

# Målinger utført på 5G-basestasjoner, Elverum

**Dato for målinger:**

22. oktober 2019

**Målingen ble utført av:**

Atle Coward Markussen, Edith Helene Unander og Mats Møller Bæren

**Rapport skrevet av:**

Mats Møller Bæren

## Sammendrag

Det ble utført måling av feltnivå og effektetthet ved to av Telenor sine basestasjoner for 5G i Elverum. 5G-signalet hadde senterfrekvens 3650 MHz og båndbredde 80 MHz.

Pilotnettet for 5G på Elverum benytter antenner som interaktivt kan forme antennediagrammet til antennen. Det benyttes også tidsdupleks, som vil si at nedlinken og opplinken til basestasjonen benytter samme frekvens.

Det ble utført to sett med målinger per målepunkt. En måling uten trafikkbelastning og en måling med trafikkbelastning fra en 5G mobiltelefon. I målepunkt 1 ble det målt et feltnivå på 114,3 dB $\mu$ V/m og 0,7 mW/m<sup>2</sup> effektetthet og i målepunkt 2 ble det målt 112,4 dB $\mu$ V/m feltnivå og 0,6 mW/m<sup>2</sup> effektetthet. Med trafikk økte feltnivået til 121,0 dB $\mu$ V/m og 3,4 mW/m<sup>2</sup> effektetthet ved målepunkt 1 og 121,0 dB $\mu$ V/m feltnivå og 3,4 mW/m<sup>2</sup> effektetthet ved målepunkt 2.

Feltnivåene økte som forventet da det ble målt med trafikkbelastning av basestasjonen. Dette er en kombinasjon av økt signalering og økt antennevinning pga. interaktiv forming av antennediagrammet til antennene.

## Innholdsfortegnelse

1	Måleoppdrag Elverum .....	5
1.1	Bakgrunn .....	5
1.2	Målinger .....	5
1.3	Frekvenser .....	7
1.4	Måleutstyr .....	8
1.5	Målemetode .....	9
1.6	Måleusikkerhet .....	10
1.7	Tidsdupleks og forming av antennediagram .....	10
2	Resultater .....	11
2.1	Målepunkt 1 .....	12
2.2	Målepunkt 2 .....	13
3	Ekstrapolering av synkroniseringssignalet .....	14
4	Konklusjon .....	19
5	Referanser .....	19

---

## Figurliste

<b>Figur 1:</b> Målepunkt 1, 80 meter fra basestasjonen.....	5
<b>Figur 2:</b> Målepunkt 2, 138 meter fra basestasjonen.....	6
<b>Figur 3:</b> Basestasjon nr. 1. ....	6
<b>Figur 4:</b> Basestasjon nr. 2. ....	7
<b>Figur 5:</b> Feltstyrke [dB $\mu$ V/m] målt ved målepunkt 1 uten trafikk utført med spektrums analysator #1 og antenne #1.....	12
<b>Figur 6:</b> Feltstyrke [dB $\mu$ V/m] målt ved målepunkt 1 med trafikk utført med spektrums analysator #1 og antenne #1.....	12
<b>Figur 7:</b> Feltstyrke [dB $\mu$ V/m] målt ved målepunkt 2 uten trafikk utført med spektrums analysator #2 og antenne #2.....	13
<b>Figur 8:</b> Feltstyrke [dB $\mu$ V/m] målt ved målepunkt 2 med trafikk utført med spektrums analysator #2 og antenne #2.....	13
<b>Figur 9:</b> Synkroniseringssignalet på 7,2MHz ved målepunkt 1.....	14
<b>Figur 10:</b> Synkroniseringssignalet som funksjon av tid med total varighet på 142 $\mu$ s... 15	15
<b>Figur 11:</b> Maks hold måling av synkroniseringssignalet ved målepunkt 1 med «zero span» utført med spektrums analysator #1 og antenne #1.....	15
<b>Figur 12:</b> Maks hold måling av synkroniseringssignalet ved målepunkt 2 med «zero span» utført med spektrums analysator #2 og antenne #2.....	16
<b>Figur 13:</b> Repetisjon av synkroniseringssignalet hvert 20 ms. ....	16

