



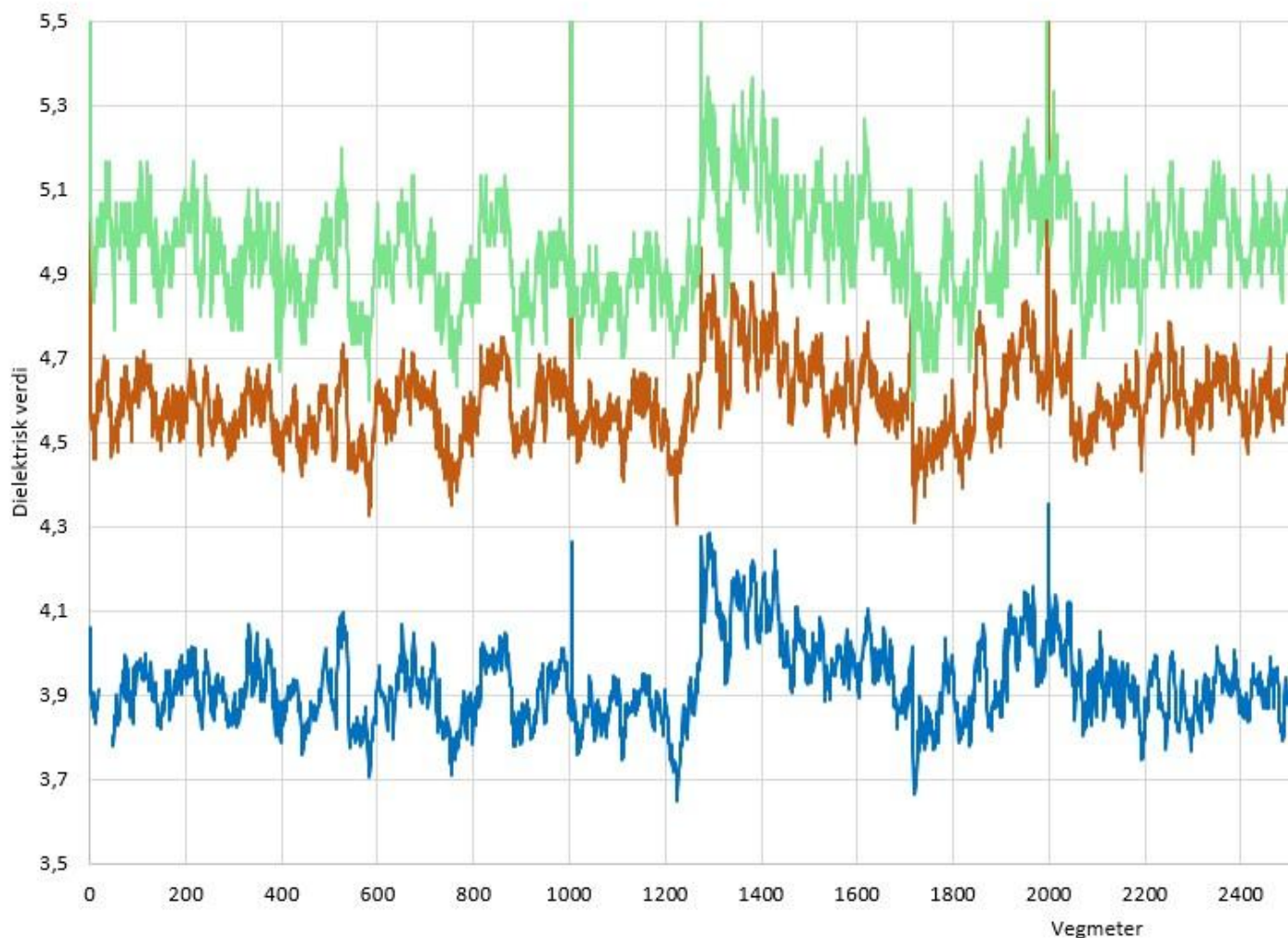
FoUI Asfaltdekkers funksjonsegenskaper

Sammenligning av forskjellige georadar utstyr

STATENS VEGVESENS RAPPORTER

Nr. 1129

Dielektrisk verdi



Tittel

FoU Asfaltdekkers funksjonsegenskaper

Undertittel

Sammenligning av forskjellige georadar utstyr

Forfatter

Trond Østen og Kim Rune Bragstad Grannes

Avdeling

Fagressurs Drift og vedlikehold

Seksjon

Geofag Drift og vedlikehold 2

Prosjektnummer

C14585

Rapportnummer

1129

Prosjektleder

Thor Asbjørn Lunaas

Godkjent av

Karina Stampa-Johannsen

Emneord

Georadar, sammenligningsmålinger, dielektrisk verdi

Sammendrag

Bruk av georadar til kvalitetskontroll på nylagte asfaltdekker er et delprosjekt under FoU prosjektet "Asfaltdekkers funksjonsegenskaper".

Det er ikke undersøkt om forskjellige georadar utstyr viser like måleverdier eller trender. For å undersøke dette er det gjennomført en sammenligningsmåling med tre utstyr som er benyttet i kvalitetskontroll av nylagte asfaltdekker. Rapporten viser sammenhengen mellom utstyrene og beskriver forskjellige sammenheng og forskjellige feilkilder.

Title

Functional Performance Characteristics of Asphalt Pavements

Subtitle

Comparison of different ground penetrating radar equipment

Author

Trond Østen og Kim Rune Bragstad Grannes

Department

Operations and maintenance, Planning and Engineering services

Section

Geomechanics

Project number

C14585

Report number

1129

Project manager

Thor Asbjørn Lunaas

Approved by

Karina Stampa-Johannsen

Key words

Georadar, comparing different equipment

Summary

Application of ground-penetrating radar for quality control of newly constructed asphalt pavements constitutes a subproject under the R&D project "Functional Performance Characteristics of Asphalt Pavements".

To evaluate whether different georadar equipment produces the same values or trends, a comparison was conducted between three systems. This report describes the observed differences and trends, as well as potential sources of error.



Forord

Denne rapporten er utarbeidet i Statens vegvesens FoUI-program *"Asfaltdekkers funksjonsegenskaper – bedre kontrakter, bedre kvalitet og bedre klima"* (2021-pågående).

Prosjektet, ledet av Thor Asbjørn Lunaas, har som hovedmål å forlenge levetiden til asfaltdekker, redusere miljøpåvirkningen og gi entreprenørene større fleksibilitet i valg av materialer og sammensetning.

Prosjektet utvikler testmetoder for asfaltens egenskaper, samt metoder for kontroll og dokumentasjon av utførelsen. Det ivaretar både byggherrens behov for økt levetid på asfaltdekker og entreprenørens behov for å optimalisere virksomheten sin økonomisk, klima og miljømessig. Prosjektet prøver ut testmetoder som er knyttet opp mot de reelle nedbrytningsmekanismene asfaltdekker utsettes for under nordiske forhold.

"Asfaltdekkers funksjonsegenskaper" gjennomføres i samarbeid med Fagressurs og Teknologi i divisjon Drift og vedlikehold i Statens vegvesen.

Rapporten er skrevet av Trond Østen og Kim Rune Bragstad Grannes.

Oppsummering

Som en del av FoUI-prosjektet «asfaltdekkers funksjonsegenskaper» er uttesting av georadar til bruk i kvalitetskontroll av nylagte asfaltdekker et av områdene som blir undersøkt. Georadar har i flere år blitt testet og brukt av Statens vegvesen som en metode for å gjennomføre kvalitetskontroll av nylagte asfaltdekker, men det er ikke tidligere vært gjennomført en sammenligning av ulike typer måleutstyr som benyttes. I dette prosjekter er det derfor gjennomført en sammenligningsmåling med tre forskjellige typer georadarutstyr, som benyttes i kvalitetskontroll av nylagte asfaltdekker i Norge. Målingene ble gjennomført i juni 2022 på en 4096 meter lang vegstrekning på Østlandet. Det ble gjennomført tre målerunder (fire for Statens vegvesen). Asfaltdekket på strekningen er av typen skjellettasfalt (Ska) 16 PMB, og målingene ble gjennomført innen tre uker etter dekkelegging.

I forsøket ble det benyttet tre forskjellige typer georadarutstyr fra henholdsvis Statens vegvesen (PaveScan rolling ensity meter 2.0 fra GSSI), Rambøll (Sir-30 system fra GSSI) og Field (3D-radar fra Kontur).

Resultatene viser at det er en forskyvning i målt dielektrisk verdi mellom de ulike utstyrene, men at måletrendene er sammenfallende. Ved å gjennomføre en baselinjeforskyvning får målingene en variasjon i differansen fra gjennomsnittlig dielektrisk verdi innenfor $\pm 0,05$.

Hovedfunnene fra forsøket er følgende:

- Alle måleutstyrene kan benyttes til kvalitetskontroll på nylagte asfaltdekker, forutsatt at det etableres en egen kalibreringskurve for hvert utstyr.
- Utstyrene må kunne produsere repeterbare målinger, både med hensyn til posisjonering og målte verdier. Dokumentasjon på repeterbarhet bør etterspørres.
- Penetrasjonsdybden må dokumenteres. Underliggende lag skal ikke være del av målegrunnlaget, slik at normal penetrasjonsdybde bør være ca. 3 cm. Det bør derfor ikke gjennomføres målinger på asfaltdekker med tykkelse under 80 kg/m² (ca. 3 cm).
- Nøyaktig plassering og markering av borepunkt for kalibrering er kritisk for å sikre god korrelasjon mellom punktmålinger og hulromsanalyse av kjerneprøver fra punktmålingene. Selv mindre avvik i markering av punkter kan medføre dårlig korrelasjon, og dermed usikkerhet knyttet til resultatene.

Innholdsfortegnelse

Forord	1
Oppsummering.....	2
1. Innledning	5
1.1 Bakgrunn	5
1.2 Mål.....	5
2. Metode	6
2.1 Prinsipp om georadarmåling	6
2.2 Kalibreringsmetoder	7
2.3 Kalibreringspunkter	7
2.4 Laboratorieundersøkelser	8
2.5 Forsøksoppsett og strekning	9
2.6 Oppsett for gjennomføring	9
2.7 Utstyr brukt av de ulike deltagerne	10
2.7.1 Statens vegvesen.....	10
2.7.2 Rambøll.....	11
2.7.3 Field	12
3 Resultater	14
3.1 Dielektrisk verdi.....	14
3.1.1 Dielektrisk verdi Statens vegvesen.....	16
3.1.2 Dielektrisk verdi Rambøll.....	18
3.1.3 Dielektrisk verdi Field	20
3.1.4 Dielektrisk verdi sammenligning	22
3.1.5 Statistikk dielektrisk verdi	25
3.2 Hulrom	27
3.2.1 Kalibrering.....	27
3.2.2 Hulromsinhold sammenligning.....	30
3.2.3 Statistikk hulrom	32
4 Diskusjon	33
4.1 Nøyaktighet.....	33
4.1.1 Nøyaktighet på posisjonering	33
4.1.2 Nøyaktighet på målingene.....	35
4.2 Potensielle feilkilder	35
4.2.1 Vandring i kjørefeltet	35

4.2.2	Kalibrering av måledata.....	36
4.2.3	Fuktighet	36
4.2.4	Interferens	37
4.2.5	Filtrering	38
5	Konklusjon	39
6	Videre arbeid	40
	Kilder	41
	Vedlegg	I
a.	Dielektrisk verdi Statens vegvesen målerunde 1	I
b.	Dielektrisk verdi Statens vegvesen målerunde 2	II
c.	Dielektrisk verdi Statens vegvesen målerunde 3	III
d.	Dielektrisk verdi Rambøll målerunde 1	IV
e.	Dielektrisk verdi Rambøll målerunde 2	V
f.	Dielektrisk verdi Rambøll målerunde 3	VI
g.	Dielektrisk verdi Field målerunde 1	VII
h.	Dielektrisk verdi Field målerunde 2	VIII
i.	Dielektrisk verdi Field målerunde 3	IX
j.	Hulromsanalyse Statens vegvesen	X
k.	Hulromsanalyse Rambøll	XI
l.	Hulromsanalyse Field	XII

1. Innledning

1.1 Bakgrunn

Statens vegvesen har siden 2016 testet bruk av georadar som metode for kvalitetskontroll av nylagte asfaltdekker, både med eksterne konsulenter og i egenregi. Georadarmålinger har i Statens vegvesen gått fra å være på utprøvingsstadiet, til å bli en av flere metoder som benyttes for å kontrollere hulromsinnholdet på nylagte asfaltdekker. De andre metodene som benyttes er densitetsmålere, enten med radioaktive målere som Seaman og Troxler, eller med ikke-radioaktive målere som Pavement Quality Indicator (PQI). Fasiten er laboratorieanalyse av borkjerner.

Densitetsmålinger og borkjerner er punktbaserte metoder, mens georadar gir kontinuerlige målinger langs hele strekningen. Dette gjør det enklere å oppdage lokale avvik i hulromsinnholdet. I Statens vegvesen rapport 1084 *Dokumentasjon og kontroll av asfalt* beskrives kravene til utlegger og densitets-/hulromsmålinger: «Asfaltlagets densitet og/eller hulrom skal dokumenteres med minst 1 prøvepunkt for hver 500 m i én utleggerbredde. Et prøvepunkt består av minst 2 parallelle densitetsmålinger eller av 2 borkjerner. Det skal være minst 3 prøvepunkter for hvert kontraktspunkt» [1].

En isotopmåler dekker et areal på ca. 0,06 m² (20 x 30 cm). Med to parallelle målinger i ett punkt per 500 meter innebærer dette at ca. 0,006% av dekkearealet kontrolleres, gitt en feltbredde på 3,5 meter. Med georadar benyttes det tre antenner som utfører en skanning hver tiende centimeter, og hvert skann dekker et område med en diameter på rundt 15 cm. Dette tilsvarer ca. 11% av dekkearealet for samme feltbredde. Muligheten for å oppdage problemområder er derfor betydelig større med georadar enn med de andre metodene.

Hulromsinnholdet er en av de viktigste faktorene for levetiden til asfaltdekker. Høyt hulrom bidrar til akselerert nedbrytning av dekket, og dermed redusert dekkelevetid. Det å tidlig kunne identifisere og utbedre partier med høyt hulrom, er avgjørende for å kunne forlenge levetiden til asfaltdekket.

1.2 Mål

Denne rapporten dokumenterer sammenligningen av et utvalg ulike typer georadarutstyr som i dag brukes, eller har vært brukt, til kvalitetskontroll av nylagte asfaltdekker. Målet for rapporten er å verifisere at georadar måler samme trend på dielektrisk verdi og hulromsinnhold, uavhengig av utstyrsleverandør.

2. Metode

Målingene ble ledet av Statens vegvesen og utført med utstyr fra to ulike utstyrs produsenter. Statens vegvesen benyttet et PaveScan Rolling Density Meter 2.0 system (heretter kalt RDM) fra produsenten GSSI, Rambøll AS brukte et GSSI Sir30 system (heretter kalt Sir30 systemet) og Field Group AS (tidligere TerraTec AS) benyttet en 3D-Radar fra produsenten Kontur. Konsulentene ble valgt på bakgrunn av tidligere erfaring med georadarmålinger for asfaltkontroll og nærhet til oppdragsområdet.

Foruten konsulentene som inngår i denne rapporten, finnes det flere andre aktører som tilbyr tilsvarende tjenester i Norden, for eksempel Roadscanners OY og Infrap OY. Det finnes også utstyr fra andre produsenter som ikke er testet her. Andre konsulenter/produsenter ble ikke forespurt på grunn av begrensede ressurser på prosjektet.

2.1 Prinsipp om georadarmåling

Georadaren måler den dielektriske verdien til det øverste sjiktet av asfaltdekket. Den dielektriske verdien er forenklet forklart påvirket av tre faktorer; tilslagets dielektriske verdi, bitumenets dielektriske verdi og andel luft. Ved bruk av georadar til kvalitetskontroll av asfaltdekker forventes det at variasjoner i målt dielektrisk verdi hovedsakelig skyldes endringer i andel luft, og at sammensetningen ellers er homogen. Dette er en forenkling av virkeligheten, da det naturlig vil kunne oppstå variasjoner i asfaltmassen.

Tabell 1 angir normale dielektriske verdier for forskjellige materialer [2]. Med antagelsen at det kun er andelen luft som endres i dekket, er teorien at den målte dielektriske verdien gradvis går mot en når materialet går mot 100% luftinnhold. Dette er imidlertid kun teoretisk, og er ikke gjennomførbar i praksis.

Tabell 1: Vanlige dielektriske verdier for ulike materialer [2]

Materiale	Relativ dielektrisk verdi (ϵ_r)
Luft	1
Polyetylen med høy densitet (PEHD)	2,3-2,
Bitumen	2,5-3,5
Tilslag	4-7
Asfalt	3-8
Vann	81
Metall	>32 000

For kvalitetskontroll på nylagte asfaltdekker skal det benyttes utstyr med sentralfrekvens mellom 1 og 3 GHz. Penetrasjonsdybden på målingene avhenger av frekvensen på utstyret (høyere frekvens gir lavere penetrasjon). Penetrasjonsdybden for georadaren skal dokumenteres, for å være sikker på at underliggende bituminøse lag ikke påvirker måleresultatet.

Den dielektriske verdien kan benyttes til å vurdere homogeniteten til et dekke, men gir ikke direkte svar på hulromsnivået. For å konvertere dielektrisk verdi til hulrom må det etableres

en kalibreringskurve som gir sammenhengen mellom målt dielektrisk verdi og hulrom for den aktuelle asfaltmassen/kontrollgrunnlaget. Etter dagens regelverk gjennomføres det punktmålinger på minimum ni lokasjoner, der dielektrisk verdi måles direkte over lokasjonen der det tas ut en kalibreringskjerne. Basert på dette utarbeides det en kalibreringskurve som benyttes videre til kalibrering av de regulære målingene.

Punktmålinger er definert som stillestående målinger over punktene der det blir tatt ut kalibreringskjerner, mens regulære målinger er kontinuerlige målinger utført langs hele strekningen.

2.2 Kalibreringsmetoder

For å konvertere georadarmålinger fra dielektrisk verdi til hulrom er det tre formler som i hovedsak benyttes i Norge: Lineær regresjon, eksponentiell regresjon og Mara Nord retningslinjene basert på det Finske PANK-formelverket (også en eksponentiell regresjonslinje, men kun variasjon i stigningstallet, B) [3]. Statens vegvesen har valgt å benytte seg av eksponentiell regresjonslinje, i henhold til *R211 Feltundersøkelser* [4].

Konverteringen fra dielektrisk verdi til hulrom gjøres ved hjelp av formel 1 for eksponentielle funksjon.

Formel 1 Eksponentielle funksjonen

$$Hulrom = Ae^{Bx}$$

Hvor A og B er konstanter fra regresjonsanalysen og x er målt dielektrisk verdi. Faktorene A og B beskriver henholdsvis skjæringspunktet på Y-aksen og stigningstallet (veksten) for kurven. Begge konstantene vil endres fra kalibrering til kalibrering.

2.3 Kalibreringspunkter

Statens vegvesen følger kravene i *R211 feltundersøkelser* ved utvelgelse av kalibreringspunkter [4]. For å sikre tilfredsstillende spredning på kalibreringspunktene benyttes følgende fordeling:

- **Lav:** gjennomsnittlig dielektrisk verdi fra regulærmåling minus 2 × standardavvik
- **Medium:** gjennomsnittlig dielektrisk verdi fra regulærmåling
- **Høy:** gjennomsnittlig dielektrisk verdi fra regulærmåling pluss 2 × standardavvik

Standardavviket beregnes basert på dielektriske målinger fra alle målelinjer for alle felt på strekningen, der målingene er homogene. Ved store variasjoner mellom målelinjene, benyttes kun linjen mellom hjulsporene, ettersom denne normalt er minst påvirket av trafikk.

Standardavviket bør være > 0,10-0,15 for å oppnå tilstrekkelig spredning i kalibreringspunktene for å kunne etablere en god kalibreringskurve. Et lavere standardavvik indikerer som regel liten variasjon i hulromsinholdet, noe som medfører at det kan være vanskelig å etablere pålitelige kalibreringskurver. I slike tilfeller faller behovet for en

kalibreringskurve bort, da dekket ansees som homogent (da kan strekningen verifiseres med punktmålinger). Punktene skal tas på homogene områder fordelt over strekningen.

I Statens vegvesen benyttes minimum ni kalibreringspunkter, fordelt på tre punkter i hver kategori (lav, medium og høy).

