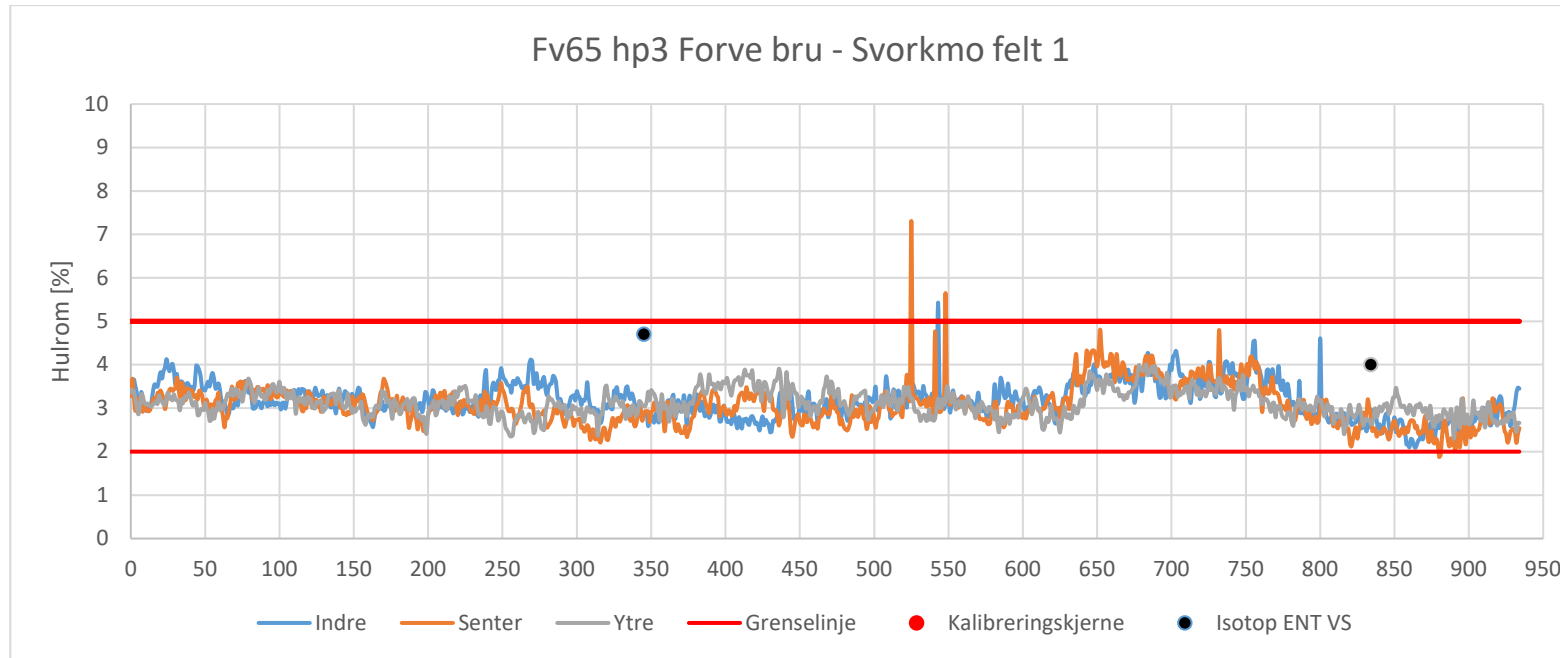
Figur 31 Hulrom Fv 65 hp 1 Forve bru - Svorkmo felt 2