Statens vegvesen har valgt å begrense hulrommet fra eksponentiell formel til 15%. Lokasjonene for kalibreringspunktene ble bestemt med Statens vegvesens utsyr. De andre georadarene utfører deretter målinger på de samme punktene.

2.4 Laboratorieundersøkelser

Kjernene som benyttes til kalibrering av georadar har en diameter på 150 mm. Det benyttes kun en kerne per punkt, og ikke to parallelle kjerner à 100 mm slik som det benyttes ved ordinær hulromskontroll.



Figur 1: Utboring av asfaltkjerner. Foto: Kim Rune Grannes, Statens vegvesen

I Norge benyttes i hovedsak to metoder for bestemmelse av hulrom: metode B (hydrostatisk, overflatetørr) og metode D (måling). Ved kontroll av hulrom i Statens vegvesens kontrakter følges kravene til utførelse av laboratorieanalyser beskrevet i Håndbok R210 *Laboratorieundersøkelser* [5]; 362 *Prøvens densitet*, 363 *Maksimumsdensitet* og 364 *Hulromsinnhold*.

Kravene er som følger: Asfaltprøvene kappes maksimalt halve steinstørrelsen i toppen for å fjerne hulrom som er en del av normal overflateruhet. Deretter analyseres prøvenes romdensitet med både metode B og D. Maksimumsdensiteten til massen i prøven analyseres og hulrom beregnes. Dersom hulrom bestemt ved metode D $\geq 10\%$, skal denne verdien benyttes. Dersom hulrommet bestemt ved metode D er $< 10\%$, skal resultatet fra metode B benyttes.

2.5 Forsøksoppsett og strekning

For å sikre at resultatene fra prosjektet ikke kan kobles direkte til en spesifikk kontrakt eller asfaltentreprenør, vil ikke den målte strekningen bli navngitt. Dette var en av forutsetningene til byggeleder for å utføre målingene på strekningen.

Strekningen som ble valgt ligger på Østlandet og ble valgt for å representere en høytrafikkert og høyhastighets europaveg. Strekningen er en firefelts motorveg med en ÅDT mellom 15 000 - 20 000. Målingene ble kun utført i felt 1 (indre nordgående), som har lavere trafikkbelastning enn i det ytre feltet. Anbefalinger fra produsenter er at målinger bør utføres senest tre uker etter dekkelegging, for å unngå at dekket påvirkes av ytre faktorer som trafikk. Denne strekningen ble målt innenfor denne tidsrammen, slik at dette ikke ansees å være et problem.

Hvert georadarutstyr var tilkoblet en GNSS-antenne under måling. For å redusere risiko for eventuelle posisjonsavvik ble det besluttet å markere startpunkt, hver 1000 meter og sluttunkt med metallisk teip. Dette ble gjort for å trigge en respons i målingene, da metallisk teip gir en respons i form av betydelig økt dielektrisk verdi. Vegviser-appen ble benyttet for plassering av teipen, da denne gir vegsystemreferansen direkte i felt. Appen var da tilkoblet en RTK-GNSS antenne med CPOS-korreksjon.

Målingene ble utført på et asfaltdekke av typen SMA 16 PMB Ska 16, som er den massetypen som hovedsakelig benyttes på det høytrafikkerte vegnettet.

Den oppmålte strekningen er 4096 m. Alle utstyrene skulle rapportere målingene i tre profiler: en plassert i senter av kjørefeltet og en 75 cm til hver side av senter (i hjulsporene). Denne avstanden ble valgt for å sikre lik datainnsamling mellom utstyrene. Utstyret til Rambøll er fastmontert med denne avstanden, mens Field hadde 3 av sine 25 tilgjengelige måleprofiler plassert tilsvarende. Statens vegvesens utstyr er fleksibelt og ble konfigurert slik at det ble målt i de samme profilene. Naturlige variasjoner i målelinjene vil oppstå, da det aldri vil være mulig å kjøre nøyaktig likt.

2.6 Oppsett for gjennomføring

Det ble gjennomført tre målerunder med hvert utstyr: to i kjøreretningen (runde 1 og 2) og en mot kjøreretningen (runde 3). Dette ble gjort både for å sikre et godt datagrunnlag for sammenligningen og for å undersøke repeterbarheten til utstyrene. Statens vegvesen målte strekningen en ekstra gang (med kjøreretningen uten teip), for å kunne beregne riktige verdier for kalibreringspunktene (lav, middel og høy dielektrisk verdi).

Målingene er utført med den innsamlingsfrekvensen (antall skann per meter) som hvert utstyr normalt benytter. De rapporterte dielektriske verdiene er gjennomsnittsverdier for hver meter, noe som innebærer at hvert datapunkt består av flere punktmålinger, som regel rundt ti skann per meter.

Målingene ble utført i juni 2022, og kalibreringskjernene ble tatt ut samme natt.

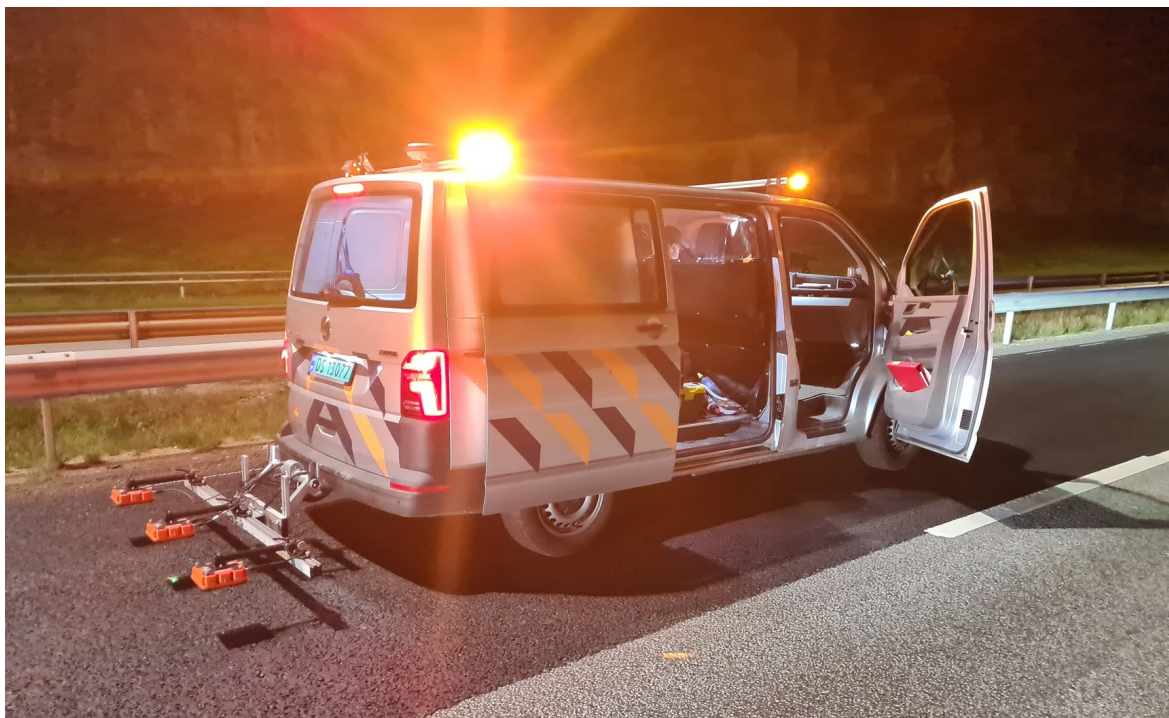
2.7 Utstyr brukt av de ulike deltagerne

2.7.1 Statens vegvesen

Statens vegvesen benytter systemet PaveScan RDM 2.0 fra produsenten GSSI inc (utstyret er vist i figur 2). Utstyret består av 3 antenner, med frekvens på 2 GHz som er montert på en bjelke på hengerfestet. Bjelken er ikke festet til bilen på sidene, slik at det kan forekomme noen høydeforskjeller mellom sidene. Ifølge produsenten skal systemet imidlertid kompensere for slike avvik. Plasseringen av antennene gjør det noe krevende å se hvor i kjørefeltet de sitter under måling. Systemet benytter innstilling på måling med ti skann per meter, med en målehastighet på ca. 15 km/t. En trippsteller er montert på venstre bakhjul, og resultater vises i sanntid.

Under målingene var en Leica GS14-antenne tilkoblet utstyret for posisjonering. I tillegg ble det benyttet en Leica GG04-antenne for å posisjonere ut punktmålinger og start-/stopppunkter. RDM-systemet kan eksportere data enten som Excel fil eller KML fil (kart fil). Ved eksport til Excel er det kun utkjørt meter fra trippstilleren som benyttes for å finne posisjonen, altså uten korreksjon fra GNSS antennen. Start- og slutt punkt blir korrigert med innmålte verdier. Dette betyr at det kan forekomme mindre unøyaktigheter på posisjoneringen fra systemet.

Resultatet er presentert som gjennomsnittlig dielektrisk verdi per meter. Det er ikke utført filtrering av eventuelle ekstremverdier, eller andre filtreringer på resultatene.



Figur 2: Pavescan 2.0 system. Foto: Kim Rune Grannes Statens vegvesen

2.7.2 Rambøll

Rambøll benytter ett system med tre 2 GHz hornantenner og en styringsenhet av typen Sir 30 fra produsenten GSSI inc (utstyret er vist i figur 3). Sir 30-systemet er fastmontert på fester på fremsiden av kjøretøyet, noe som gjør det enkelt å ha kontroll på hvor i feltet antennene er plassert under målingene. Målingene kan gjennomføres i hastigheter opp til 60 km/t. Sir 30 systemet gjør ti skann per meter, og resultatene er presentert som gjennomsnittlig dielektrisk verdi per meter. Det er ikke utført filtrering av eventuelle ekstremverdier, eller andre filtreringer på resultatene. Filene er bearbeidet i Road Doctor, og resultatene er levert i en Excel-fil.

Til posisjonering benytter Rambøll RTK-basert GNSS i kombinasjon med en IMU (Inertial Measurement Unit). Disse inngår i et integrert GNSS/INS-system, hvor teknologiene utfyller hverandre. RTK kobling mot kartverkets CPOS tjeneste gir nøyaktige absolutte posisjoner, mens IMU registrerer kontinuerlig bevegelse og orientering.

Ved hjelp av sensorfusjon brukes GNSS-data til å korrigere drift i IMU, samtidig som IMU sikrer kontinuitet i perioder med redusert eller manglende satellittdekning. Løsningen gir en robust og sammenhengende posisjonering med høy nøyaktighet igjennom hele målingen.

Rambøll hadde i tillegg påmontert en 3D-radar fra Kontur, med målebredde på 2,4 meter og antenner plassert med 7,5 cm avstand (utstyret er vist i figur 4). 3D-radaren var montert på hengerfeste, med stive hengsler på hver side, for å sikre at utstyret står vannrett. På grunn av en feil under måling ble det imidlertid ikke levert resultater fra dette utstyret.



Figur 3: Sir 30 system fra GSSI med 3 stk 2 GHz antenner montert på Rambølls målebil. Foto: Kim Rune Grannes Statens vegvesen



Figur 4: 3D radar fra Kontur montert på Rambølls målebil. Foto: Kim Rune Grannes Statens vegvesen

2.7.3 Field

Field benytter en 3D-radar fra Kontur, med målebredde på 1,8 meter (utstyret vises i figur 5). I motsetning til systemene fra Statens vegvesen og Rambøll, benytter ikke 3D-radaren en bestemt sentralfrekvens, men et bredt spekter av frekvenser opp til 3 GHz (såkalt step frekvens). Utstyret har 25 antenner, med fast avstand på 7,5 cm mellom hver antenne. 3D-Radaren er montert på undersiden av en tilhenger, som gjør det utfordrende å fastslå nøyaktig måleposisjon i kjørefeltet under datainnsamling. Mtp. at utstyret sitter nær bakken, er det også krevende å markere nøyaktige punkter ved punktmålinger, eller å verifisere plassering når man skal finne igjen et oppmerket punkt og måle det. 3D-radaren utfører ti skanninger per meter, og resultatene er presentert som gjennomsnittlig dielektrisk verdi per meter. Resultatene er levert i en Excel-fil og i en utfyllende rapport.

Før rapportering er resultatene filtrert, for å fjerne ekstremverdier. Filtringen er en del prosedyren til dataleveransen fra Field. Det er benyttet high-pass og low-pass filtre, men det er ikke angitt innstillinger på filtrene. Da det ikke er benyttet filtrering på data fra Statens vegvesen eller Rambøll, vil dette kunne påvirke sammenligningen mellom utstyrene.

Posisjonering i felt ble utført med RTK-GNSS med CPOS-tilknytning, samt at det ble samlet inn data med INS system for endelig posisjonering. Dataene ble etterprosessert i Terrapos, og det ble også benyttet GNSS-data fra kartverkets referansestasjoner ETPOS. Det er benyttet sosi-filer fra elveg for omregning fra geografiske koordinater til vegmeter.

Målingene kan utføres i trafikkhastighet, men ble i dette prosjektet utført i hastighet på 50 km/t.



Figur 5: 3D radar fra Kontur, bygget inn i tilhengeren av Field. Foto: Kim Rune Grannes Statens vegvesen

3 Resultater

Resultatet fra målingene er delt i to hovedparametere; dielektrisk verdi og hulromsinnhold. Nummereringen av målerundene er som følger:

- SVV 0: Måling i kjøreretningen, uten metalltape.
- SVV 1, Rambøll 1 og Field 1: Måling i kjøreretningen, med metalltape. Målinger er utført tilnærmet samtidig.
- SVV 2, Rambøll 2 og Field 2: Måling i kjøreretningen, med metalltape. Målinger er utført tilnærmet samtidig.
- SVV 3, Rambøll 3 og Field 3: Måling mot kjøreretningen, med metalltape. Målinger er utført tilnærmet samtidig.

For å synliggjøre forskjeller mellom målerundene/målestripene og de forskjellige måleutstyrene, vises det i tillegg data for en utvalgt strekning (meter 1950 – 2050). Dette gjøres for å enklere kunne visualisere variasjonene.

Data for dielektrisk verdi for alle målelinjer og målerunder er vist i vedlegg A - I.
Data for hulromsanalysen og estimert hulrom for georadaren for hver målelinje per målerunde er vist i vedlegg J – L.

3.1 Dielektrisk verdi

Figur 6 - figur 14 viser resultater for dielektrisk verdi langs strekningen. Dataene er presentert som gjennomsnittlig dielektrisk verdi for alle målestriper per målerunde, både for hele strekningen og for et utvalgt delområde.

NB! Statens vegvesen og Field leverte dielektrisk verdi med to desimaler, mens Rambøll leverte dielektrisk verdi med en desimal. Dette medfører at dielektrisk verdi i resultat-kurvene til Rambøll (vedlegg D-F) fremstår som mer hakkete enn målingene til Statens vegvesen og Field, uten at dette nødvendigvis er reelt.

I figur 13 og figur 14 er det gjennomført en baselinjeforskyvning av resultatene. Baselinjeforskyvningen er gjennomført basert på gjennomsnittlig dielektrisk verdi fra alle målestriper fra de fire målerundene Statens vegvesen gjennomførte. Det er ikke differensiert på målestripene, men benyttet en baselinjefaktor på gjennomsnittlig målt dielektrisk verdi per meter. Gjennomsnittlig målt dielektrisk verdi var på 4,585. Verdiene som er brukt til baselinjeforskyvningen er vist i tabell 2. Baselinjeforskyvningen er kun benyttet for å visualisere og tydeliggjøre variasjonene mellom måleutstyrene.

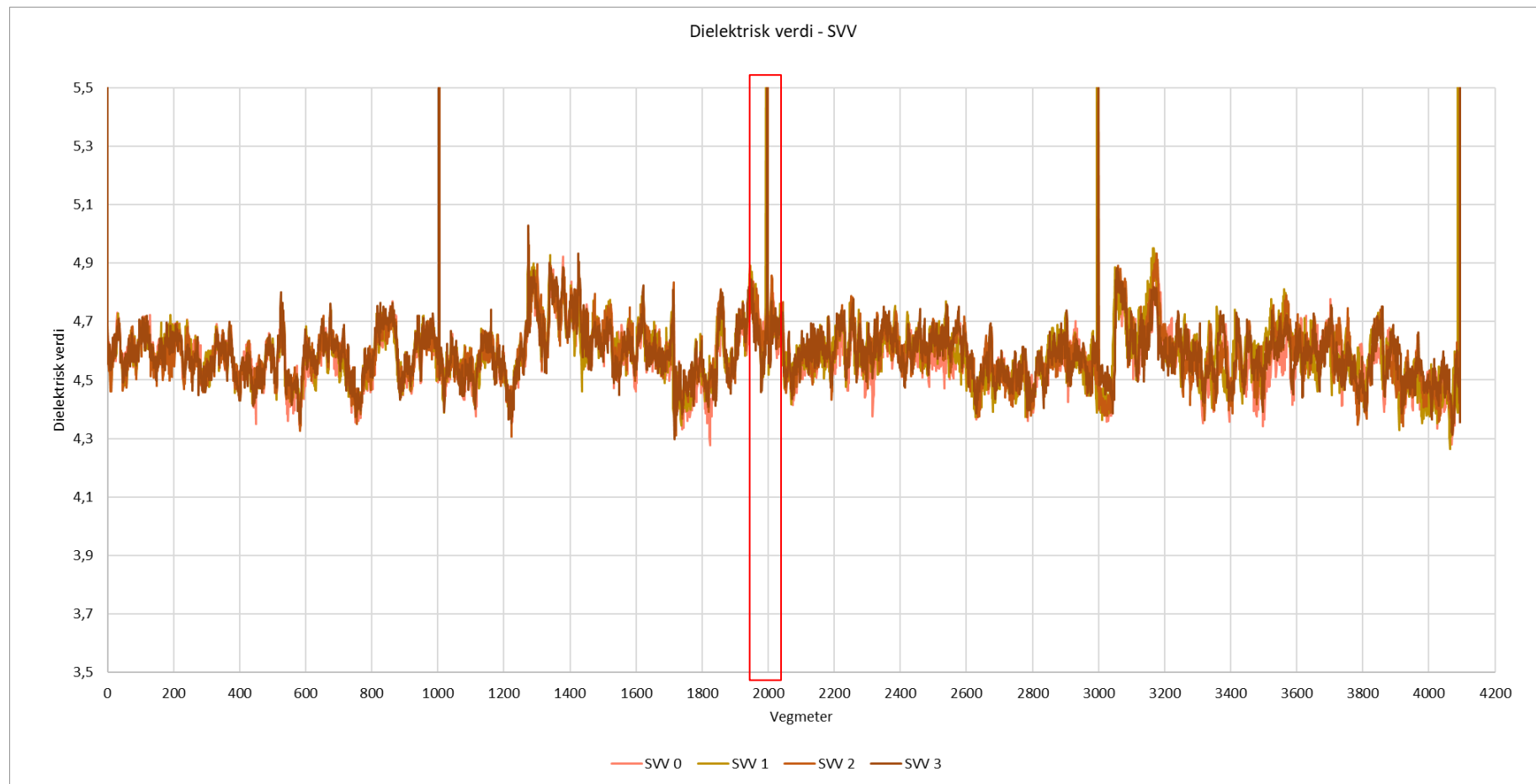
Tabell 2 Baselinjeforskyvning per målerunde

	Baselinjeforskyvning			
	Runde 0	Runde 1	Runde 2	Runde 3
Field	-	0,687	0,680	0,672
Rambøll	-	-0,337	-0,347	-0,342
Statens vegvesen	0,011	-0,003	-0,002	-0,005