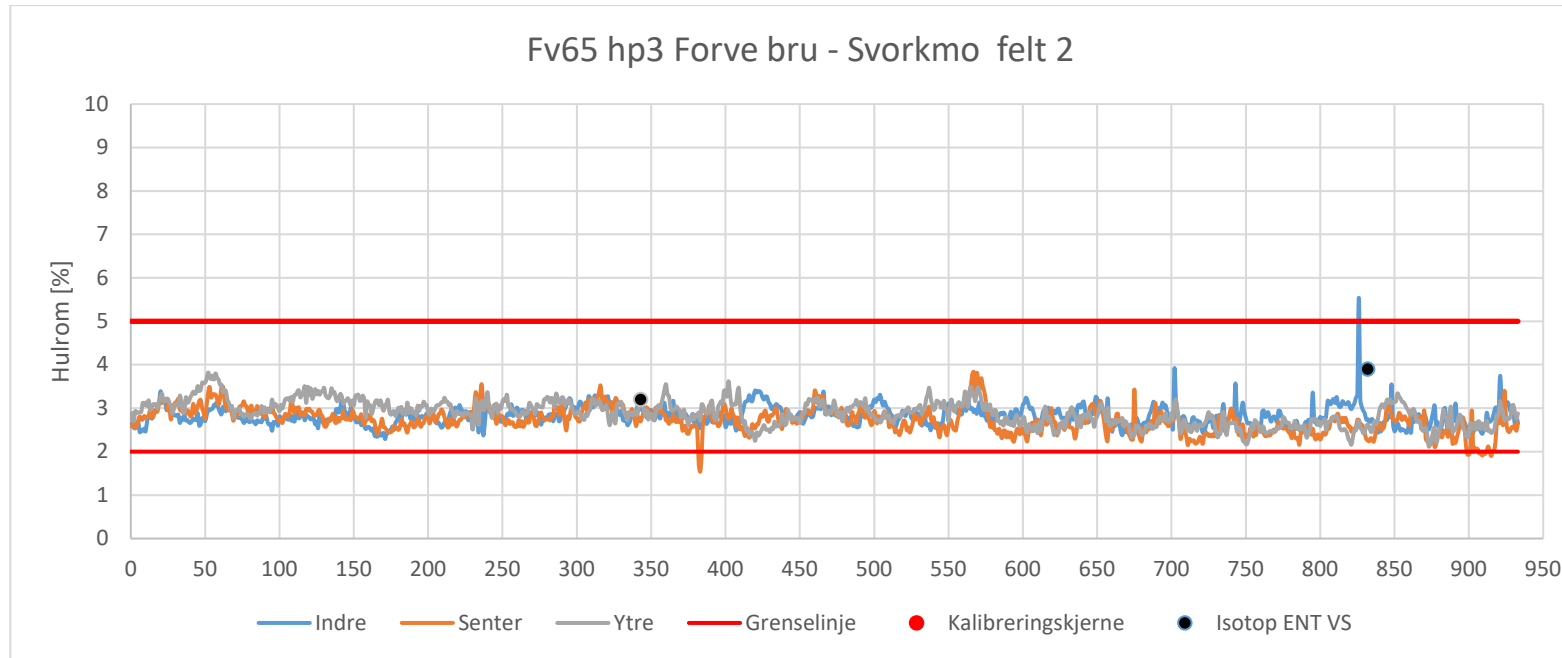
Figur 32 Hulrom Fv 65 hp 2 Forve bru - Svorkmo felt 1



Figur 33 Hulrom Fv 65 hp 2 Forve bru - Svorkmo felt 2



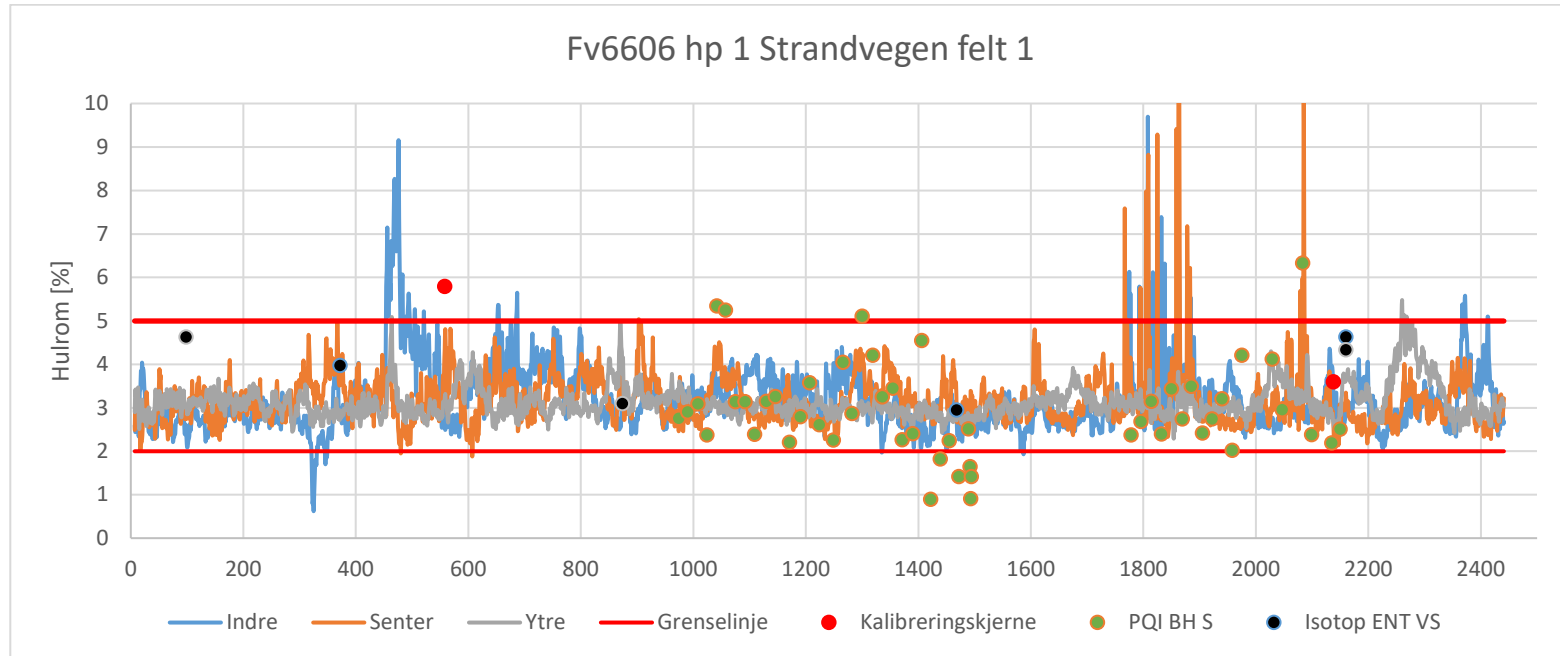
Figur 34 Hulrom Fv 65 hp 3 Forve bru - Svorkmo felt 1