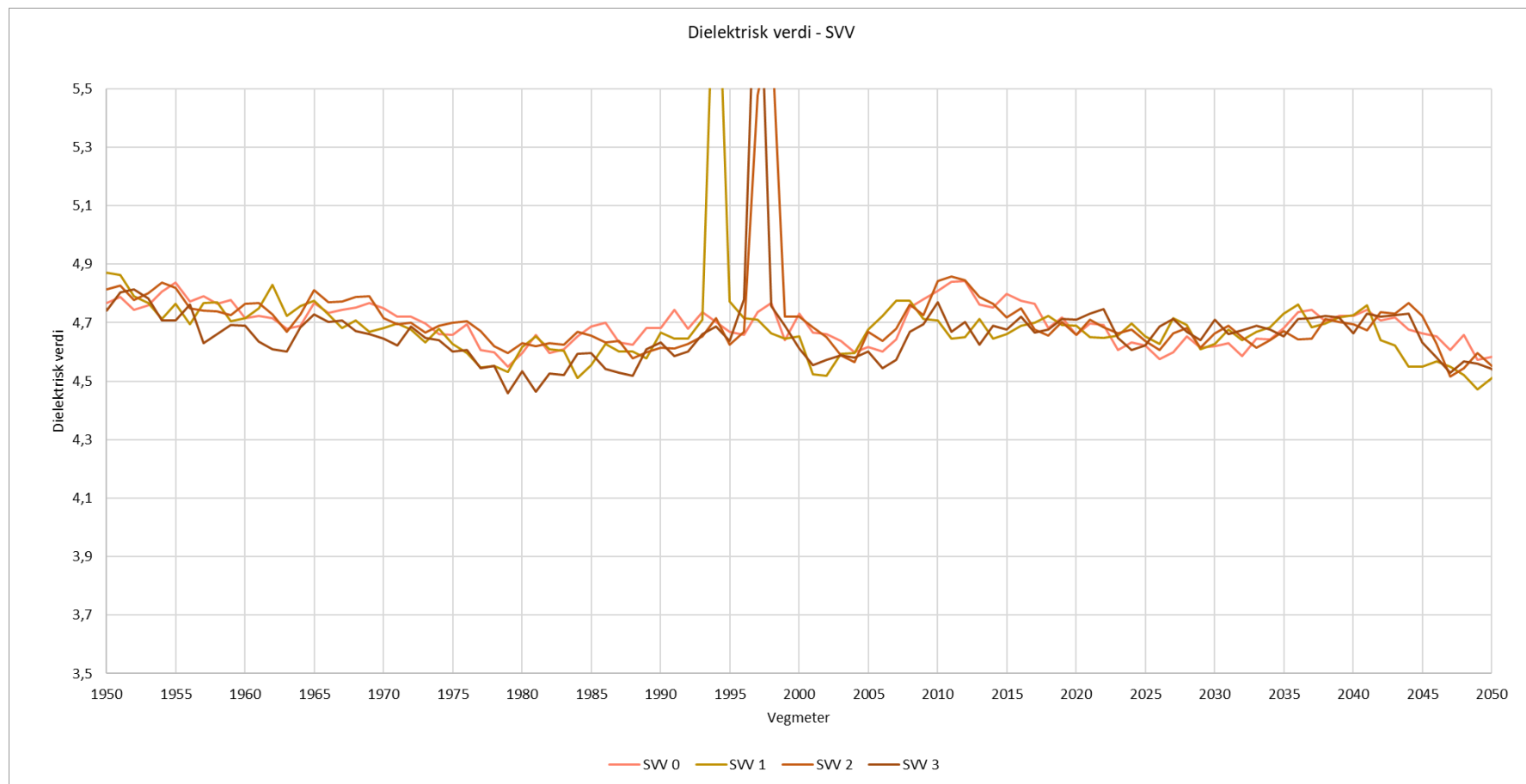
Figur 15 viser statistikk på dielektrisk verdi for hver av målerundene for alle utstyrene. Resultatet er presentert som persentilverdier på 25% og 75 % (boksene), samt utliggende verdier. Som det kan sees er det lite variasjon mellom målelinjene for hver målerunde internt for hvert utstyr.

Figur 16 viser variasjonen i baselinjeforskjøvet dielektrisk verdi på målerunde 2 mellom Statens vegvesen – Rambøll, Statens vegvesen – Field og Rambøll – Field. Variasjonen etter baselinjeforskyving er lav, da den hovedsakelig ligger mellom -0,057 – 0,057 (25-75% persentilen).

3.1.1 Dielektrisk verdi Statens vegvesen

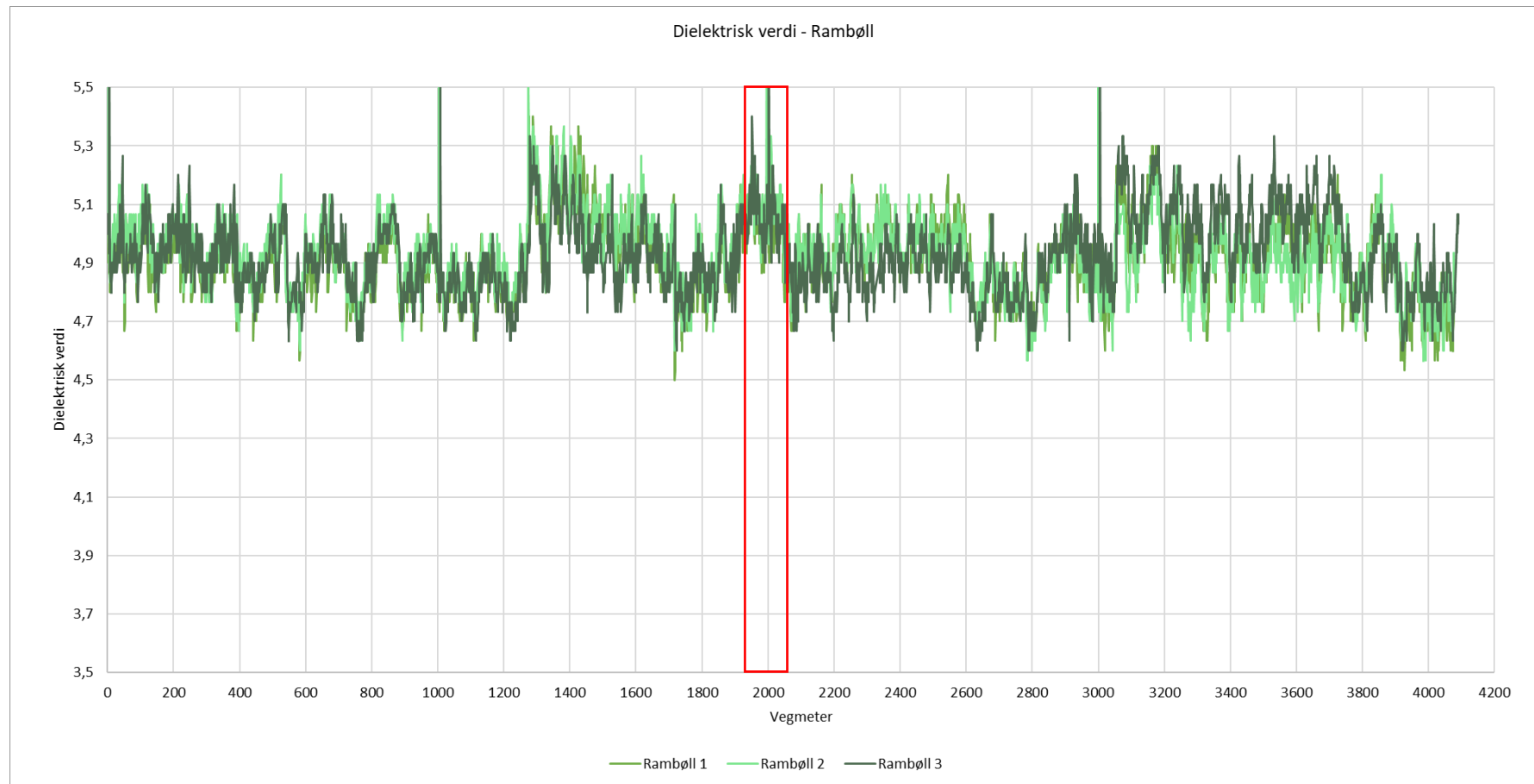


Figur 6: Gjennomsnittlig dielektrisk verdi for hver måling, Statens vegvesen

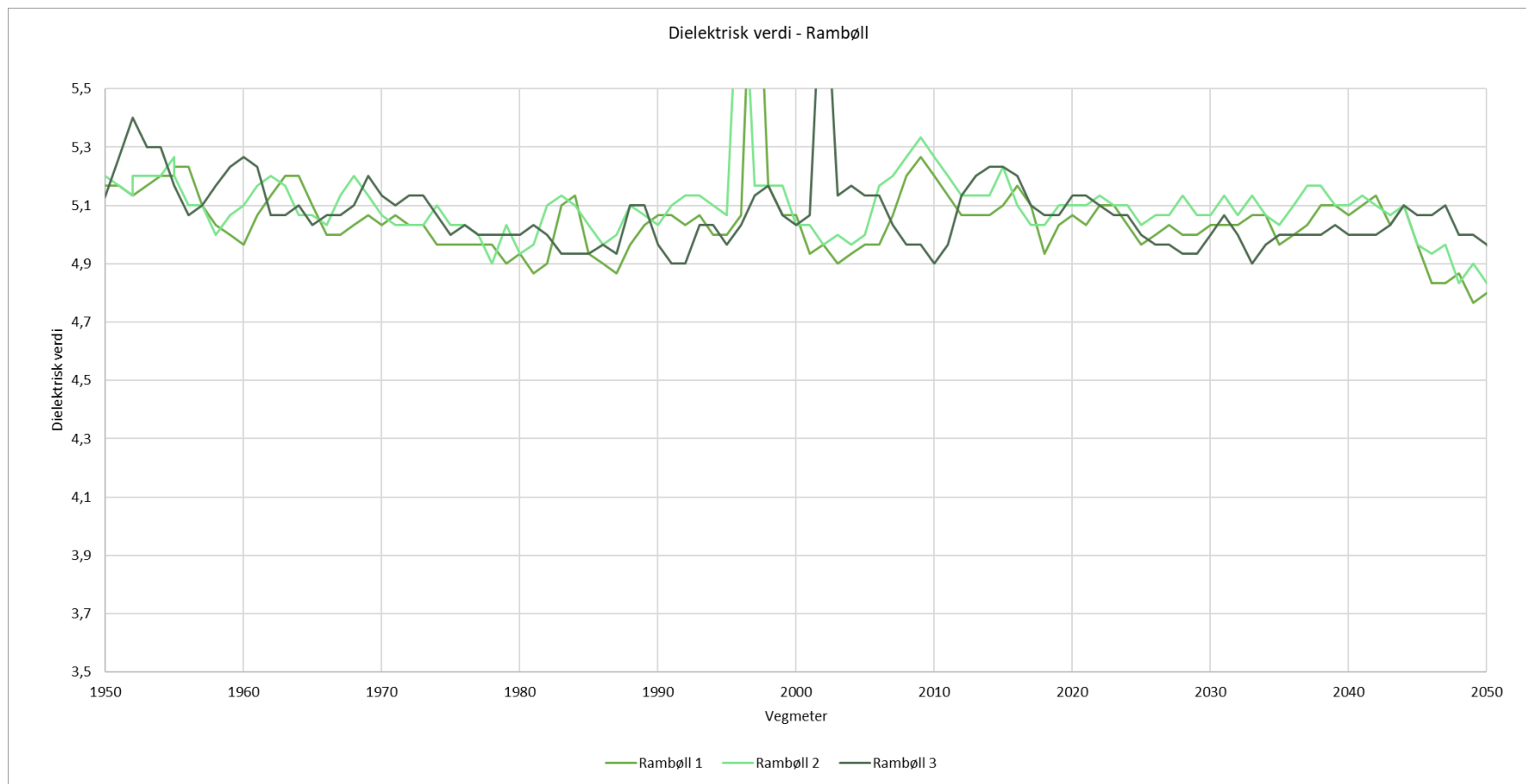


Figur 7 Gjennomsnittlig dielektrisk verdi for hver måling, Statens vegvesen - Utvalgt område

3.1.2 Dielektrisk verdi Rambøll

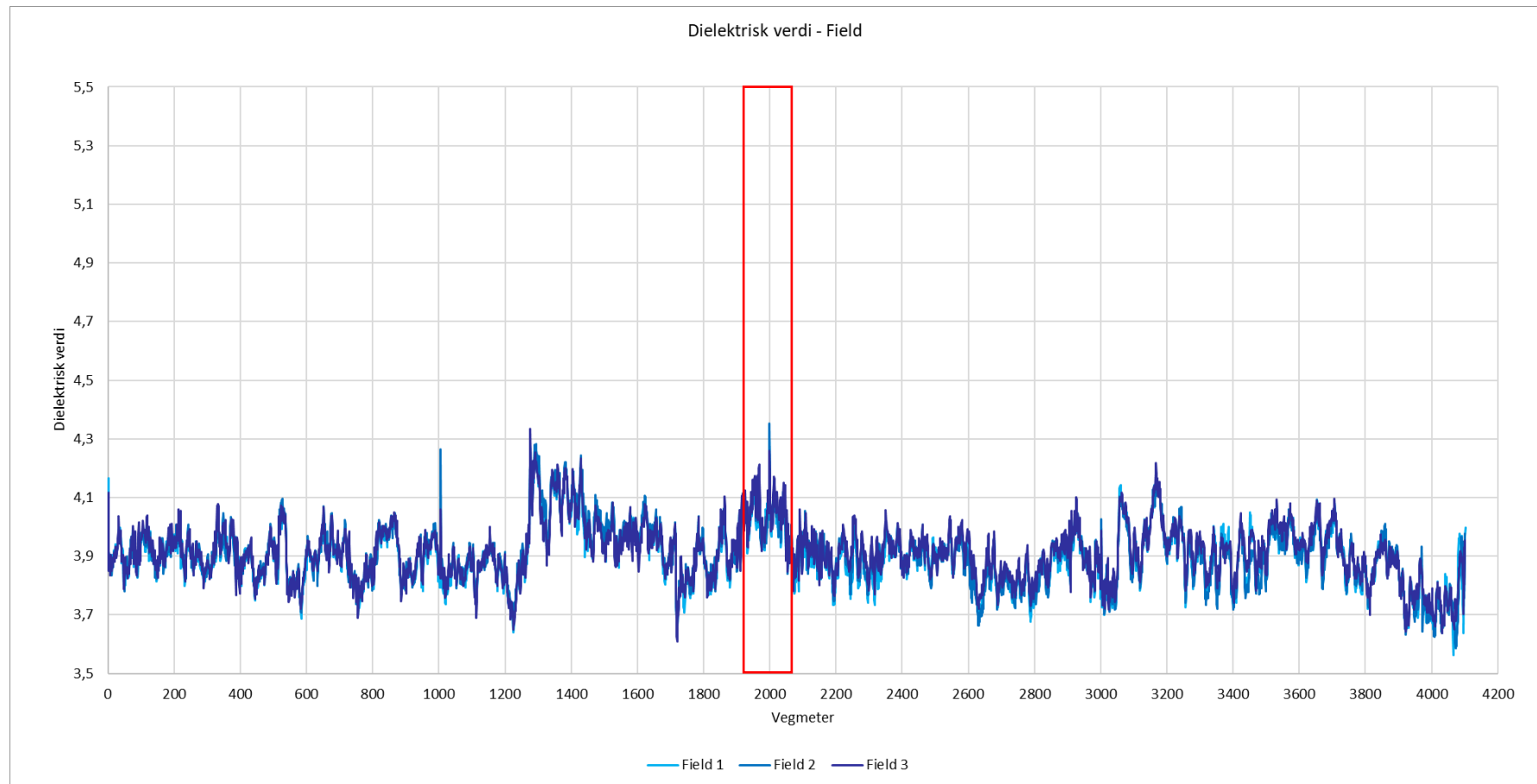


Figur 8: Gjennomsnittlig dielektrisk verdi for hver måling, Rambøll

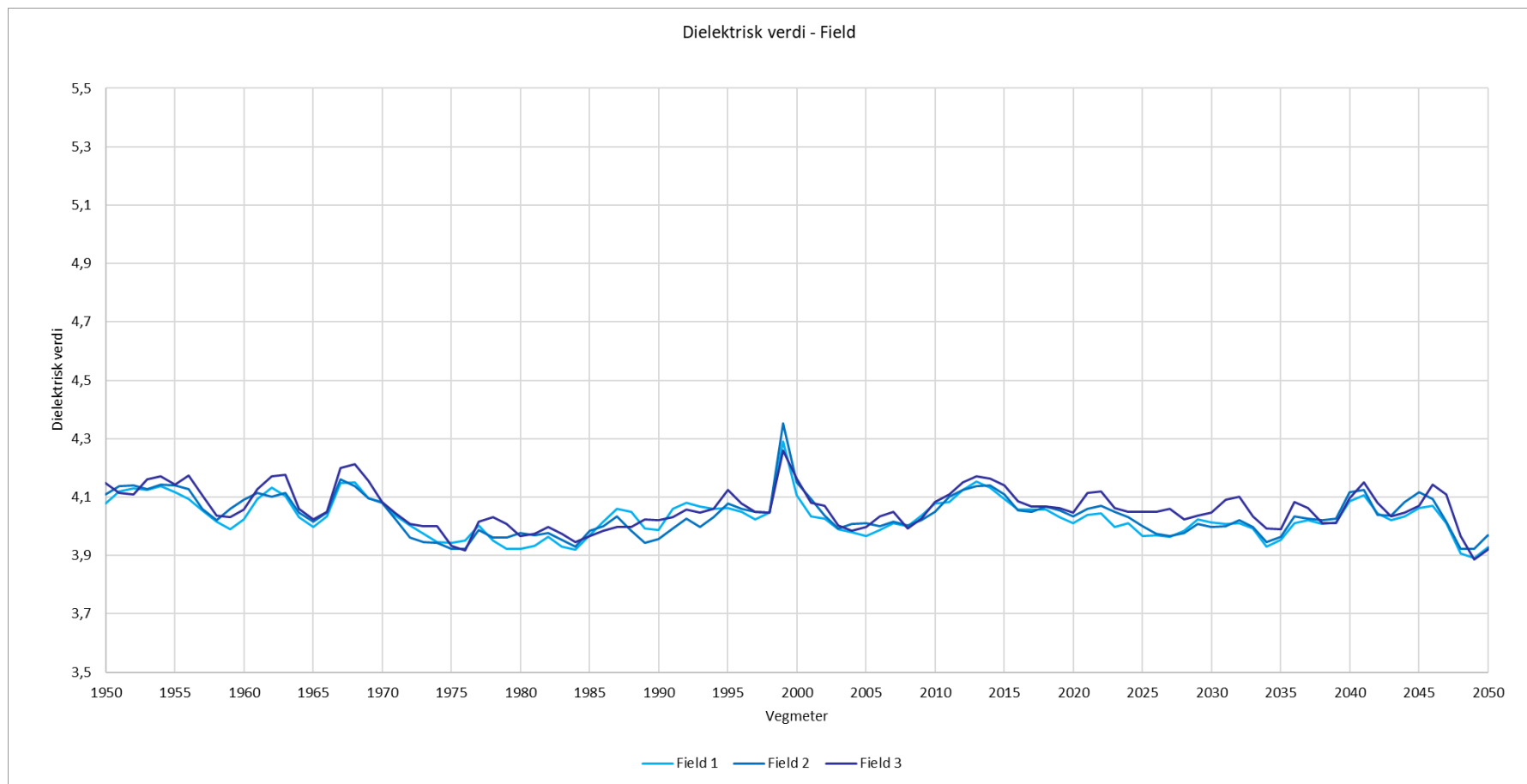


Figur 9 Gjennomsnittlig dielektrisk verdi for hver måling, Rambøll - Utvalgt strekning