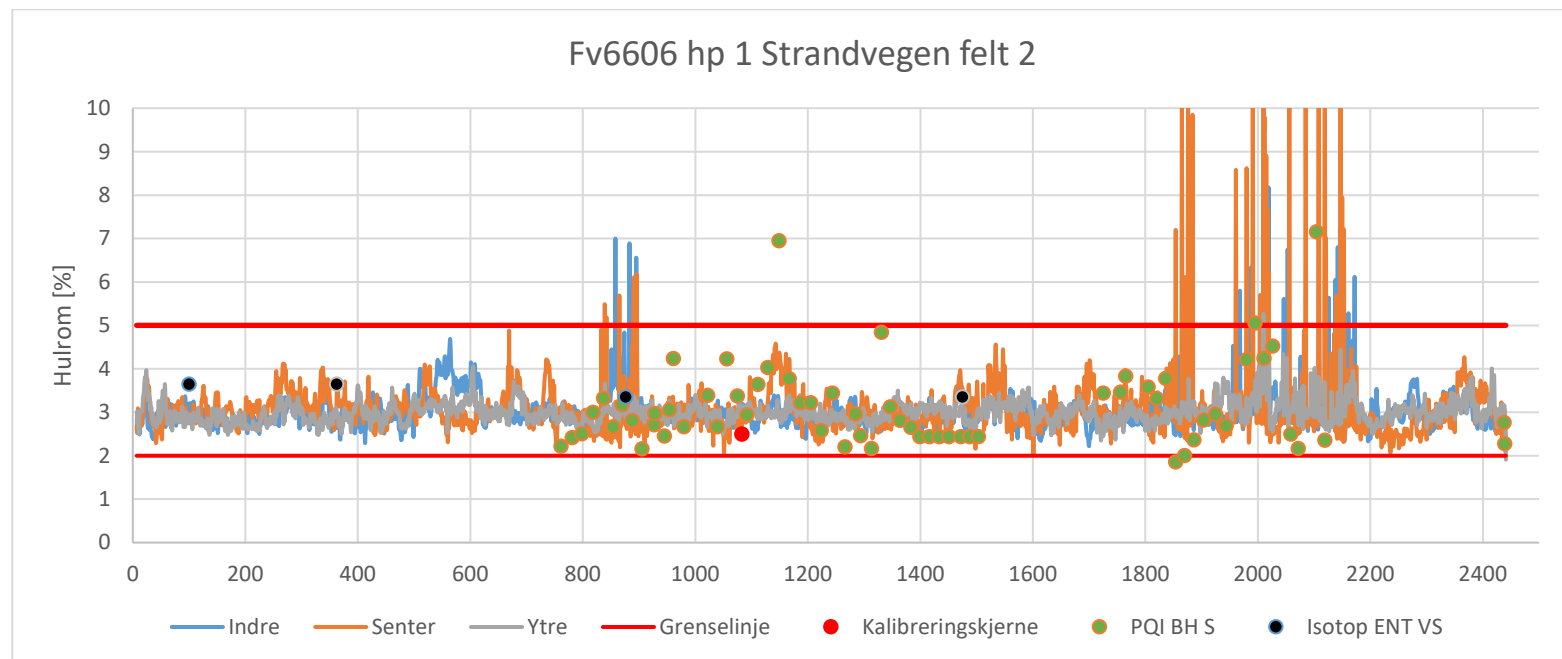
Figur 35 Hulrom Fv 65 hp 3 Forve bru - Svorkmo felt 2