3.1.3 Dielektrisk verdi Field

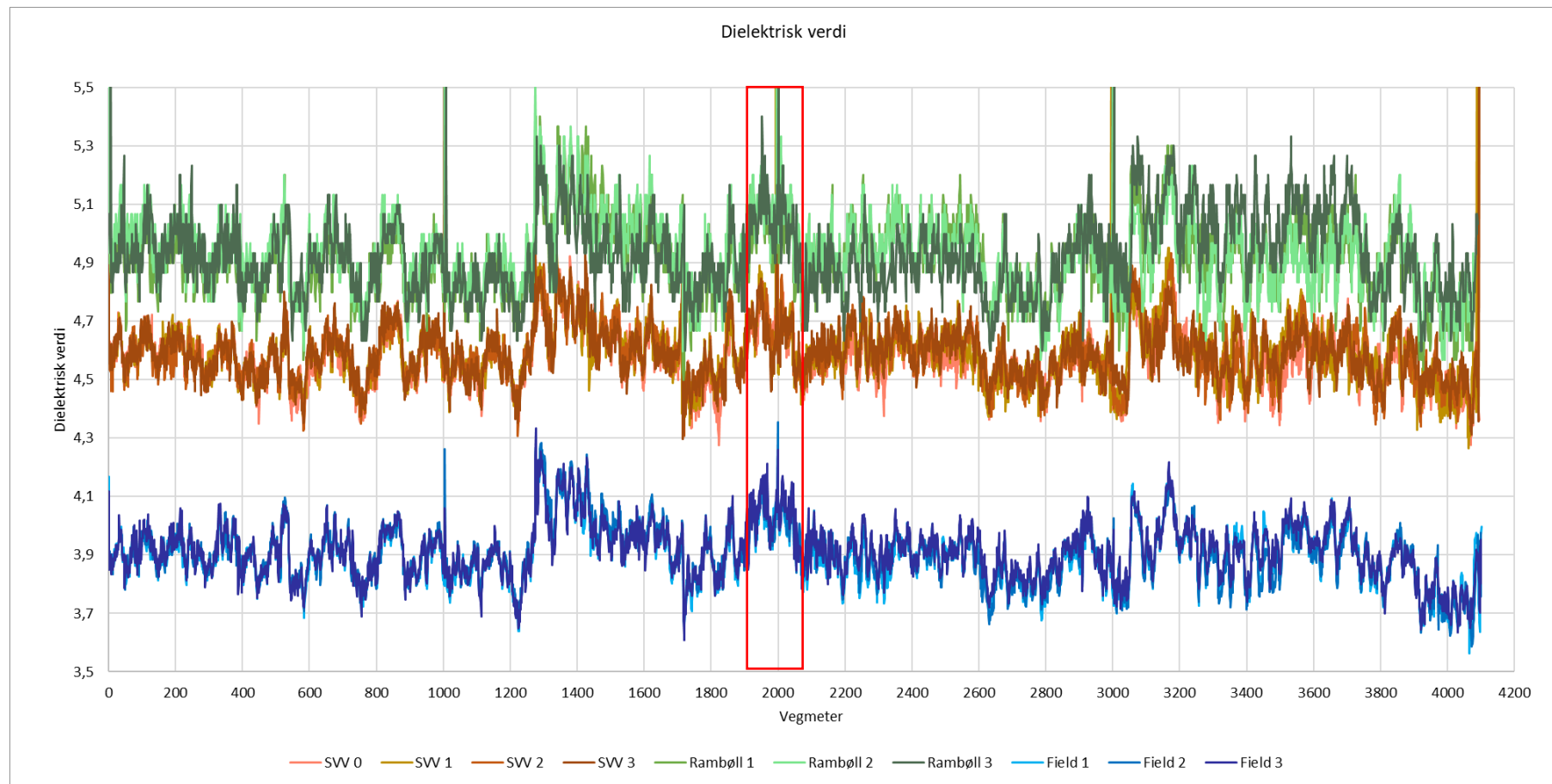


Figur 10: Gjennomsnittlig dielektrisk verdi for hver måling, Field

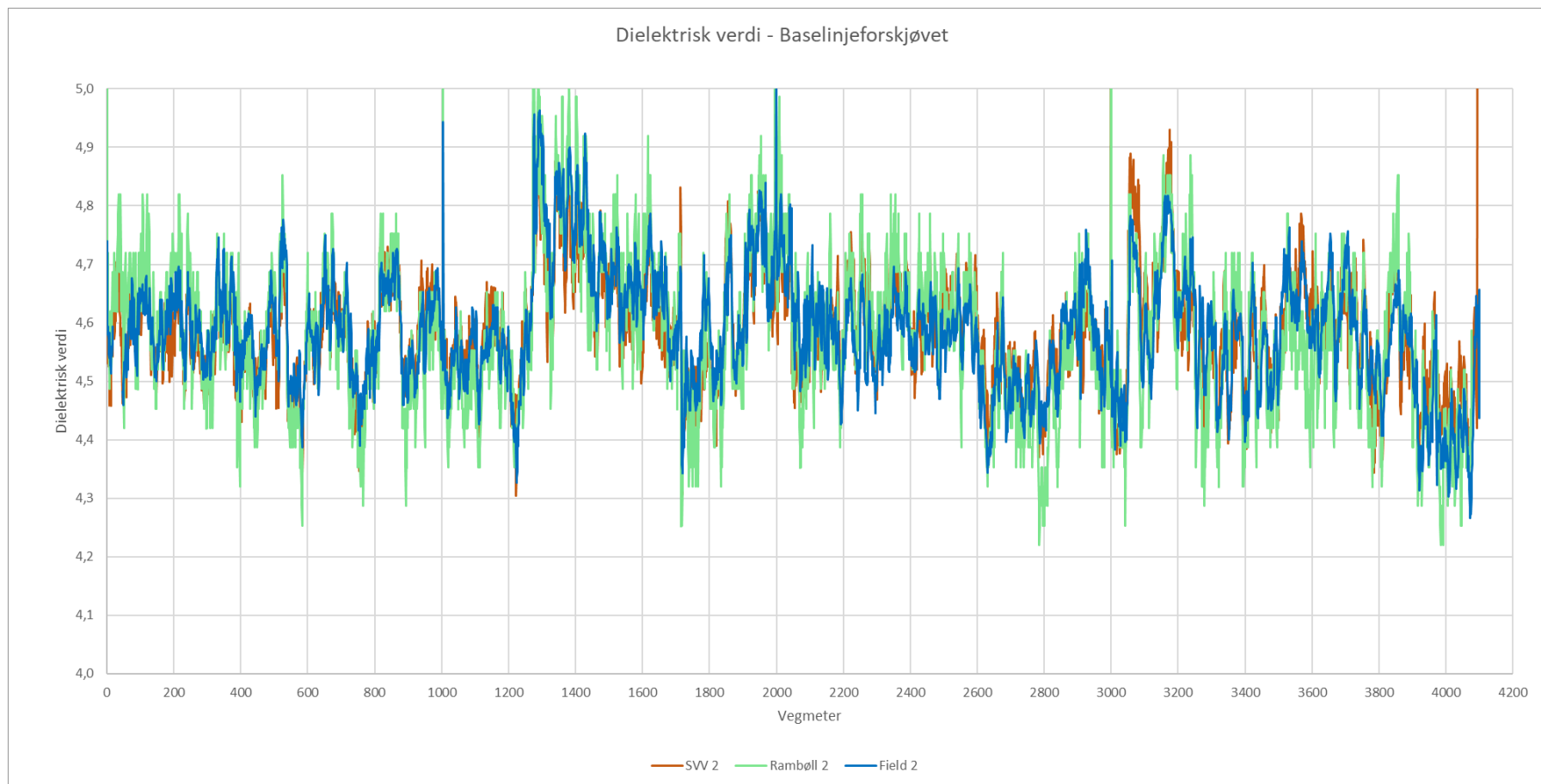


Figur 11 Gjennomsnittlig dielektrisk verdi for hver måling, Field - Utvalgt strekning

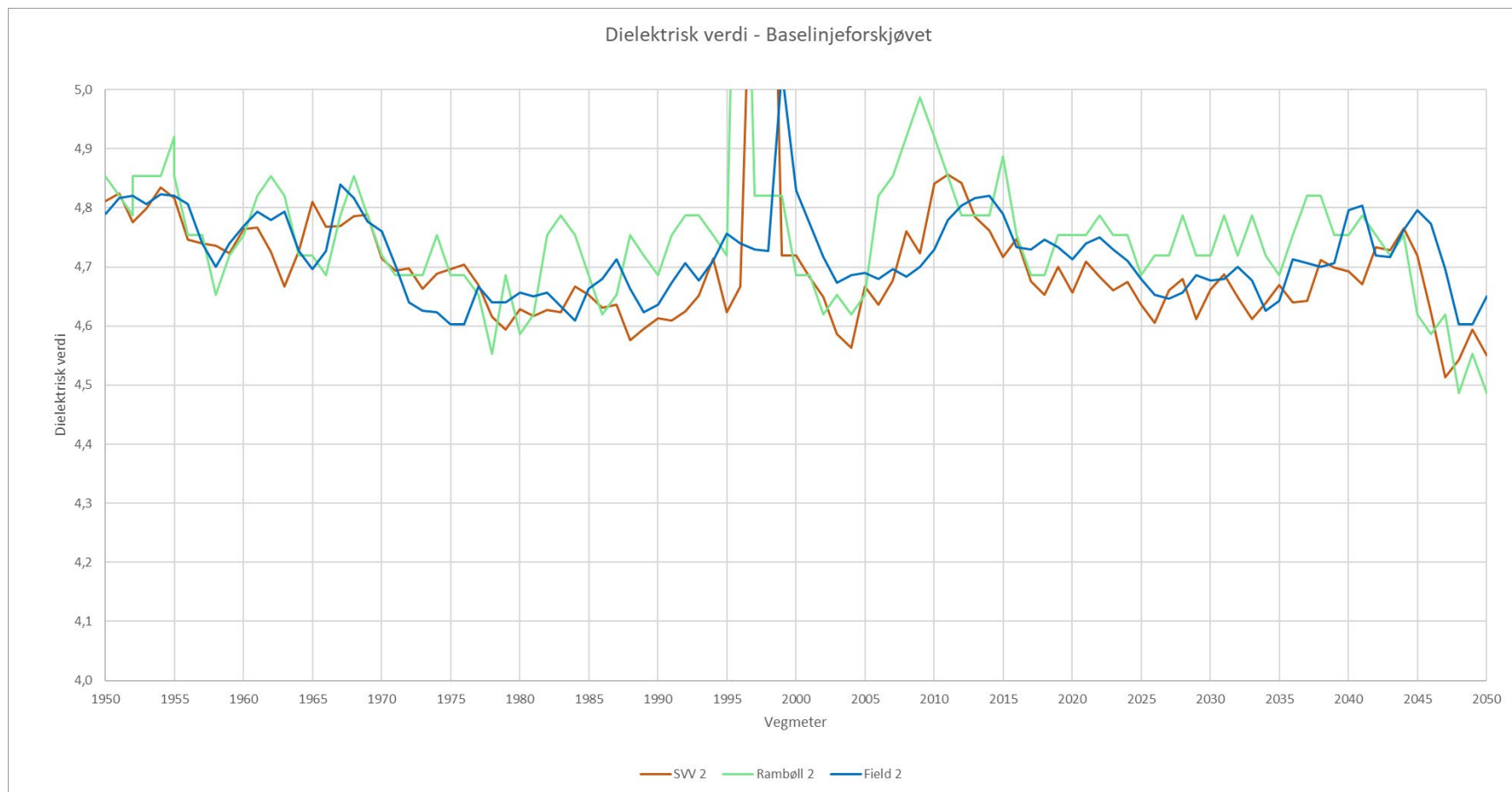
3.1.4 Dielektrisk verdi sammenligning



Figur 12: Gjennomsnittlig dielektrisk verdi for hver måling, for alle utstyr uten baselinjeforskyvning

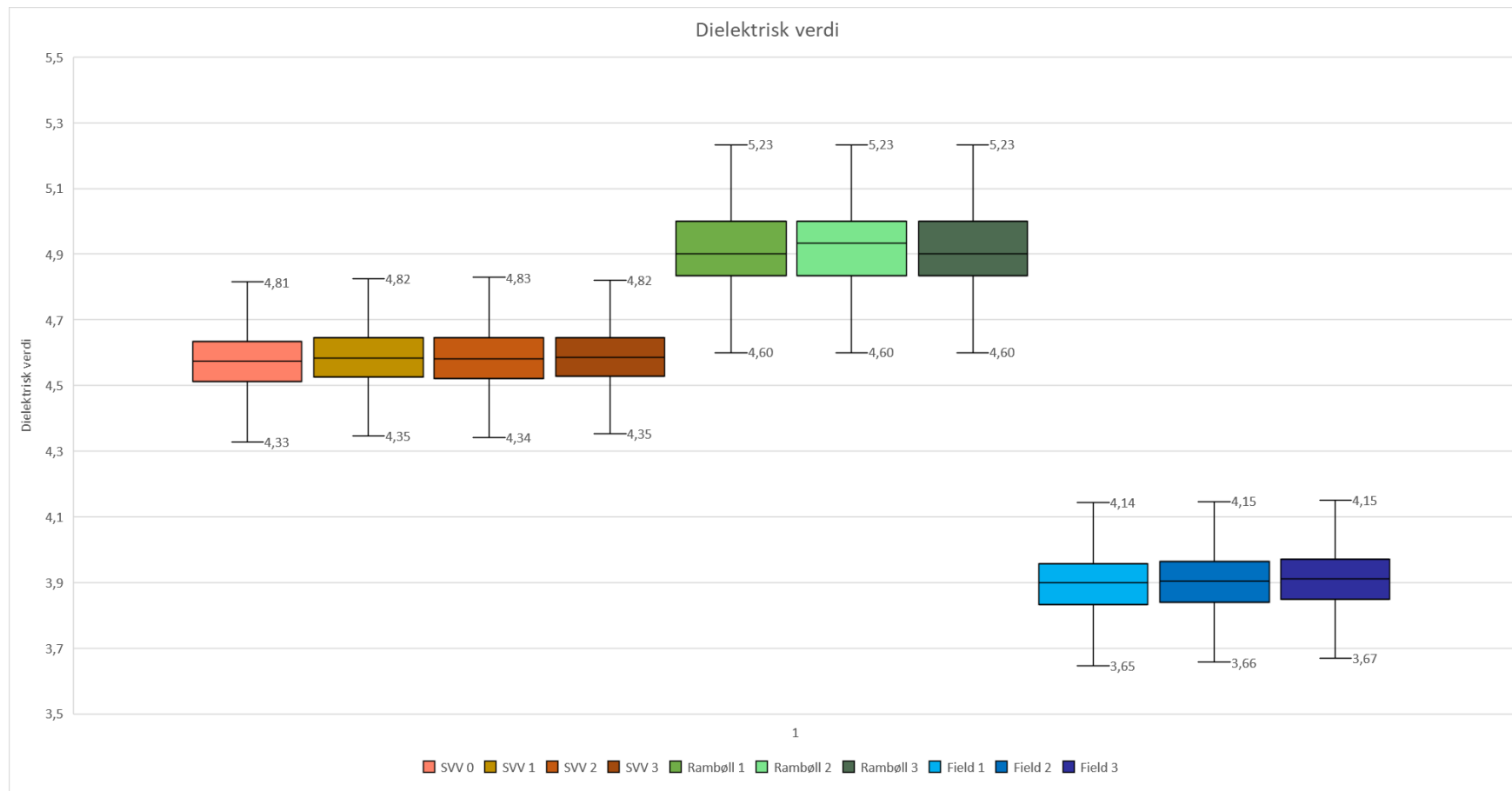


Figur 13 Måling nr 2 for alle utstyrstyper med baselinjeforskyving

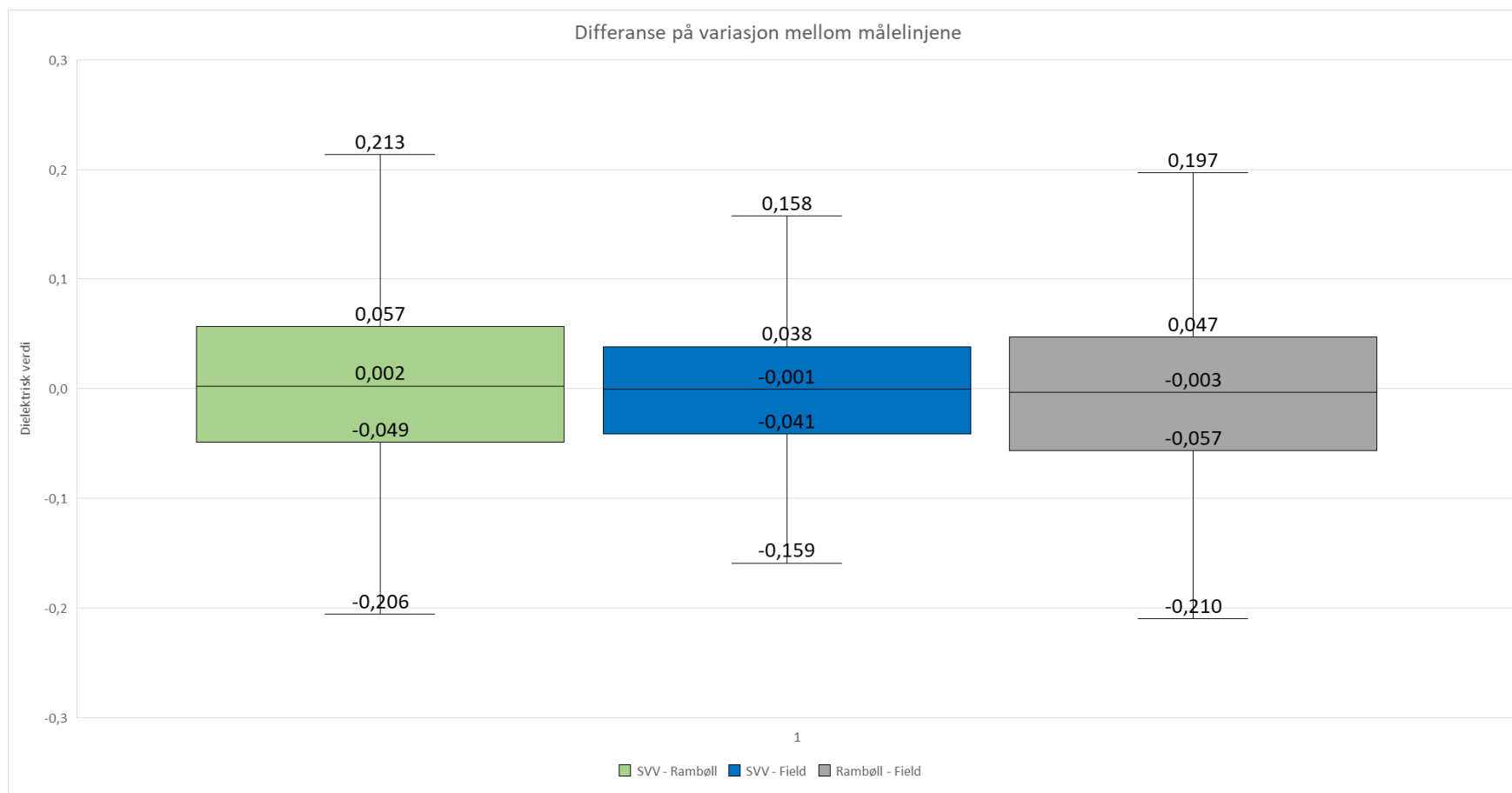


Figur 14: Måling nr 2 for alle utstyrstyper med baselinjeforskyving - utvalgt strekning

3.1.5 Statistikk dielektrisk verdi



Figur 15 Statistikk målt dielektrisk verdi. Boksene viser percentilen fra 25% til 75%, samt utliggende verdier



Figur 16 Statistikk på variasjon mellom de gjennomsnittlige dielektriske verdiene fra de forskjellige måleutstyrene for hver meter på målerunde 2. Boksene viser persentilen fra 25% til 75%, samt utliggende verdier

3.2 Hulrom

Figur 19 og figur 20 viser estimert hulrom fra målerunde 2, både for hele strekningen og for den utvalgte delstrekning. Hulrommet er basert på gjennomsnittlig dielektrisk verdi fra alle målelinjene for hvert av utstyrene. Resultatet viser god overensstemmelse mellom alle utstyrene, og en akseptabel tilpasning til kalibreringskjernene.