4.3.2.3 Fv 6606 Strandvegen



Figur 36 Hulrom Fv 6606 Strandvegen felt 1



Figur 37 Hulrom Fv 6606 Strandvegen felt 2



5 KONKLUSJON

Det er en viss grad av svakhet med alle metoder som i dag benyttes til hulromskontroll. Spørsmålet er hvilken grad av usikkerhet som man er villig til å godta på resultatene og hva slags beslutningsgrunnlag de skal bygge opp under. Man kan diskutere om borkjerner på f.eks hver 200 meter kan gi et helhetlig bilde av kvaliteten på strekningen, om resultatet som en georadar gir er pålitelig eller om densitetsmålingene stemmer. Som med all ny teknologi så har georadar både positive og negative sider, og det vil kreve et større arbeid med å bygge opp erfaring og kunnskap rundt metoden. Dette vil medføre at både gode og dårlige sider med metoden skal synliggjøre. Målingene som ble utført i 2021 viste både gode og dårlige resultater og de utfordringer som georadarmålinger har. Noen av de dårlige resultatene har det i ettertid ikke vært mulig å finne årsaken til. Litt av hovedpunktene fra sesongen er diskutert i punktene under.

Som det er sett av resultatene for strekningene i kapitlene over har det vært problemer med både innsamling og kalibrering for flere av strekningene. Årets målinger viser hvor viktig en god kalibrasjon av georadaren er for resultatet, og dermed validiteten dette gir på målemetoden i sin helhet. Korrelasjonen mellom punktmålt dielektriske verdier og laboriemålt hulrom på de uttatte punktene har jevnt over vært lavere enn ønsket (R^2 minimum 0,8). I Tabell 11 er korrelasjonen oppsummert, og det kan sees at mange av strekningene ligger under 0,8. På 4 av 9 strekninger var det resultat på kjernene som avvek fra forventet verdi. For Fv 716 Utrøyveien og Fv 6466 Leirvikveien var det en prøve som avvek, men på grunn av at samme masse var benyttet kunne denne beregnes med den Svensk/Amerikanske metoden. På Fv 769 Lænn – Sørenget og Fv 7062 Klinga - Romstad var avvikene så store at disse ikke kunne beregnes med den Svensk/Amerikanske metoden, da hulrommet viste det motsatte av hva som var forventet. Det har i ettertid ikke vært mulig å finne årsaken til hvorfor denne variasjonen oppsto. Det har blitt diskutert om det var noe kondens på vegbanen under målingene, men sammenligning mellom punkt og strekningsmåling har vist at dette ikke var et problem. Det ble også vurdert om prøvene hadde blitt byttet om ved utboring eller i lab, men dette blir kun spekulasjoner som aldri kan underbygges. Sjansen for at dette har skjedd ansees som liten.

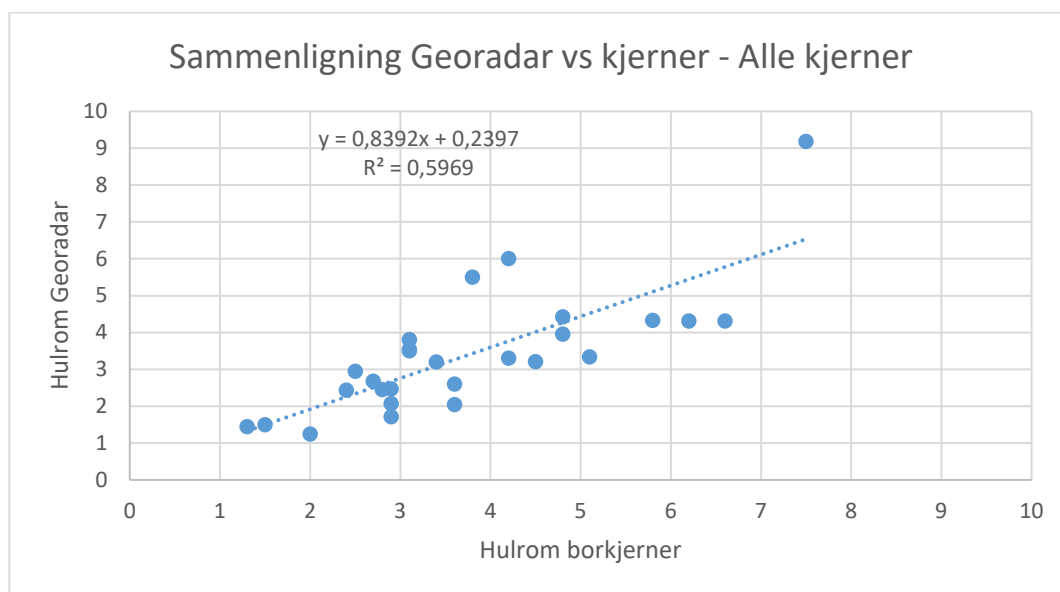
Tabell 11 Oppsummering av oppnådd korrelasjon

| Strekning | Korrelasjon | Massetype |
|-----------------------------|--------------------|-----------|
| Fv 17 Sprova – Korsen | 0,62 | Ska 11 |
| Fv 769 Lænn – Sørenget | Benyttet Mara Nord | Ab 11 |
| Fv 7062 Klinga – Romstad | Benyttet Mara Nord | Agb 11 |
| Fv 716 Utrøyveien | 0,81 | Agb 11 |
| Fv 716 Nabeita – Hammarvika | 0,99 | Ab 11 |
| Fv 6466 Leirvikveien | 0,81 | Agb 11 |
| Fv 30 Singsås – Hindbjørga | 0,78 | Ab 11 |