3.2.1 Kalibrering

Målerunde 0 for Statens vegvesen ble benyttet som grunnlag for å beregne lav, gjennomsnittlig og høy dielektrisk verdi på strekningen, før metallteipen ble lagt ut. Gjennomsnittlig dielektrisk verdi var på 4,574 og standardavviket var på 0,137. Følgende verdier ble benyttet:

- Lav $\leq 4,300$
- Gjennomsnittlig: 4,574
- Høy $\geq 4,848$

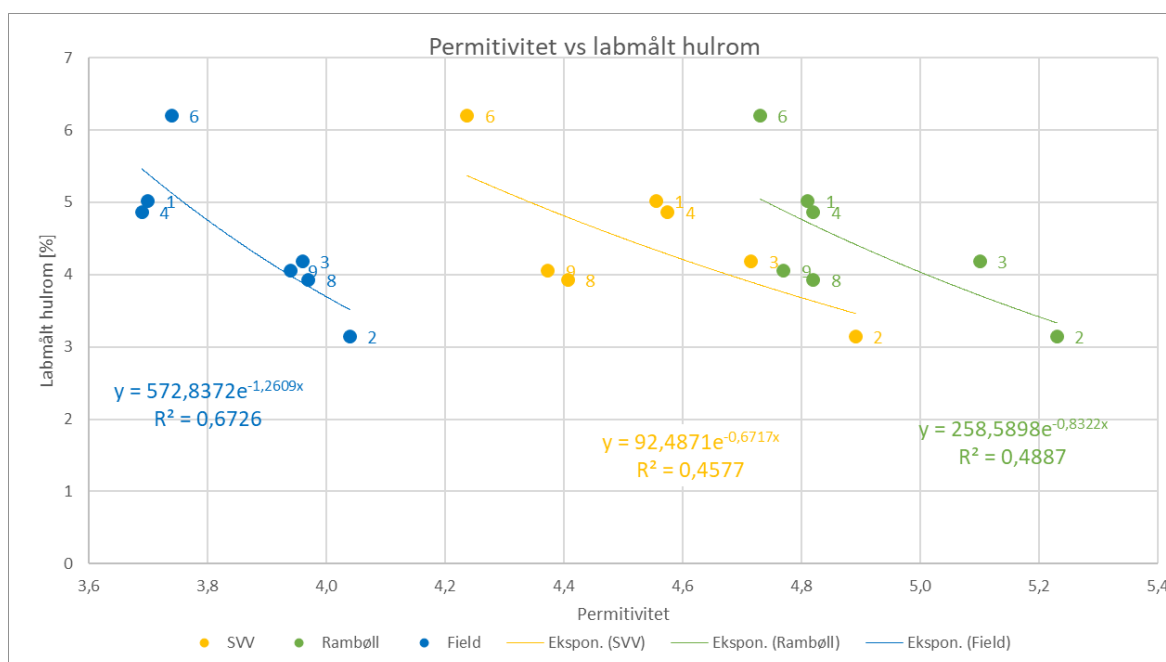
Av de ni kalibreringskjernene som ble tatt ut ble syv benyttet i kalibreringen. Ettersom prøve nr. 5 og 7 ikke viste korrelasjon mellom målt dielektrisk verdi og labmålt hulrom (se tabell 3), ble disse utelatt. Det å ta ut kjerner fra kalibreringen er ikke ønskelig, da grunnlaget til etablering av kalibreringskurven minskes. Erfaringsmessig er det imidlertid tidvis nødvendig å fjerne noen prøver. Dette gjelder særlig på dekker med mye overflatestruktur (som spiller en rolle i beregning av dielektrisk verdi), da mye av overflatestrukturen fjernes ved saging av prøvene. Dette medfører at korrelasjonen mellom dielektrisk verdi og laboratoriemålt hulrom minskes.

Korrelasjonsfaktoren R^2 beskriver sammenhengen mellom målt dielektrisk verdi og laboratoriemålt hulrom, der 0 tilsvarer ingen korrelasjon og 1 tilsvarer perfekt korrelasjon. Det er anbefalt at korrelasjonsfaktoren ligger over 0,8 [1]. For disse målingene er korrelasjonsfaktoren R^2 på 0,45 for Statens vegvesen, 0,49 for Rambøll og 0,67 for Field (se figur 17). Dette er betydelig lavere enn ønskelig, men har ingen betydning for sammenligningen av dielektrisk verdi. Med en korrelasjon mellom 0,45 og 0,67 vil målingene kun benyttes til en overordnet vurdering av hulrommet og evt. til rettet stikkprøvekontroll i ettertid.

Tabell 3: Punktmålinger og laboratoriemålt hulrom (radene markert i gult ble ikke benyttet i kalibreringen), mens resultatet med fet skrift ble benyttet i kalibreringen

Nr	Meter	Dielektrisk verdi			Labmålt hulrom hydrostatisk [%]	Labmålt hulrom måling [%]
		Statens vegvesen	Rambøll	Field		
1	448	4,56	4,81	3,70	5,01	6,16
2	1283	4,89	5,23	4,04	3,14	4,39
3	1367	4,72	5,1	3,96	4,19	5,45
4	2731	4,57	4,82	3,69	4,86	6,25
5	2922	4,58	5,12	4,04	2,04	3,62
6	2977	4,24	4,73	3,74	6,20	9,74
7	3122	4,73	4,92	3,81	8,16	11,23
8	3266	4,41	4,82	3,97	3,92	5,88
9	3307	4,37	4,77	3,94	4,06	5,67

I figur 17 vises kalibreringskurven til hvert av utstyrene. Figuren viser at utstyrene har målt forskjellige dielektriske verdier: Field ligger i området 3,7 - 4,1, Statens vegvesen i området 4,2 - 4,9 og Rambøll i området 4,7 - 5,3.

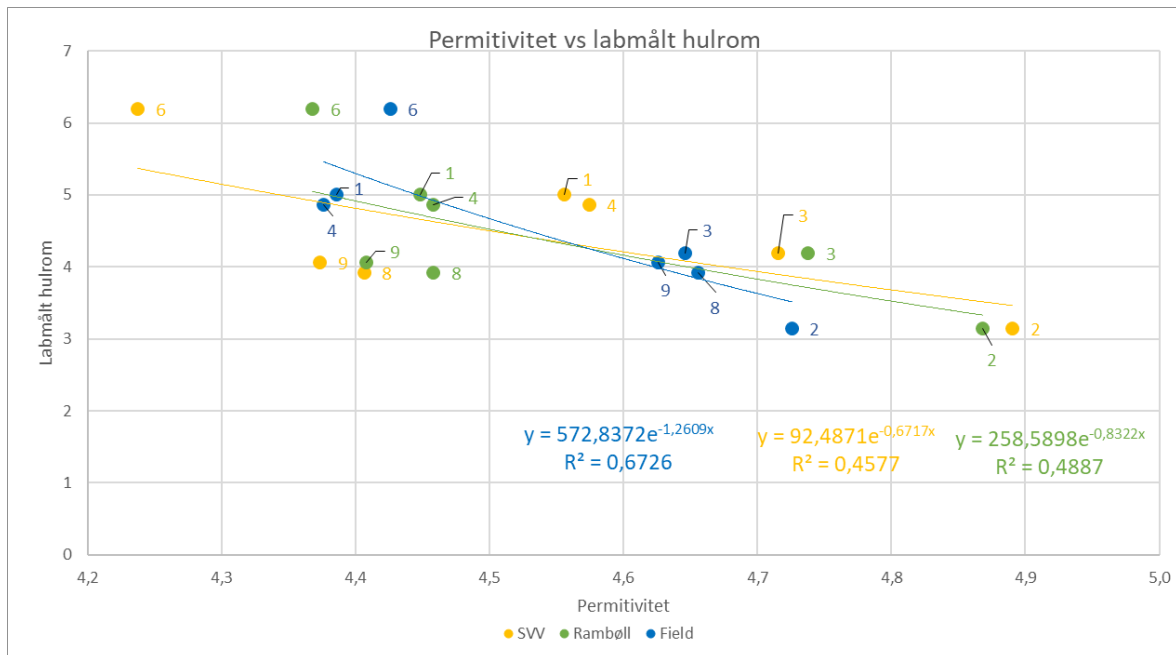


Figur 17: Kalibreringskurve for hvert enkelt utstyr (punktene er nummerert i henhold til rekkefølgen i Tabell 3)

For å kunne sammenligne kalibreringskurvene er det i figur 18 gjennomført en baselinjeforskyvning av verdiene til Rambøll og Field, slik at de ligger på samme nivå som

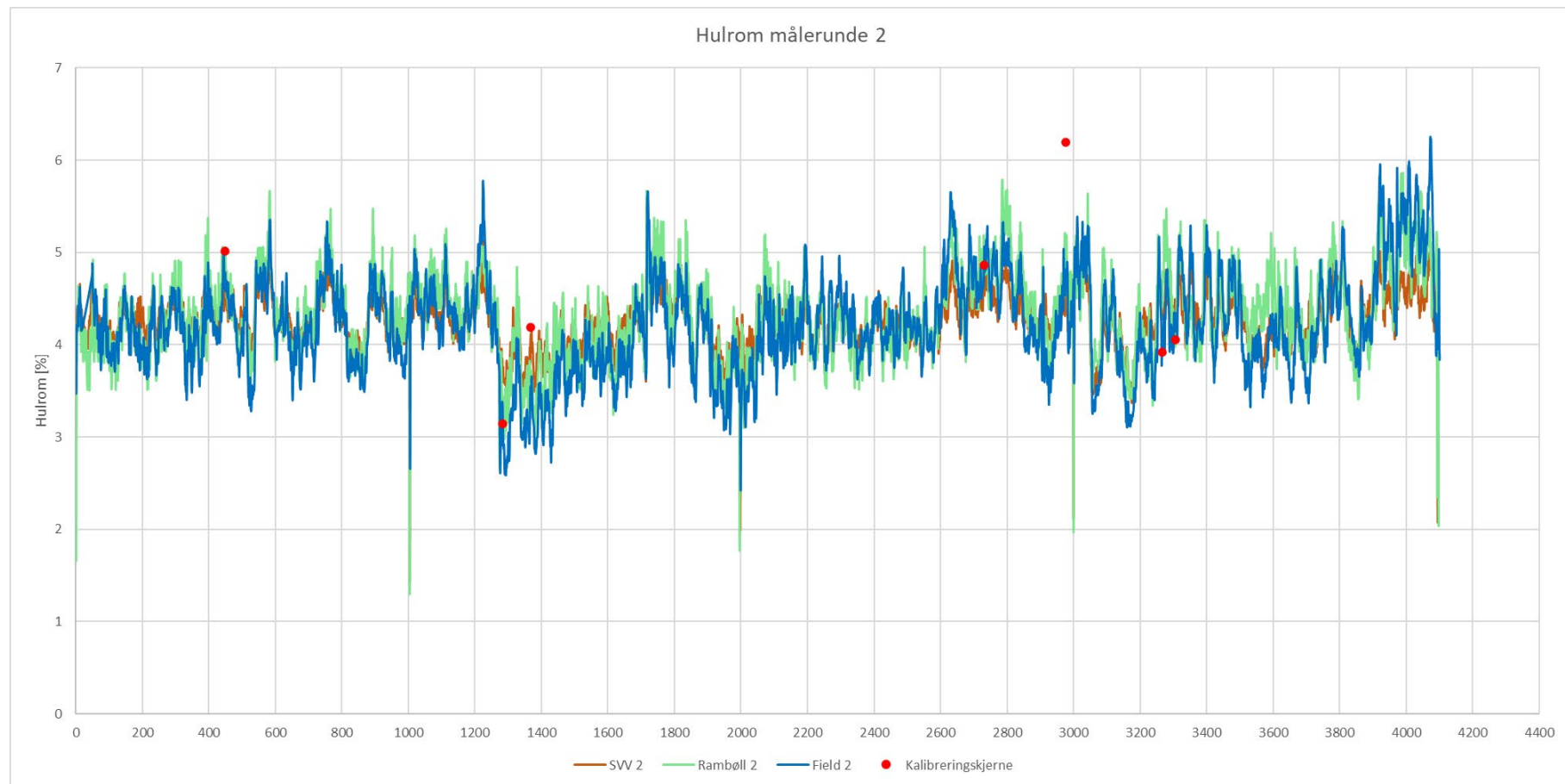
Statens vegvesens målinger. Baselinjeforskyvningen er basert på punktmålingene, og følgende verdier er benyttet: -0,362 for Rambøll og +0,686 for Field. Dette er tilnærmet identisk med forskyvningene som ble benyttet for hele strekningen (se tabell 2).

Baselinjeforskyvningen har ingen påvirkning på selve regresjonsanalysen. Dataen benyttes ikke til annet enn den visuelle sammenligningen, da forskyvningen kun er teoretisk for å kunne sammenligne kurvene. Resultatet viser at Rambøll og Statens vegvesen sine målinger følger tilnærmet samme trend, mens målingene til Field har noe større variasjon fra målingene til Rambøll og Statens vegvesen.



Figur 18: Baselinjeforskyvet kalibreringskurve

3.2.2 Hulromsinnhold sammenligning

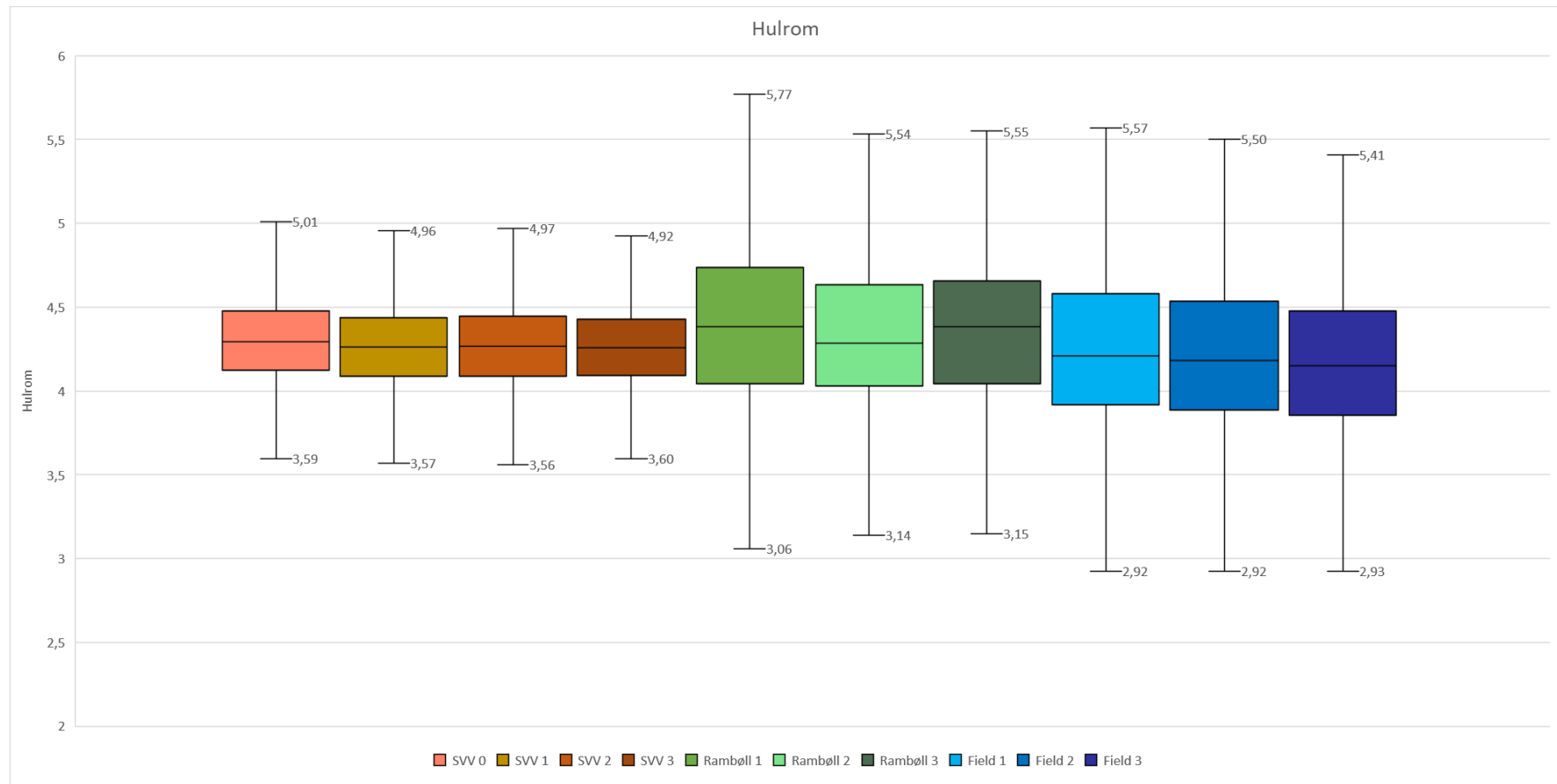


Figur 19 Sammenligning av hulrom fra alle måleutstyr for måling 2



Figur 20 Sammenligning av hulrom fra alle måleutstyr på utvalgt strekning for måling 2

3.2.3 Statistikk hulrom



Figur 21 Statistikk hulrom. Boksene viser persentilen fra 25% til 75%, samt utliggende verdier

4 Diskusjon

4.1 Nøyaktighet

4.1.1 Nøyaktighet på posisjonering

Ved sammenligning av ulike typer måleutstyr er nøyaktigheten på posisjoneringen viktig. Både Field og Rambøll beregner metring basert på konvertering av geografiske koordinater til vegsystemreferanse, mens Statens vegvesen benytter trippsteller kombinert med innmåling av start/sluttpunkt med GNSS antenne opp mot vegsystemreferansen. Av de to metodene er Field og Rambøll sin metode mest nøyaktige i områder med GNSS-dekning. I tunneler, eller strekninger med dårlig eller manglende GNSS-dekning kan trippsteller være mer nøyaktig.

variasjoner i posisjoneringen mellom de tre forskjellige måleutstyrene kan observeres i figur 14. Figur 7 og figur 9 viser at den samme variasjonen finnes internt mellom målerundene både for Statens vegvesen og Rambøll, mens Field sine målinger i figur 11 har god posisjonering mellom målerundene. Tabell 4 oppsummerer disse forskjellene ved å vise avviket mellom oppgitt posisjon for metallteipene og den faktiske posisjonen der teipen er synlig i målingene.

Field har i tillegg til RTK-korrigeringen i felt gjennomført en etterberegning av posisjonsdataene med data fra kartverket. Dette gjør at posisjoneringen fra deres system skal være bedre enn leveransen fra Rambøll og Statens vegvesen.

Tabell 4 Posisjonering på metallteip fra måleresultatene (celler markert rødt viser målinger som avviker fra de andre målerundene til utstyret)

Målerunde	Oppgitt posisjon på teip, [meter]	Statens vegvesen		Field		Rambøll	
		Posisjon teip fra måling, [meter]	Differanse fra oppgitt meter	Posisjon teip fra måling, [meter]	Differanse fra oppgitt meter	Posisjon teip fra måling, [meter]	Differanse fra oppgitt meter
1	0	0	0	1	1	2	2
2		0	0	1	1	2	2
3		0	0	1	1	6	6
1	1000	-	-	-	-	-	-
2		1004	4	1004	4	1005	5
3		1003	3	1005	5	1008	8
1	1999	1994	-5	1999	0	1997	-2
2		1998	-1	1999	0	1996	-3
3		1997	-2	1999	0	2002	3
1	3000	2995	-5	3002	2	3000	0
2		3000	0	3002	2	3000	0
3		2999	-1	3002	2	3005	5
1	4096	4088	-8	-	-	-	-
2		4095	-1	-	-	-	-
3		4095	-1	-	-	-	-

For Rambøll er de interne avvikene for målerunde 1 og 2 tilnærmet like, og innenfor forventet toleranse (± 1 meter basert på hvordan vegsystemreferansen fastsettes). Målerunde 3 viser derimot betydelig større avvik. Selv om målerunde 3 ble gjennomført mot kjøreretningen, antas det at det her mest sannsynlig har skjedd en feil i konvertering, da denne har store avvik fra de foregående rundene.

For Statens vegvesen er de interne avvikene mellom målerunde 2 og 3 tilnærmet like (± 1 meter), mens målerunde 1 avviker betydelig med variasjoner på opptil 7 meter. Feilen er ikke systematisk over strekningen, slik at det er usikkert hva den skyldes. Det antas at det har skjedd en feil i måling/prosesseringen av måleresultatene, da avvikene er såpass store.

For Field er det tilnærmet likt internt avvik på alle målerundene.

Lokasjoner for start- og sluttmeter, borepunkter og metallteip er fastsatt med Vegviser-appen, koblet til RTK-GNSS antenne med CPOS-korreksjon. Denne metoden skal i utgangspunktet være nøyaktig på centimeternivå. Field rapporterte imidlertid at vegreferansene på punktmålingene ikke stemte med det som var oppgitt fra Vegviser-appen i felt, og etter en kontroll ble det funnet at vegmetrering og koordinatene til Vegviser-appen ikke stemmer overens. Det er derfor laget en oversikt over forskjellen i vegmetrering mellom Statens vegvesen og Field sine data, gjengitt i tabell 5.

Det er ikke et systematisk avvik mellom metreringene, da de varierer mellom -1 til -6 meter. Siden det ikke er et systematisk avvik, er det vanskelig å finne kilden til problemet. Det kan være konvertering av resultatene, men mest sannsynlig er dette en feilkilde som kommer av koordinattransformasjonen.

Tabell 5 Oversikt over differanse for metreringen av borepunkter mellom Statens vegvesen og Field

Borepunkt	Statens vegvesen meter på bilde fra vegviserappen	Field	Differanse Statens vegvesen - Field
1	448	454	-6
2	1283	1285	-2
3	1367	1370	-3
4	2731	2735	-4
5	2922	2926	-4
6	2977	2981	-4
7	3122	3124	-2
8	3266	3267	-1
9	3307	3308	-1

Variasjonen i posisjoneringen medfører ikke bare en usikkerhet knyttet til selve sammenligningsmålingene, men vil også gjelde for faktiske oppdrag, der man i ettertid ønsker å gjennomføre en etterkontroll og eksakt stedfesting.

En fullverdig sammenligning av målesystemene er utfordrende så lenge både geografisk posisjonering og plassering i feltbredden inneholder usikkerhet. For å eliminere disse

usikkerhetene måtte alle målesystemene vært montert på samme bil og benyttet en felles GNSS enhet. Dette lar seg imidlertid vanskelig gjennomføre i praksis. På bakgrunn av dette må det forventes noe usikkerhet.

4.1.2 Nøyaktighet på målingene

Sammenligningen i figur 12 og figur 15 viser at det er tydelige forskyvninger i nivået på den dielektriske verdien mellom de ulike utstyrene, men at trenden på målingene følger hverandre godt. Figur 16 viser variasjonen i differansen mellom gjennomsnittlig dielektrisk verdi på hver meter for de forskjellige måleutstyrene. Som det kan sees ligger hovedsakelig variasjonen mellom utstyrene på $\pm 0,05$ (fra 25 - 75 % persentilen) per meter, men med utligger. Siden det ikke er utført filtrering av dataene for Statens vegvesen eller Rambøll, er dette å anse som innenfor normal variasjon med de usikkerhetsfaktorene som ligger til grunn for målingene (videre diskutert i kap. 4.2). Dette innebærer i praksis at så lenge hvert utstyr utarbeider sine egne kalibreringskurver, så vil valg av utstyrsleverandør være uvesentlig for sluttresultatet av målingene.

NB! Som nevnt i kapittel 2 er penetrasjonsdybden til utstyrene en viktig parameter. Penetrasjonsdybden til Rambøll og Field er ikke oppgitt, men for Statens vegvesen sitt utstyr er penetrasjonsdybden på < 4 cm. Dette er en parameter som ikke er etterspurt fra Rambøll og Field, da det ligger utenfor forsøkets omfang, men som kan ha innvirkning på resultatet.

4.2 Potensielle feilkilder

Det finnes flere mulige feilkilder ved sammenligningsmålingene som kan forklare deler av variasjonen observert i resultatene.

4.2.1 Vandring i kjørefeltet

Når målinger utføres over lengre strekninger med kjøretøy i fart, vil det alltid oppstå vandring i kjørefeltet. Siden et asfaltdekke aldri er helt homogent, verken på tvers eller langs vegen, vil slik vandring medføre noen variasjoner mellom systemene. Dette er i praksis vanskelig å eliminere. For å minimere dette måtte i så fall målingene gjennomføres ved hjelp av f.eks tralle innenfor et begrenset oppmerket område, og det ville da vært mulig med repeterbare målinger, på eksakt samme posisjon. Tralle målinger er imidlertid ikke egnet på det høytrafikkerte vegnettet eller ved regulær hulromskontroll, og flere av utstyrene har heller ikke mulighet for trallebasert måling. Usikkerheten knyttet til tverrvandringen anses imidlertid normalt sett ikke til å ha stor påvirkning på resultatene.

For å presentere målingene er dataene snittet til intervaller på 1 meter. Dette medfører at noe av variasjonen i dekket fjernes, ved at effekten fra støy og ekstremverdier minskes.

Ved forskjellige målerunder vil vandringen på tvers i kjørefeltet og i lengderetningen medføre at det aldri er samme partier som presenteres. Gjennomsnittet av alle tre måleprofilene vil imidlertid gi et bedre bilde enn å benytte alle målestriper.

4.2.2 Kalibrering av måledata

Kalibreringen av målingene forutsetter punktmålinger for konvertering fra dielektrisk verdi til hulrom. Nøyaktig merking av punktene er derfor en kritisk faktor for å få en god kalibrering, ettersom selv små variasjoner i homogeniteten i dekket kan være nok til å få feil kalibrering hvis punktet ikke er både målt og markert ut riktig. For Statens vegvesen og Rambøll sitt utstyr er det enkelt å se hvor antennen er plassert i forhold til markert punkt. For 3D-Radaren til Field er dette mer utfordrende. Radaren er montert under en tilhenger, noe som medfører at tilgjengeligheten til antennene er begrenset. Siden antennene sitter i rekke, er det også vanskelig å se hvor benyttet antenne er. Det var derfor vanskelig å få plassert antennene nøyaktig over ønsket målepunkt, slik at det er noe usikkerhet knyttet til plassering av punktmålingene til Field.

For å minimere usikkerheten var det i utgangspunktet planlagt at både Rambøll og Field skulle markere sine egne kalibreringspunkter. Dette ville gitt dem mulighet til å velge lokasjoner som de vurderte som best egnet, og redusert risikoen feilplassering. Av praktiske årsaker, blant annet begrenset tidsvindu for vegstenging og behovet for å bore totalt 27 kjerner, ble imidlertid Statens vegvesen sitt utstyr benyttet for å markere lokasjoner for punktmålinger. Rambøll og Field har i tillegg behov for å utføre etterberegninger for å komme frem til hvor punktene skal plasseres. Rambøll og Field måtte derfor måle på punktene til Statens vegvesen og kunne ikke velge ut sine egne plasseringer. Dette kan ha påvirket korrelasjonen for deres resultater.

Kjerne nr. 5 og 7 ble fjernet fra kalibreringen, da disse ikke viste noen korrelasjon med de andre punktene. Det er på strekningen benyttet et Ska 16-dekke, som normalt har høyt overflatehulrom (dette bekreftes også av kjernene). Ved måling med georadar er overflatestrukturen viktig, da denne påvirker målt dielektrisk verdi, og ved laboratorieanalyser på åpne masser skal toppen kappes for å sikre en jevn overflate. For denne massen kan det maksimalt ha blitt kappet bort 8 mm. Når overflatehulrommet fjernes, vil dette medføre at noe av sammenhengen mellom punktmålingen og laboratorieanalysen fjernes. Tidligere erfaringer viser at det ofte oppnås dårligere korrelasjon på grove masser som Ska 16, sammenlignet med andre massetyper med jevnere overflatestruktur, f.eks. Agb og Ab dekker. For kalibrering av georadarmålinger er derfor ukappet topp bedre, men dette medfører et avvik fra kravene i håndbok R210 Laboratorieundersøkelser.

Til tross for disse forholdene viser resultatene at målingene etter kalibrering i hovedsak ligger innenfor ± 1 hulromsprosent i variasjon. Dette ansees som godt innenfor målemetodens nøyaktighet. Det er noe større variasjon i Field og Rambøll sine resultater (se figur 21), men i all hovedsak skyldes dette små variasjoner i kalibreringskurven.

4.2.3 Fuktighet

Vanninnholdet har stor betydning for georadarmålinger, da selv små variasjoner i fuktighetsinnholdet vil kunne medføre en vesentlig endring i målt dielektrisk verdi (ferskvann har dielektrisk verdi på 81, mens asfalt som regel ligger mellom 3 - 8 i henhold til tabell 1).

Effekten av endring i vanninnhold har tidligere blitt observert ved vannsøl i vegbanen, og på lange strekninger som har medført målinger over flere timer der det har oppstått dugg på dekket under målingene. Denne testen ble imidlertid utført under gode klimatiske forhold og over en relativt kort strekning, slik at risiko for endring i fuktighetsnivå under målingene vurderes som liten. Det er heller ikke observert klare forskjeller mellom målerundene, så dette anses ikke som en feilkilde i dette forsøket.

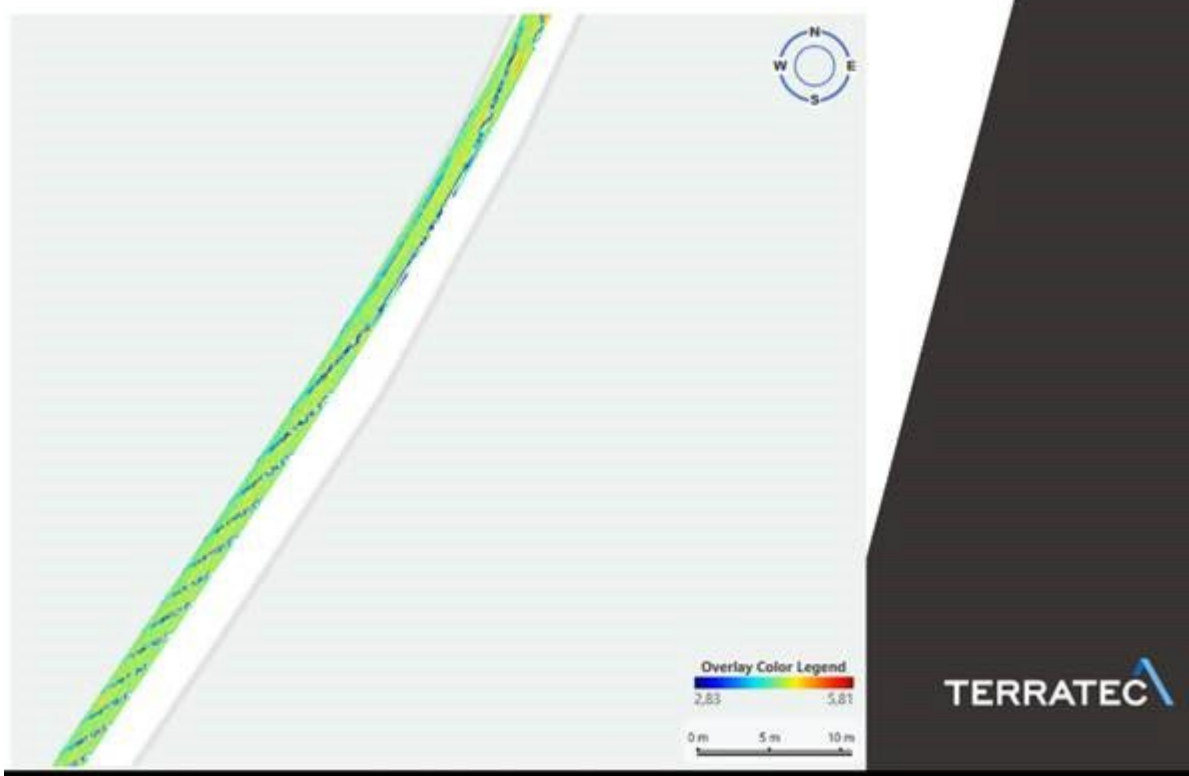
Selv om fuktighet ikke vurderes å være et problem her, er vann en viktig faktor å være oppmerksom på. Endringer i værforholdene underveis i målinger kan påvirke resultatene, særlig på høsten og på lange strekninger hvor kondens kan oppstå. Dette er spesielt utfordrende for saktegående målesystemer slik som Statens vegvesen sitt RDM-system, eller i situasjoner der det er behov for pauser til bearbeiding av data mellom målinger og/eller markering av punkter.

Rambøll gjennomførte punktmålinger både med 3D-radaren og sitt Sir 30-system. På noen av punktene ble det observert at det hadde dannet seg kondens på asfalterflaten etter at Rambøll hadde gjennomført sine punktmålinger. Field gjennomførte sine målinger etter Rambøll, og dette kan ha påvirket resultatet på enkelte av målingene deres. Dette kan forklare grunnen til at Field har variasjoner på noen av sine punktmålinger i forhold til Statens vegvesen og Rambøll.

4.2.4 Interferens

Field rapporterte om flere partier med stedvis betydelig interferens på strekningen. Dette ble fjernet som en del av prosesseringen deres, slik at det ikke skal påvirke de endelige resultatene. Rambøll og Statens vegvesen rapporterte ikke tilsvarende forhold, men det er kjent at georadar er mottakelig for interferens fra f.eks radarstasjoner. Et eksempel på hvordan interferens påvirker målinger er vist i figur 22.

Eksempel: Interferens



Figur 22 Eksempel på interferens [Kilde: Field]

4.2.5 Filtrering

Rambøll og Statens vegvesen gjennomfører ingen filtrering av dataene sine, mens Field har gjennomført filtrering på sine data. Dette innebærer at resultatene fra Rambøll og Statens vegvesen har større variasjoner enn Field. Den observerte jevnheten hos Field kan derfor være et resultat av filtreringen, og ikke av selve målingene. Det er en tydelig svakhet med dataene, når kun 1 av 3 er filtrert. Siden det var spesifisert i prosjektbeskrivelsen at dataene skal leveres etter vanlige prosedyrer, er det imidlertid vanskelig å gjøre noe med dette i ettertid.

5 Konklusjon

Forsøket viser at alle de benyttede georadar-måleutstyrene gir tilnærmet like resultater for dielektrisk verdi når det er gjennomført en baselinjeforskyvning. Det vurderes derfor at valg av utstyr ikke vil påvirke resultatene, forutsatt at det utarbeides egne kalibreringskurver for hvert enkelt utstyr.

Markering av kalibreringspunkter ansees å være et kritisk punkt. Selv på tilsynelatende homogene partier vil det alltid være mindre lokale variasjoner, og nøyaktig plassering av punktmålinger er avgjørende for god kalibrering. Forsøket belyste at dette kan være et problem med hengermontert georadar og at dette være et viktig punkt å fokusere på i fremtidige målinger.

6 Videre arbeid

Resultatene her er basert på utstyr fra to utstyrsprodusenter (Kontur og GSSI). Dersom georadar skal kunne benyttes som entreprenørens driftskontroll, bør det gjennomføres en bredere undersøkelse med utstyr fra flere leverandører.

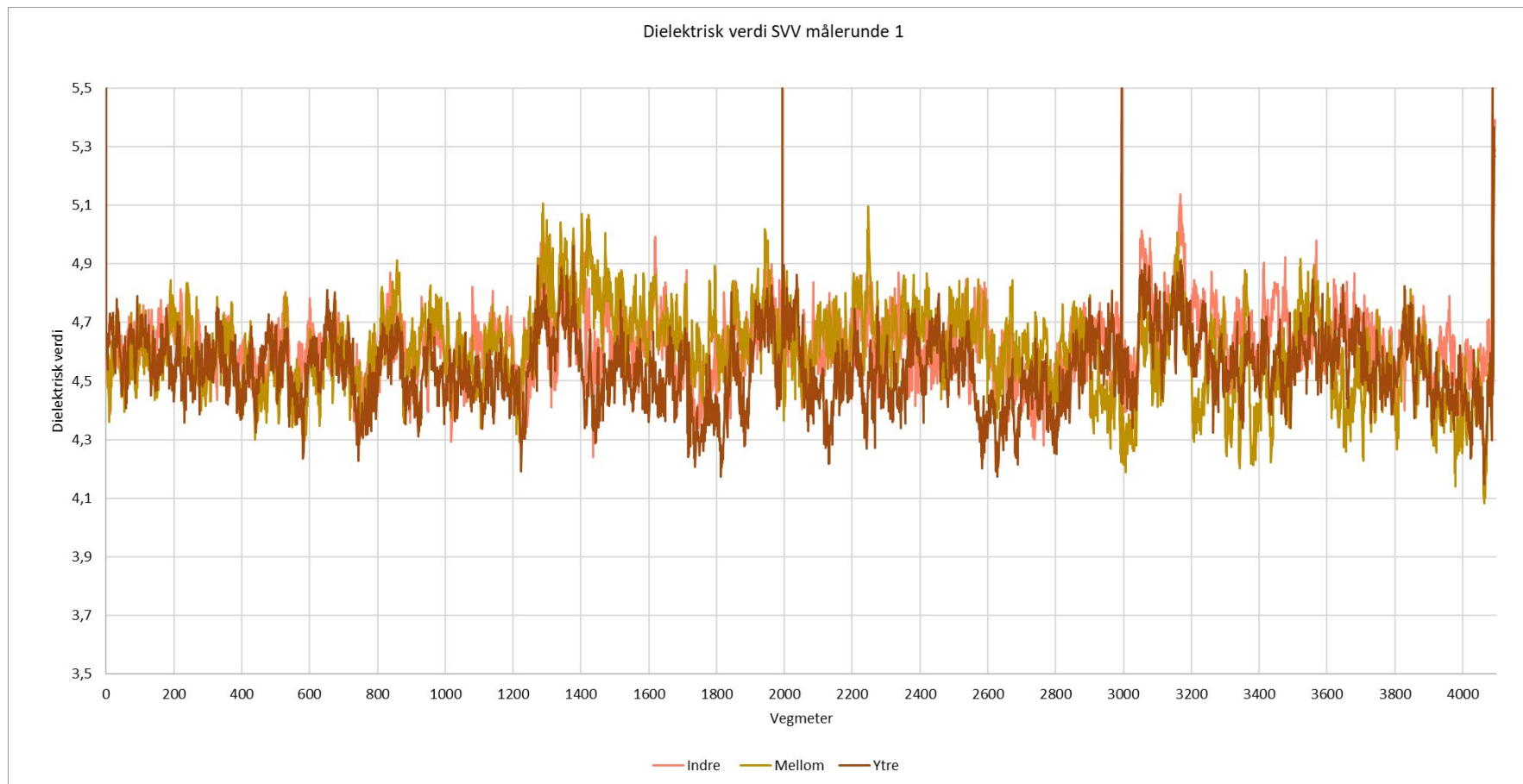
Undersøkelsene er kun utført på en massetype. For å kunne verifisere metoden på tvers av ulike dekker bør samme prosess også utføres på de to andre mest vanlige dekketyper i Norge: asfaltgrusbetong (Agb) og asfaltbetong (Ab). Videre bør undersøkelsene gjennomføres på flere enn en strekning per massetype for å få et mer representativt datagrunnlag.