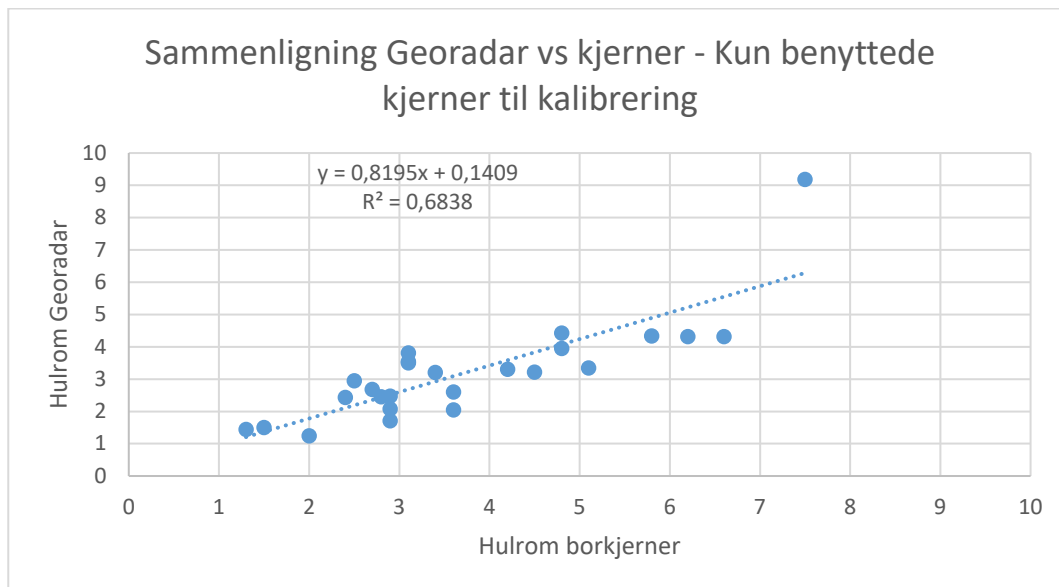


| | | |
|---------------------------|------|----------------|
| Fv 65 Forve bru – Svorkmo | 0,75 | Ska 16 med PmB |
| Fv 6606 Strandvegen | 0,95 | Agb 11 |

I Figur 38 og Figur 39 oppsummeres sammenligningen mellom georadarmålt hulrom og laboratoriemålt hulrom på kalibreringskjerner. Sammenligningen benytter beregnet hulrom fra strekningsmålingene, og ikke punktmålingene som ble benyttet til å lage kalibreringskurven. Som det kan sees ligger korrelasjonen på $R^2 = 0,60-0,68$, avhengig av hvor mange kjerner som tas med i oversikten. Figur 39 viser korrelasjonen uten punktene som ikke ble benyttet til kalibreringen på Fv 716 Utfryveien og Fv 6466 Leirvikveien. Det er forventet noe større avvik mellom strekningsmålt hulrom og laboratoriemålt hulrom, enn det var mellom punktmålinger og laboratoriemålt hulrom. Dette skyldes ganske enkelt at strekningsmålingene er data over 1 meter, mens kalibreringskjernene er punkter. Det foreslås at sammenligningen med kun benyttede kjerner legges til grunne i sammenligningen, basert på at det tidligere var tydelig avvik i den dielektriske verdien som ble målt på disse punktene. En korrelasjon på 0,68 er noe lavere enn ønsket, men ansees allikevel som tilstrekkelig for at georadaren skal gi et bilde av hulrommet på strekningene.



Figur 38 Sammenligning av georadarmålt hulrom med laboratoriemålt hulrom - Alle kjerner



Figur 39 Sammenligning georadarmålt hulrom med laboriemålt hulrom – Kun benyttede kjerner

Viktigheten av nok kalibreringspunkter kan ikke påpekes tydelig nok. Der det denne sesongen har blitt benyttet 3 kalibreringspunkter pr strekning, kan det basert på årets resultater argumenteres for at dette ikke er tilstrekkelig. Rent statistisk ansees 3 punkter som lite, med tanke på at det gir et minimalt beslutningsgrunnlag. Hvis grunnlaget er på f.eks 9 kjerner gir dette metoden en større trygghet, da dette gir et større statistisk grunnlag. Eventuelle avvikende kjerner kan da strykes basert på grunnlaget de andre kjernene gir. Det anbefales derfor at ved senere bruk at antallet økes til 9 punkter pr strekning.