Kilder

1. [Rapport 1084 Dokumentasjon og kontroll av asfalt 2026](#), Joralf Aurstad, Johnny Stenshagen og Even K. Sund, november 2025
2. [Electrical properties of road materials and subgrade soils and the use of ground penetrating radar in traffic infrastructure surveys](#). Timo Saarenketo 11.11.2006
3. [Recommendations for guidelines for the use of GPR in asphalt air voids content measurement](#), Mara Nord 2011
4. [Håndbok R211 Feltundersøkelser](#), Statens vegvesen, 2025
5. [Håndbok R210 Laboratorieundersøkelser](#), Statens vegvesen, 2025

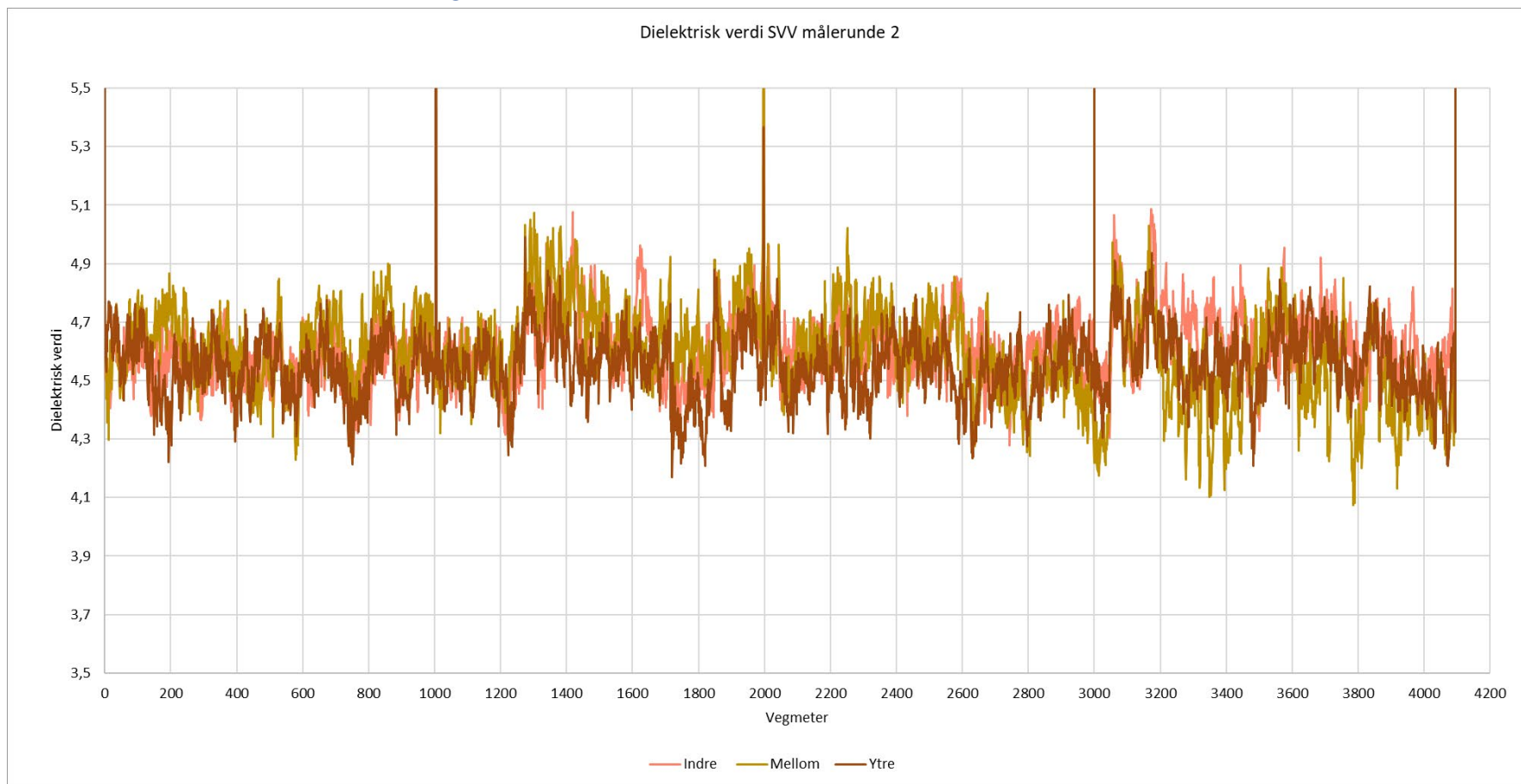
Vedlegg

a. Dielektrisk verdi Statens vegvesen målerunde 1



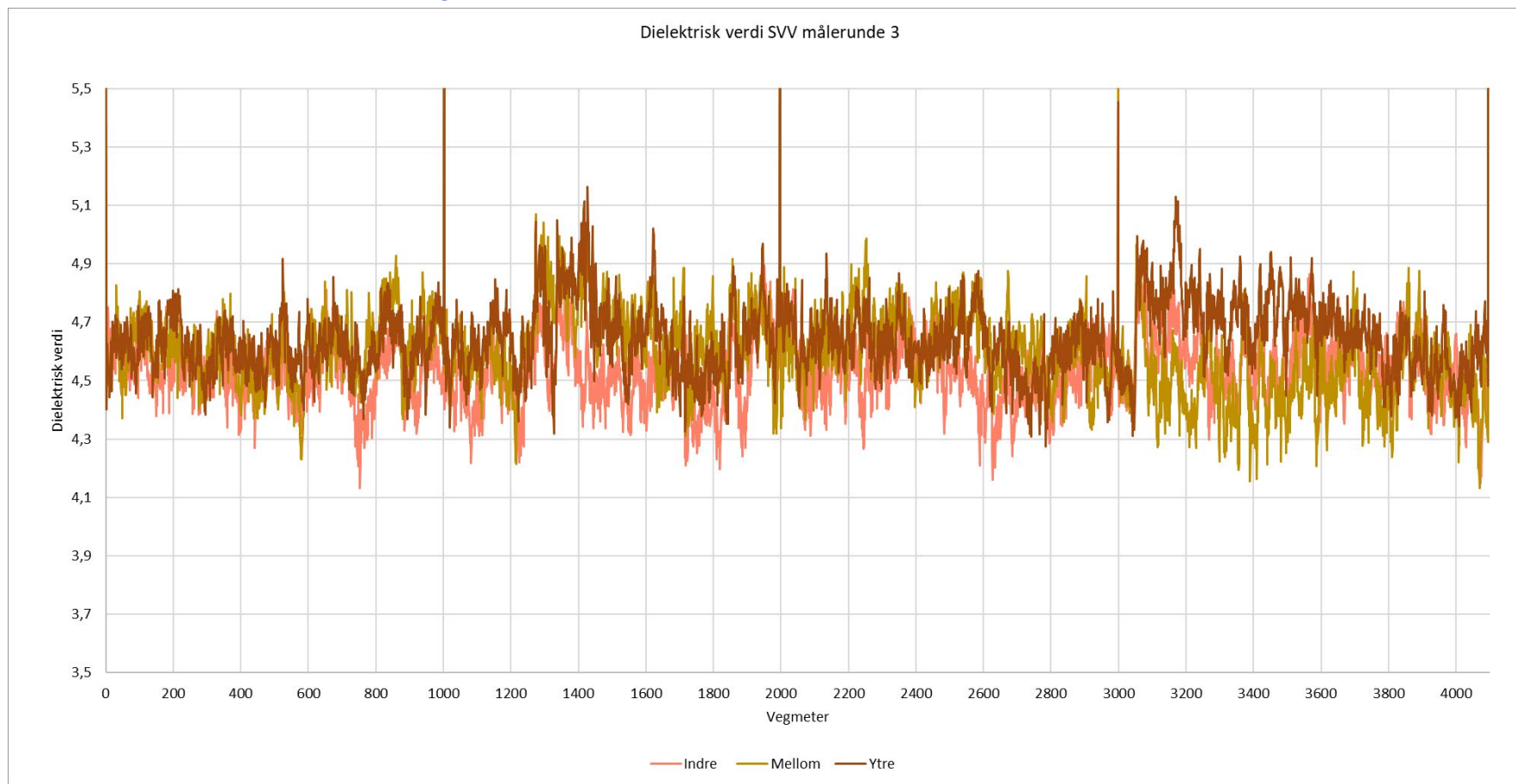
Figur 23 Dielektrisk verdi for alle målestriper på målerunde 1

b. Dielektrisk verdi Statens vegvesen målerunde 2



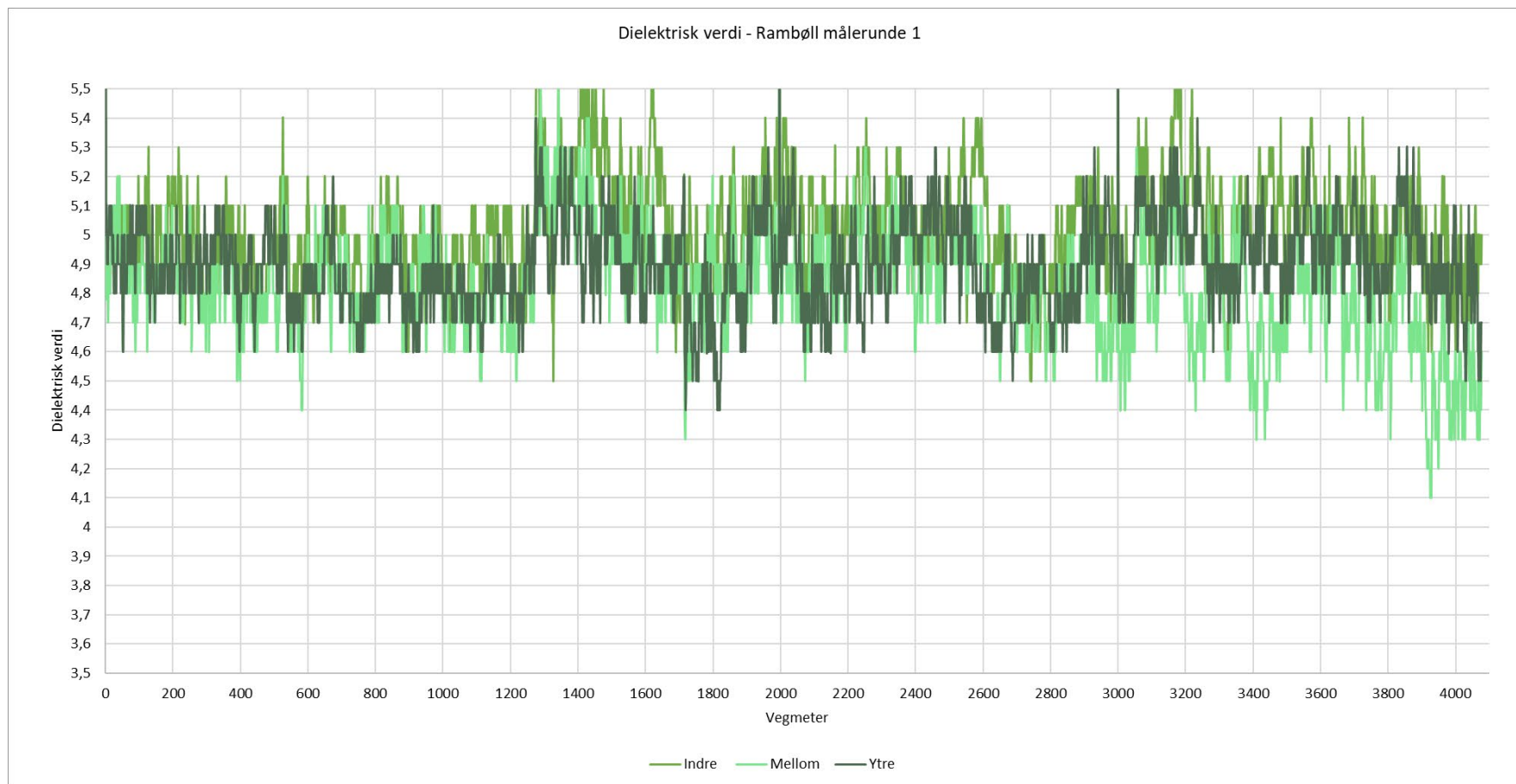
Figur 24 Dielektrisk verdi for alle målestriper på målerunde 2

c. Dielektrisk verdi Statens vegvesen målerunde 3



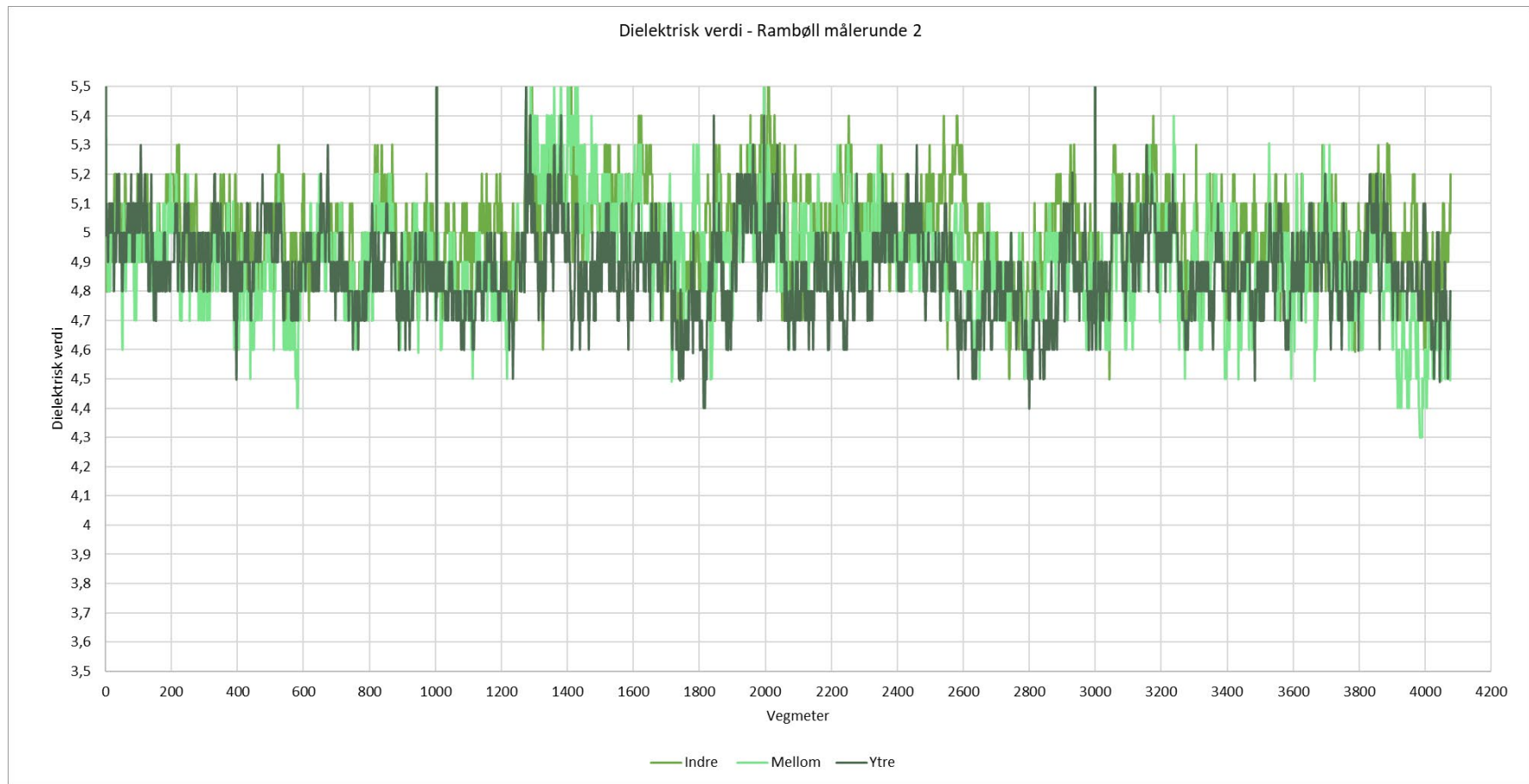
Figur 25 Dielektrisk verdi for alle målestriper på målerunde 3

d. Dielektrisk verdi Rambøll målerunde 1



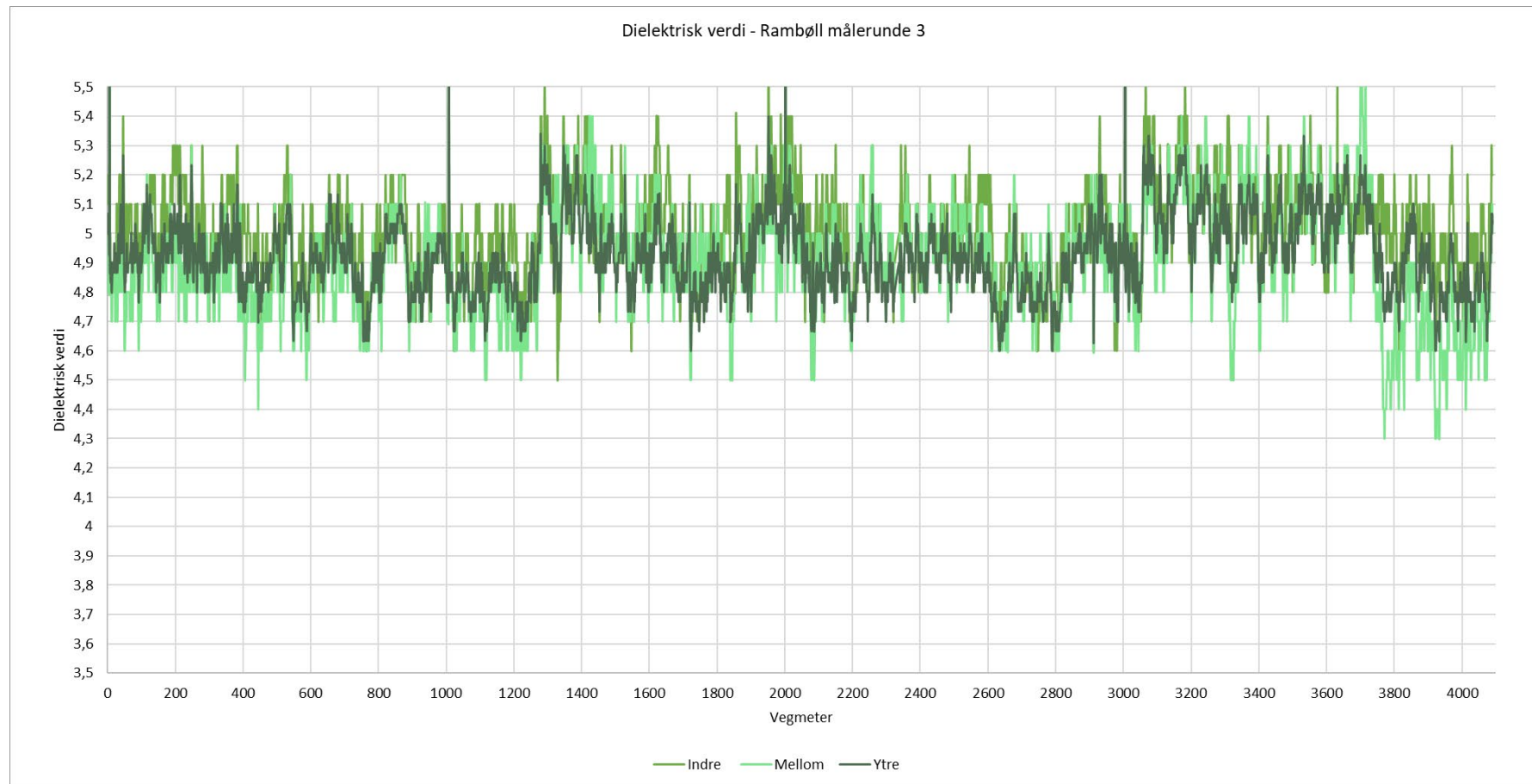
Figur 26 Dielektrisk verdi for alle målestriper på målerunde 1

e. Dielektrisk verdi Rambøll målerunde 2



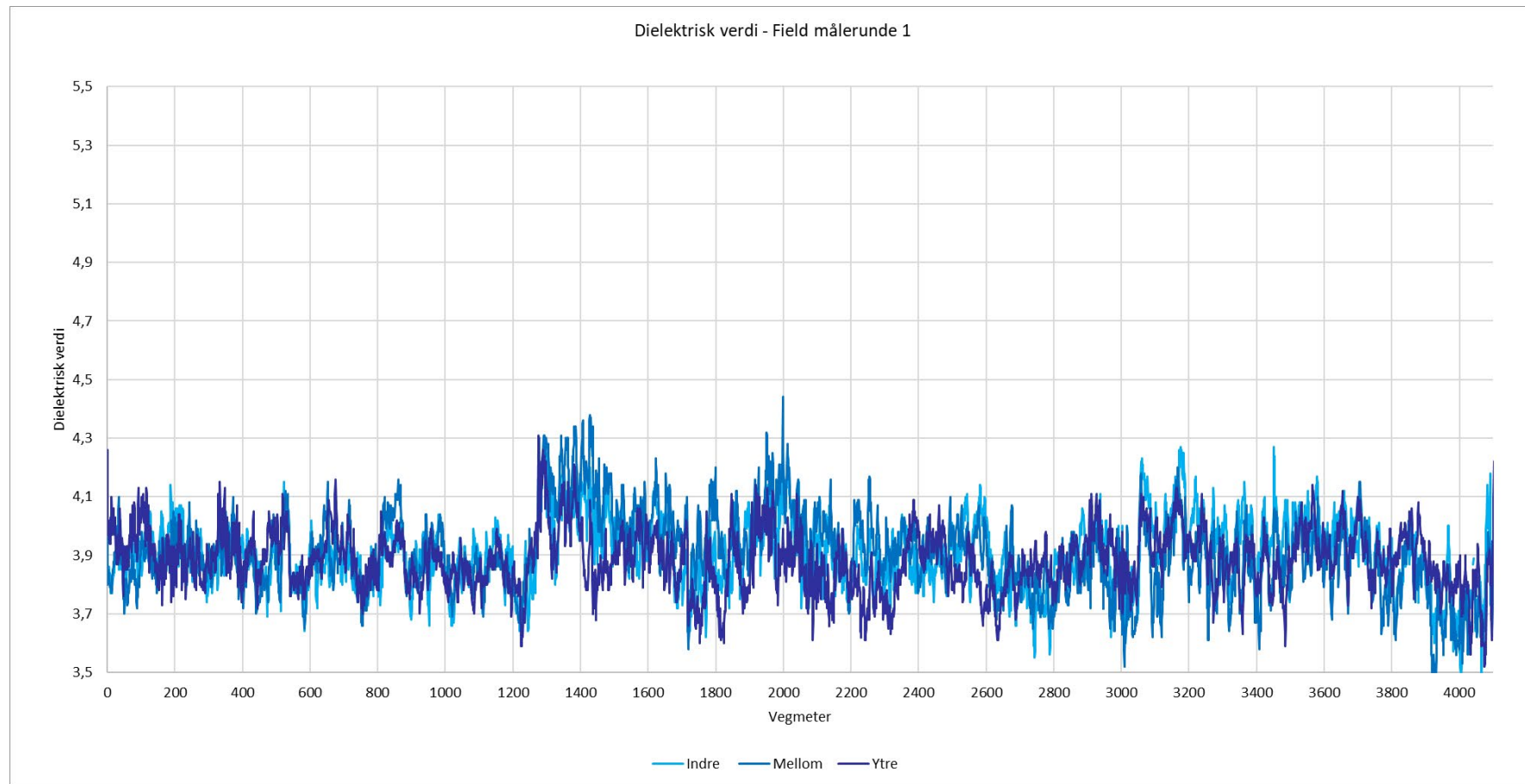
Figur 27 Dielektrisk verdi for alle målestriper på målerunde 2

f. Dielektrisk verdi Rambøll målerunde 3



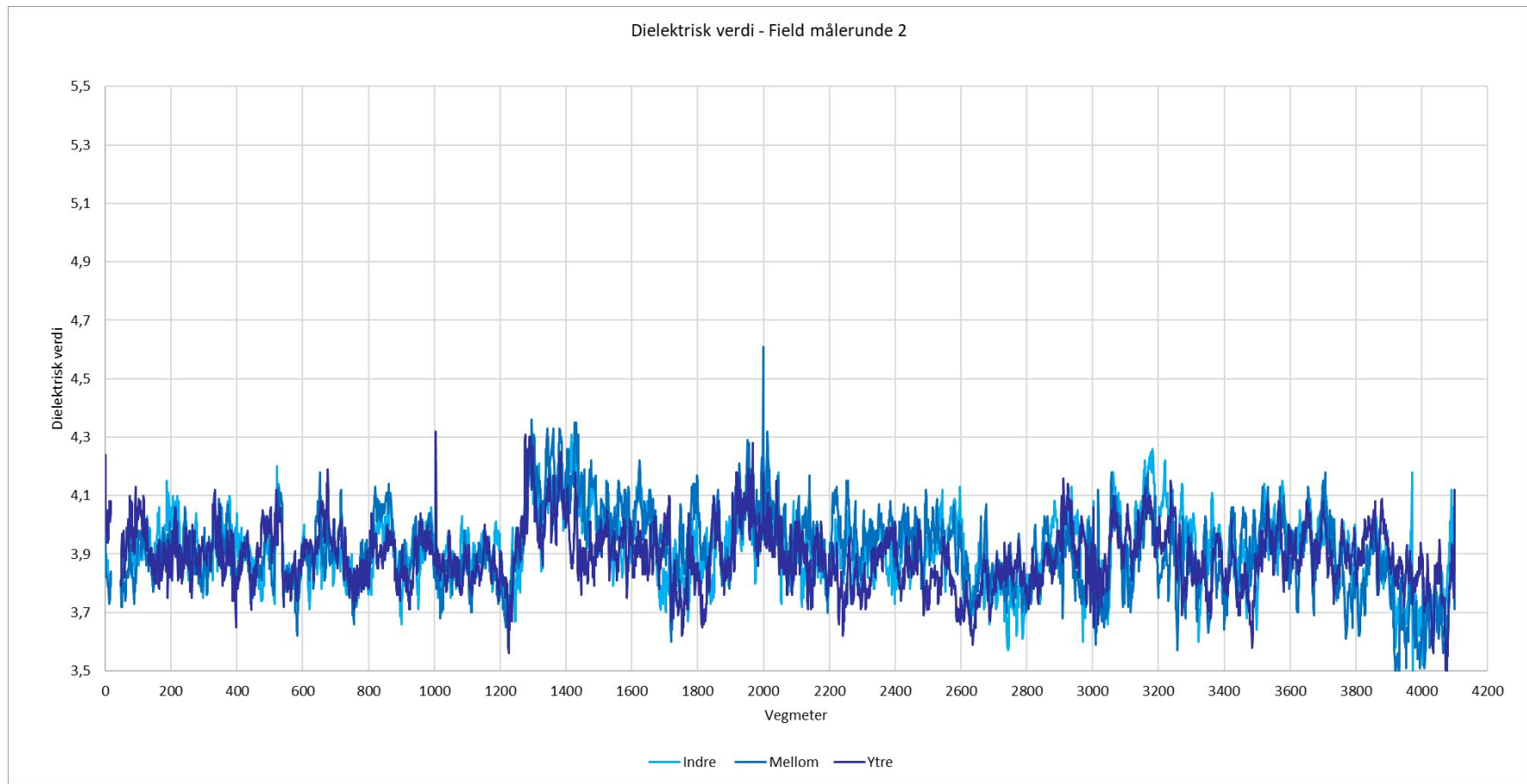
Figur 28 Dielektrisk verdi for alle målestriper på målerunde 3

g. Dielektrisk verdi Field målerunde 1



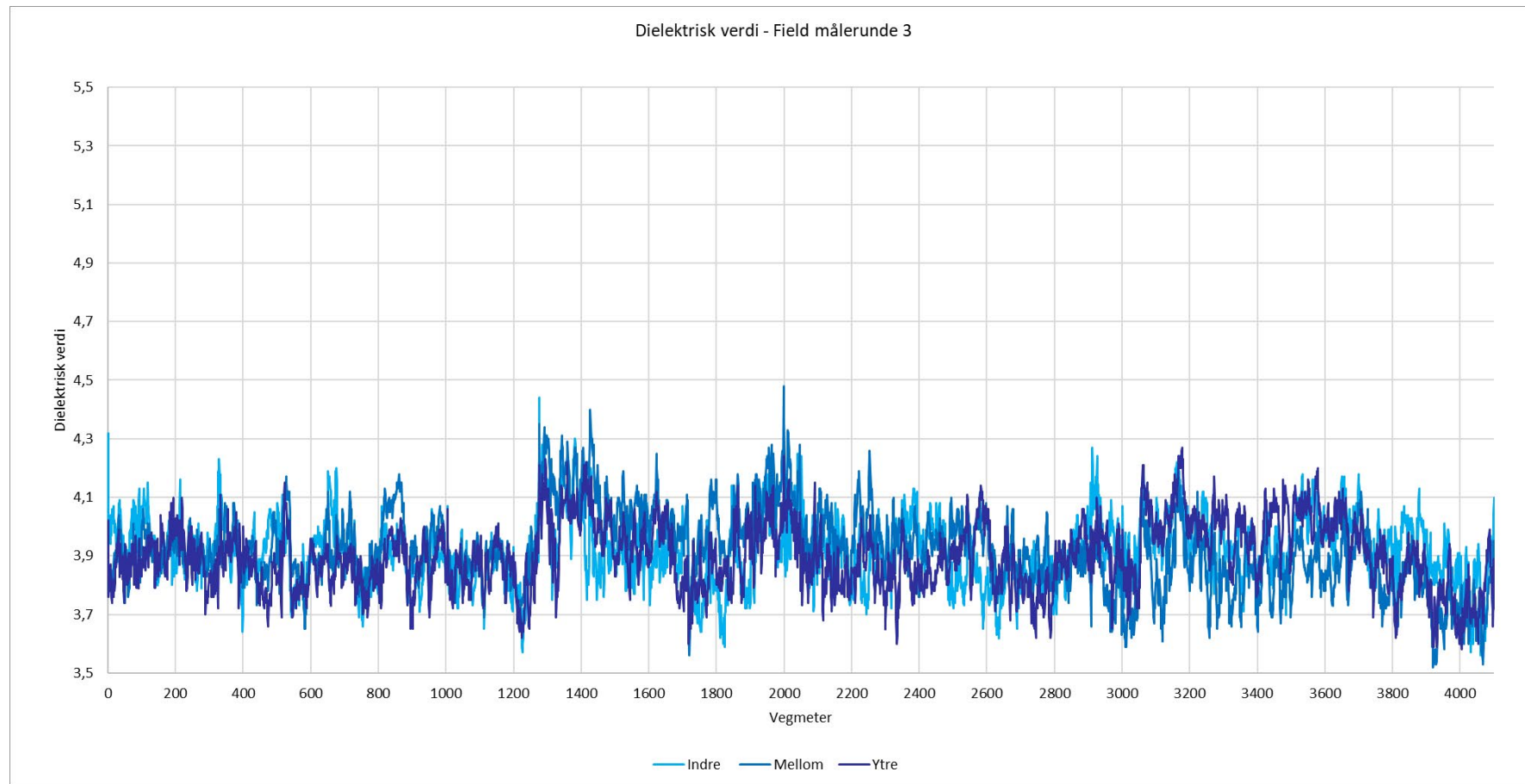
Figur 29 Dielektrisk verdi for alle målestriper på målerunde 1

h. Dielektrisk verdi Field målerunde 2



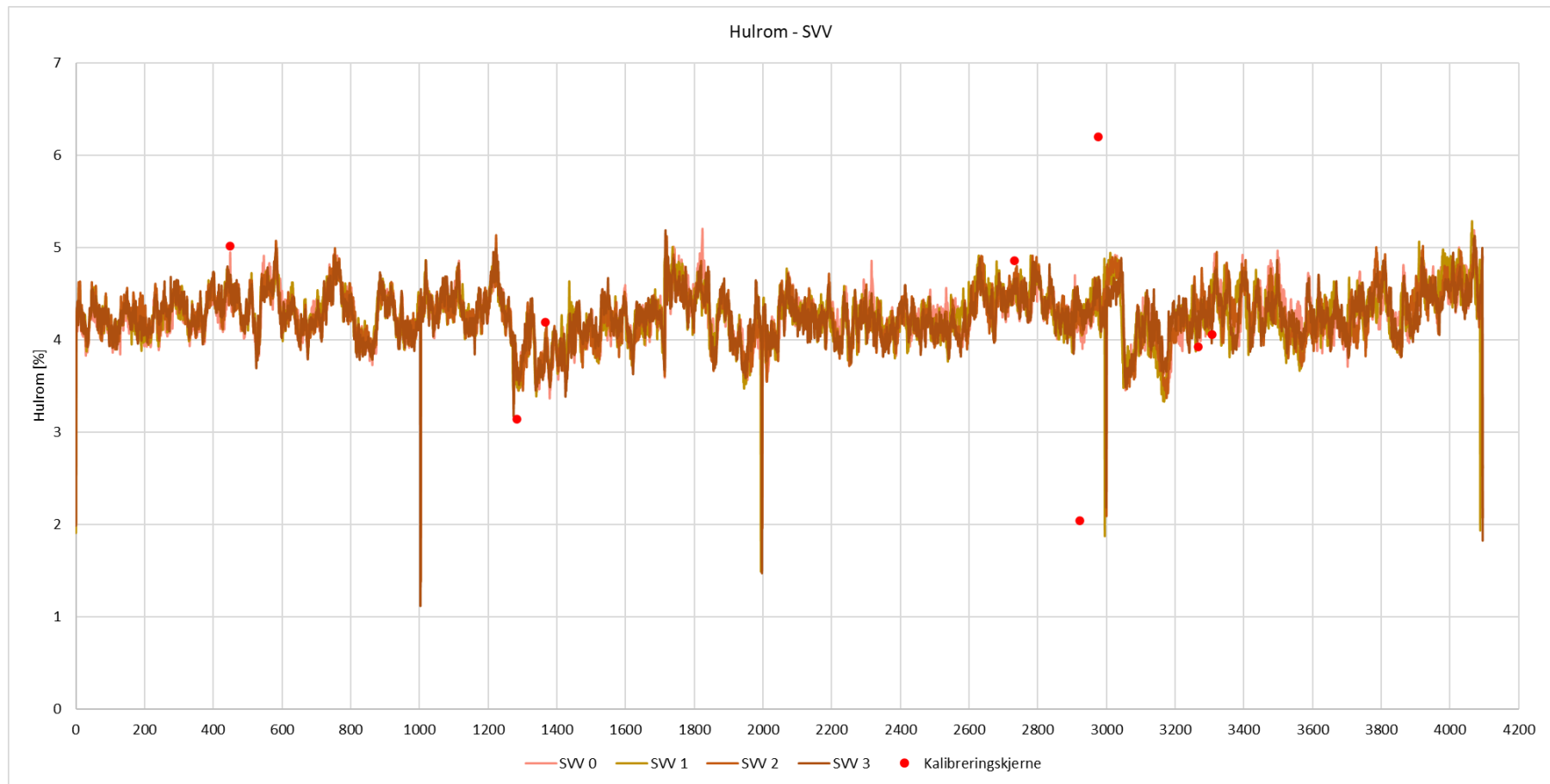
Figur 30 Dielektrisk verdi for alle målestriper på målerunde 2 for Field

i. Dielektrisk verdi Field målerunde 3



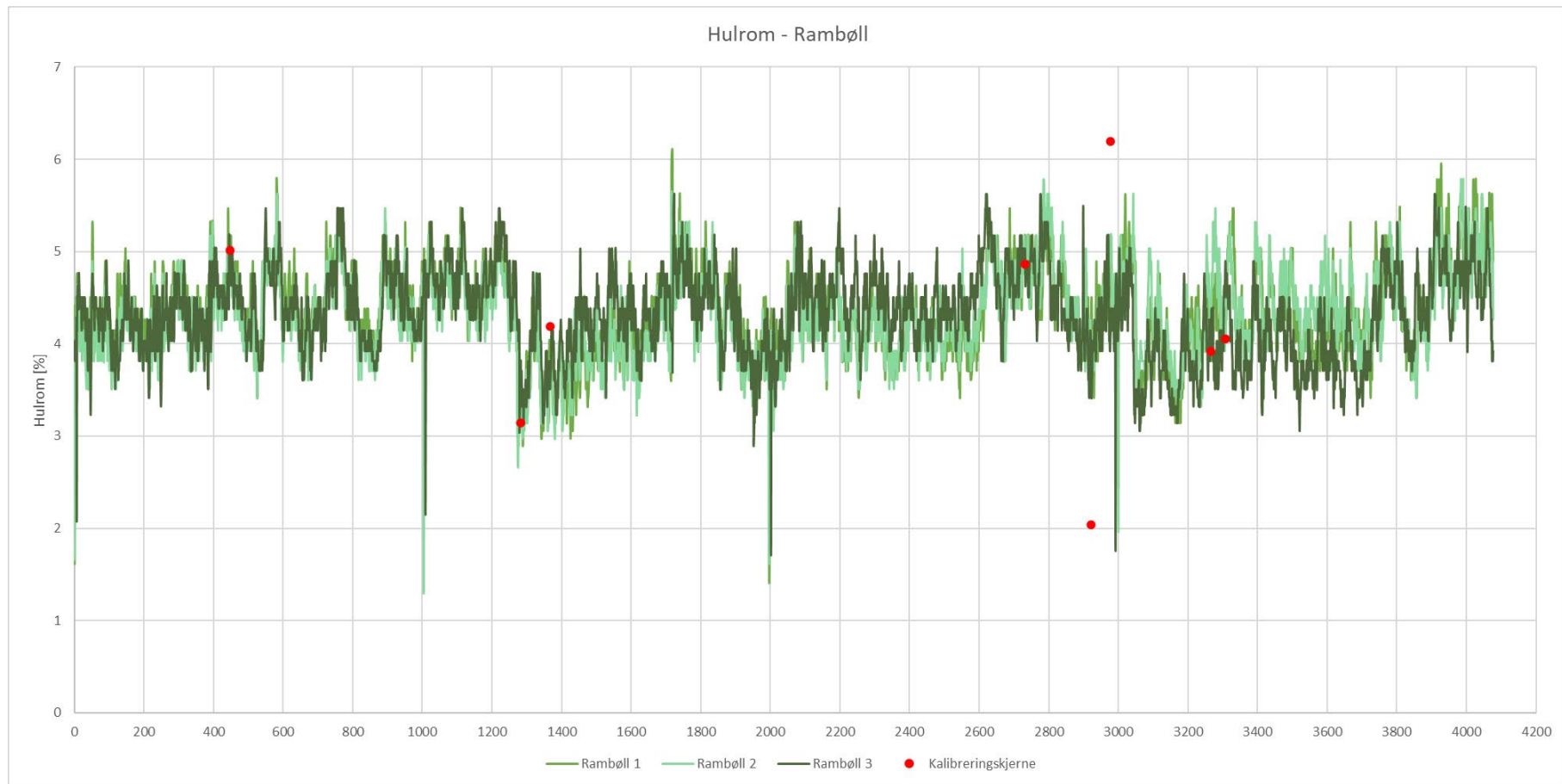
Figur 31 Dielektrisk verdi for alle målestriper på målerunde 3

j. Hulromsanalyse Statens vegvesen



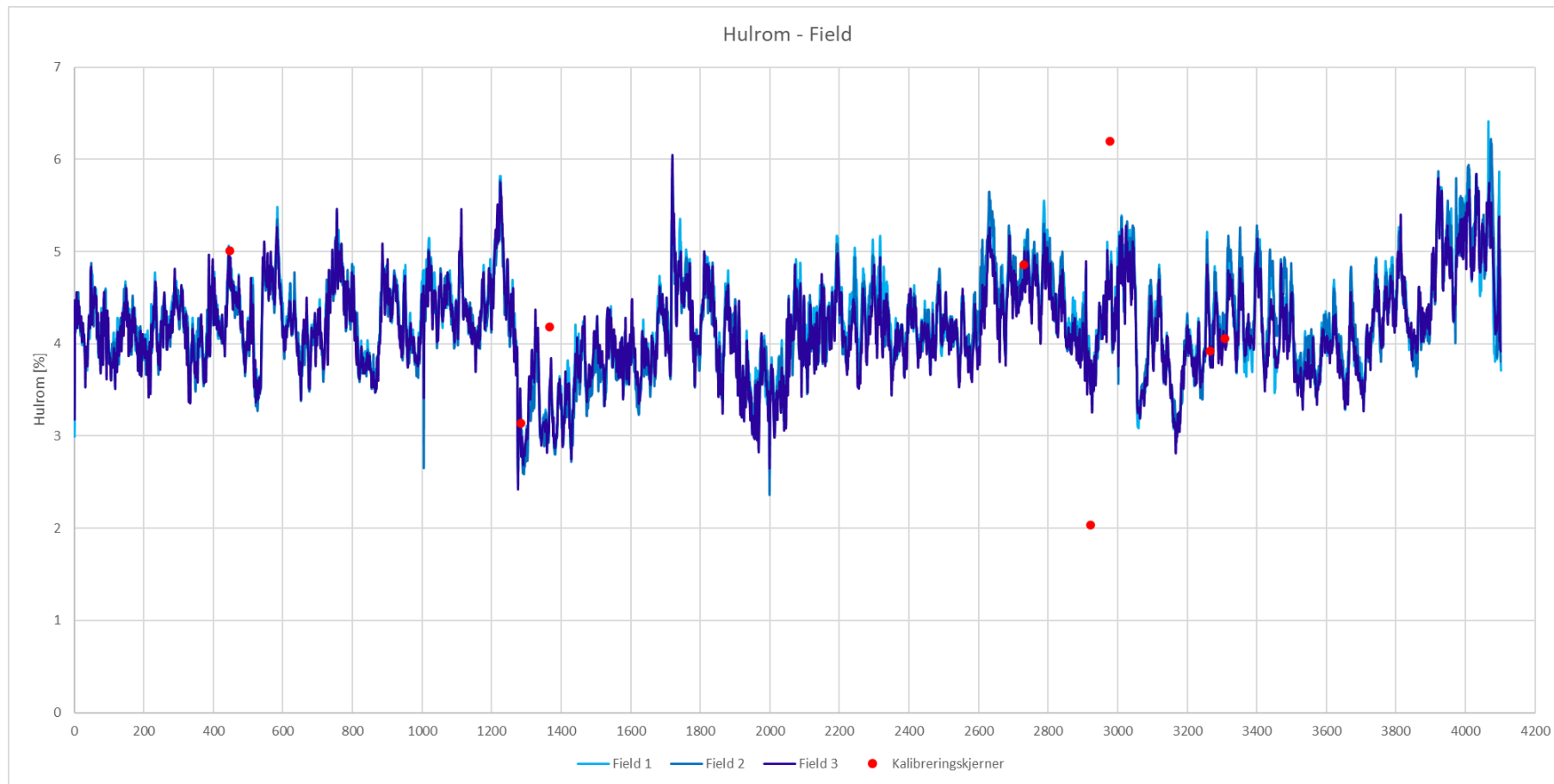
Figur 32 Hulrom Statens vegvesen for hver måling

k. Hulromsanalyse Rambøll



Figur 33 Hulrom Rambøll for hver måling

I. Hulromsanalyse Field



Figur 34 Hulrom Field for hver måling



Statens vegvesen
Pb. 1010 Nordre Ål
2605 Lillehammer

Tlf: (+47) 22 07 30 00

firmapost@vegvesen.no

ISSN: 1893-1162

vegvesen.no

Tryggere, enklere og grønnere reisehverdag