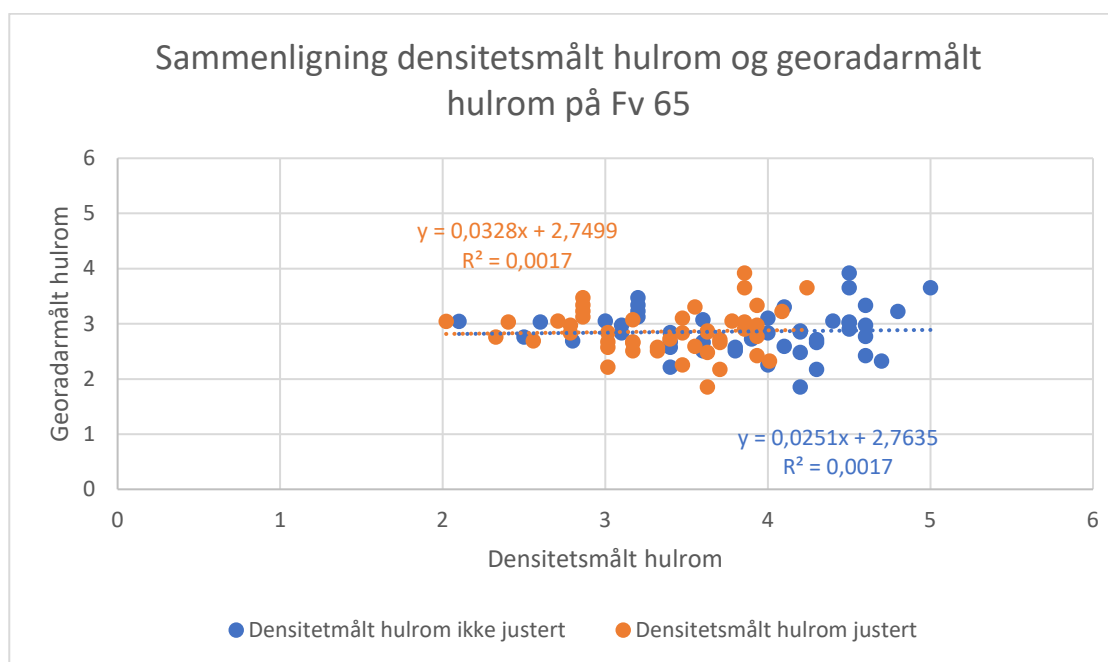
Fresnell sonen for utstyret til Terratec var på 25 cm, slik at det ved målinger for hver 10 cm vil bli en overlapp på ca 50% på hver foregående måling. Siden resultatene presenteres som gjennomsnitt for hver meter, ansees dette å gi minimal påvirkning på resultatene. I 2021 ble det tatt 3 kjerner pr kalibreringspunkt, med diameter på 100 mm på kjernene. Med tanke på Fresnell sonen bør det vurderes om diameteren på kjernene skal økes, slik at en større del av Fresnell sonen tas med i kalibreringen. Nøyaktig markering og uttak av kjernen i ønsket område gir imidlertid like stor viktighet som størrelsen på kjernen. I 2021 var det noen spørsmålstegn angående kvaliteten på markeringen av punktene der det ble tatt kjerner, da plasseringen ikke ble markert når antennen sto rett over punktet, men etter at antennen har blitt flyttet.

Uttak av borkjerner vil imidlertid også være avhengig av hvilken retning byggherre ønsker å gå med georadarmålingene. Målingene kan benyttes til direkte omregning til hulrom, ellers kan målingene benyttes til rettet kontroll ved tvil om kvaliteten på strekningen i ettertid. Dette gjøres ved å velge de punktene som georadarmålingene indikerer at vil ha de høyeste hulromsverdiene og kontrollere dette med densitetsmålinger eller uttak av borkjerner. Denne metoden er benyttet ved flere anledninger tidligere, og har gitt gode resultater.

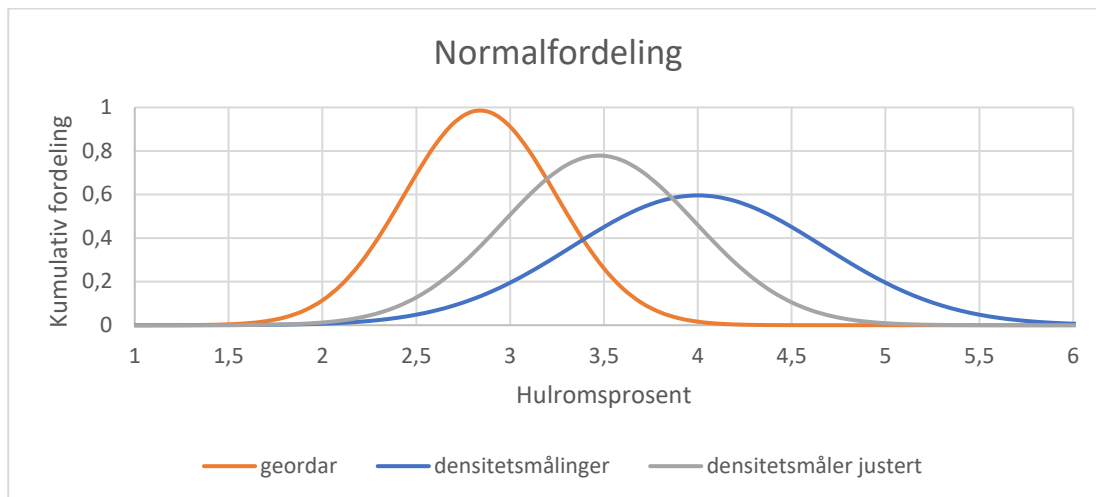
Ved å gjennomføre sammenligninger med andre kjente målemetoder som densitetsmålinger og borkjerner har vi sett at trendene følger hverandre, uten at de gir en 100% tilpasning til hverandre. Det er derfor kun benyttet en subjektiv bedømming på



tilpasningen mellom densitetsmålingene og georadarmålingene. Det legges til grunn at ved ± 1 hulromsprosent i forskjell mellom målingene, må ansees som en god sammenligning. Bakgrunnen for denne vurderingen ligger i at det må tas høyde for at densitetsmålingene er punktmålinger og georadarmålingene er kontinuerlig målinger, slik at datagrunnlaget ikke vil være likt. I tillegg må det tas høyde for nøyaktigheten på plasseringene både i tverr og lengderetning av vegen på densitetsmålingene (siden vegviseren er benyttet til stadfestning av densitetsmålingene, kan det forventes en unøyaktighet i lengderetning på minimum ± 5 meter). En direkte sammenligning mellom måleresultatene, vil derfor sjeldent gi en riktig sammenligning. Eksempel på en sammenligning fra Fv 65 er vist i Figur 40. Det vises her både justert densitetsmålinger (basert på Figur 2) og de originale densitetsmålingene. Som det kan sees er det null korrelasjon (R^2) mellom målepunktene, både for justerte og ikke justerte densitetsmålinger. Forskjellene mellom målingene er imidlertid liten. Den gjennomsnittlige differansen på «georadarmålt hulrom – Densitetsmålt hulrom» er på $-1,18$ hulromsprosent for de originale densitetsmålingene og $-0,65$ hulromsprosent for de justerte densitetsmålingene. Justeringen som gjøres på densitetsmålingene synliggjøres godt i endringen i normalfordelingen i Figur 41 og hvordan tilpasningen til georadarmålingene endres. Basert på dette kan det for Fv 65 argumenteres med at overenstemmelse mellom georadarmålt hulrom og densitetsmålt hulrom på strekningen er god.



Figur 40 Eksempel på sammenstilling mellom densitetsmålt hulrom og georadarmålt hulrom på Fv 65



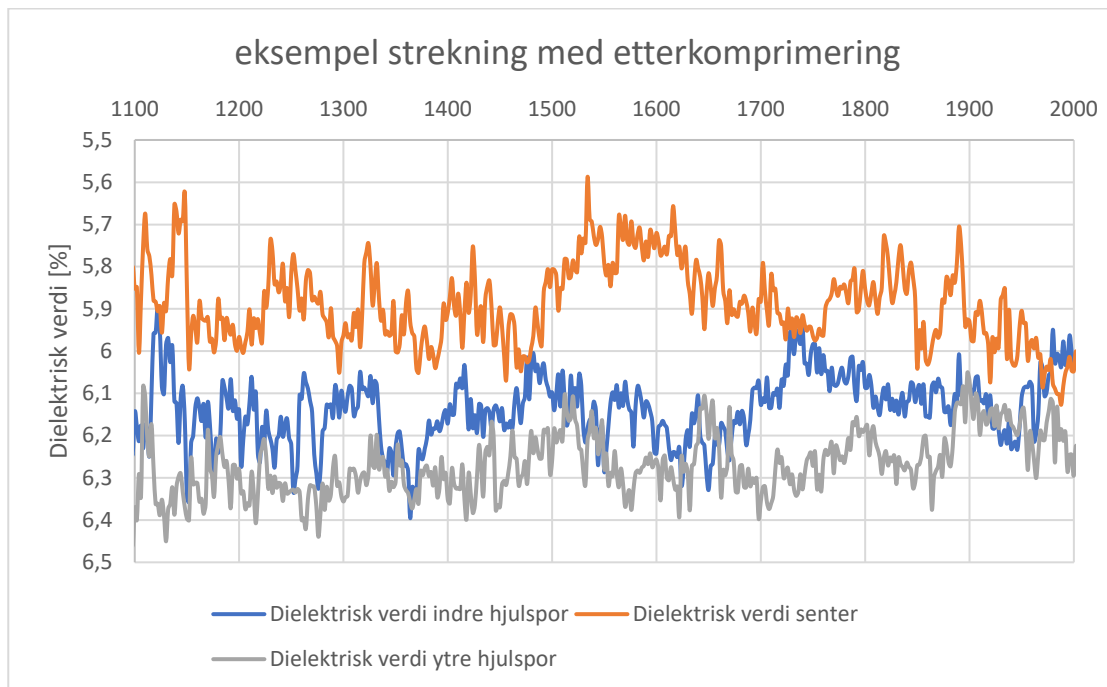
Figur 41 Normalfordeling for georadarmålt hulrom og densitetsmålt hulrom

Det er også flere faktorer som er usikre ift utførte densitetsmålinger, som har innvirkning på resultatene.

- Ikke fullstendig oversikt over hvilken type densitetsmåler som er benyttet
- Vet ikke hvilke innstillinger som er benyttet på målerne. Dette har innvirkning på:
 - o Dybde på måling (eksempel kan sees på hvor stor effekt lengden på målingen har å si for dybdevirkning for en [Troxler 4640-B thin layer surface density gouge](#)).
 - o Forberedning av asfaltoverflaten (slurry, kalking)
- Nøyaktighet på kalibrering (da for PQI målere)

Dette nevnes bare, for å synliggjøre at både målinger med densitetsmålere og georadar har sine svakheter og usikkerheter.

Flere av strekningene ble målt utenfor tidsperioden på 3 uker. Siden kalibreringskjerner blir tatt mellom hjulspor, vil disse få mindre påvirkning av trafikkbelastning enn i hjulsporene. Etterkompaktering av hjulspor er derfor en mulighet hvis målingene blir utført for sent, noe som igjen vil medføre at det statistiske grunnlaget som leveres med 90/10 persentil ikke gir et reelt bilde av strekningen slik det var etter dekkelegging. Noe etterkomprimering må det påregnes at har oppstått, men det er ikke funnet tegn på at det har vært mye etterkomprimering på noen av strekningene som ble målt i 2021. Et eksempel på hvordan en strekning med etterkomprimering i hjulspor ser ut kan sees i Figur 42.



Figur 42 Eksempel på hvordan etterkomprimering vil se ut på målinger

Som tidligere nevnt er det flere ytre faktorer som kan påvirke målingene. For å minimere effekten dette har, og for å se på den overordna tilstanden for dekket, bør dekket deles opp i parseller. Parsellene kan være på f.eks 100 eller 200 meter (200 meter foreslås for å samkjøre med trekk), der persentil beregning benyttes til å vurdere parsellen. På flere av kalibreringene er kalibreringskurvene bratte, slik at kun små endringer i dielektrisk verdi gir et store utslag i hulromsverdien. Fv 716 Nabeita - Hammarvika er eksempelet som best viser dette, der faktorene A og B har følgende verdier

$$- \quad A = 60\,351\,689,13682 \text{ og } B = -3,8442$$

Det er her hovedsakelig A faktoren som er betydelig høyere enn hva man burde anta. Tidligere erfaringer tilsier at faktor A bør ligge under 50 000, men dette kan variere noe. A faktoren for Fv 716 Nabeita – Hammarvika er imidlertid ekstremt høy, men siden dette ikke har gitt utslag på måleresultatet, forventes det fortsatt at resultatet er gyldig.

Ved å benytte 90/10 fordeling, godtas det at det er noen svakheter med målingene, siden de 10 høyeste prosentene fjernes fra beregningen. Dette vil ta litt av risikoen for målemetoden fra entreprenøren og legge det på byggherren. I Figur 43 vises et eksempel på hvordan parsellene kan fremvises, med både 90/10 persentilen og maksimalt målt hulrom. Grensekurvene for trekk kan da enkelt sammenlignes med 90/10 persentilen, og vil gi et godt grunnlag i dialog med entreprenør. Det må her gjøres en vurdering om hele feltet skal sees under ett, eller om målestriben med høyest hulrom totalt sett skal hensyntas. Generelt anbefales det å se hele feltet under ett.