## Tabeller

<b>Tabell 1:</b> Måleresultater for målepunkt 1 og 2.....	11
<b>Tabell 2:</b> Måleresultater for målepunkt 1 og 2, kompensert for 80% tidsdupleks. ....	11
<b>Tabell 3:</b> Maksimal utregnet feltstyrke og effektetthet ved målepunkt 1 basert på synkroniseringssignalet.....	18
<b>Tabell 4:</b> Maksimal utregnet feltstyrke og effektetthet ved målepunkt 2 basert på synkroniseringssignalet.....	18

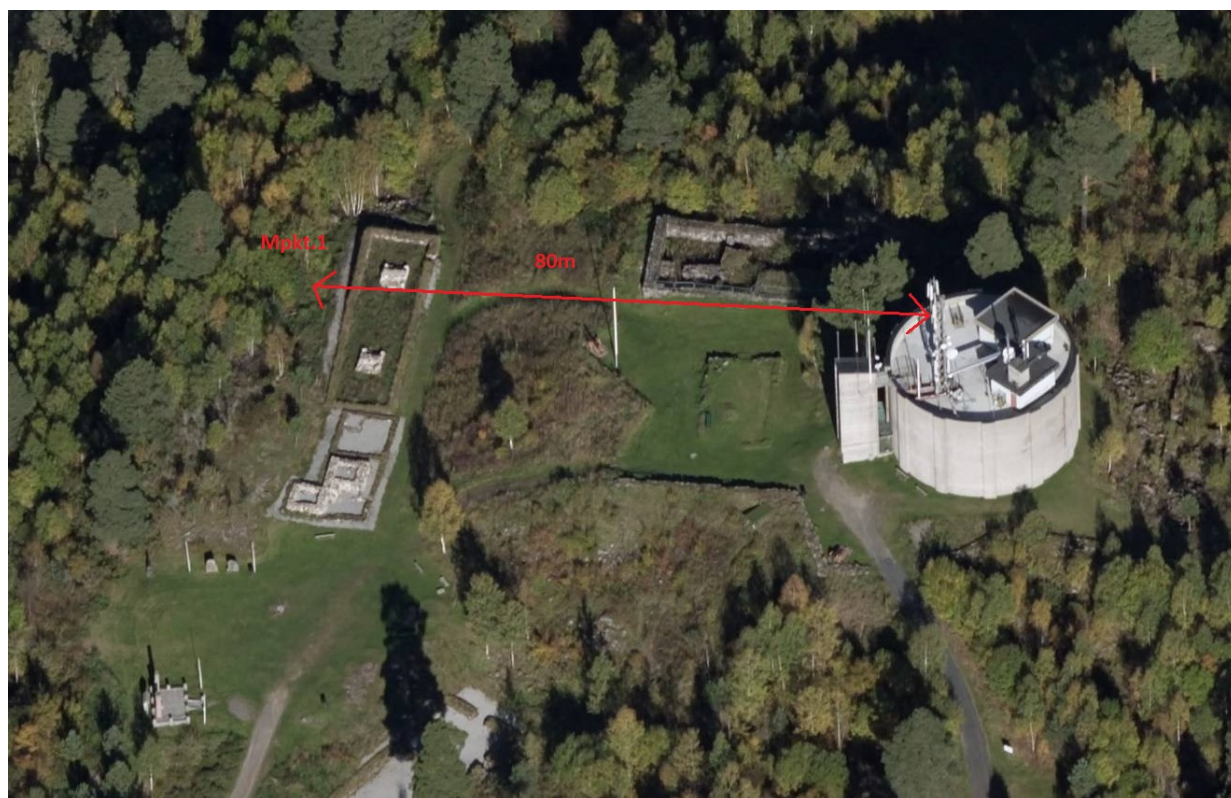
# 1 Måleoppdrag Elverum

## 1.1 Bakgrunn

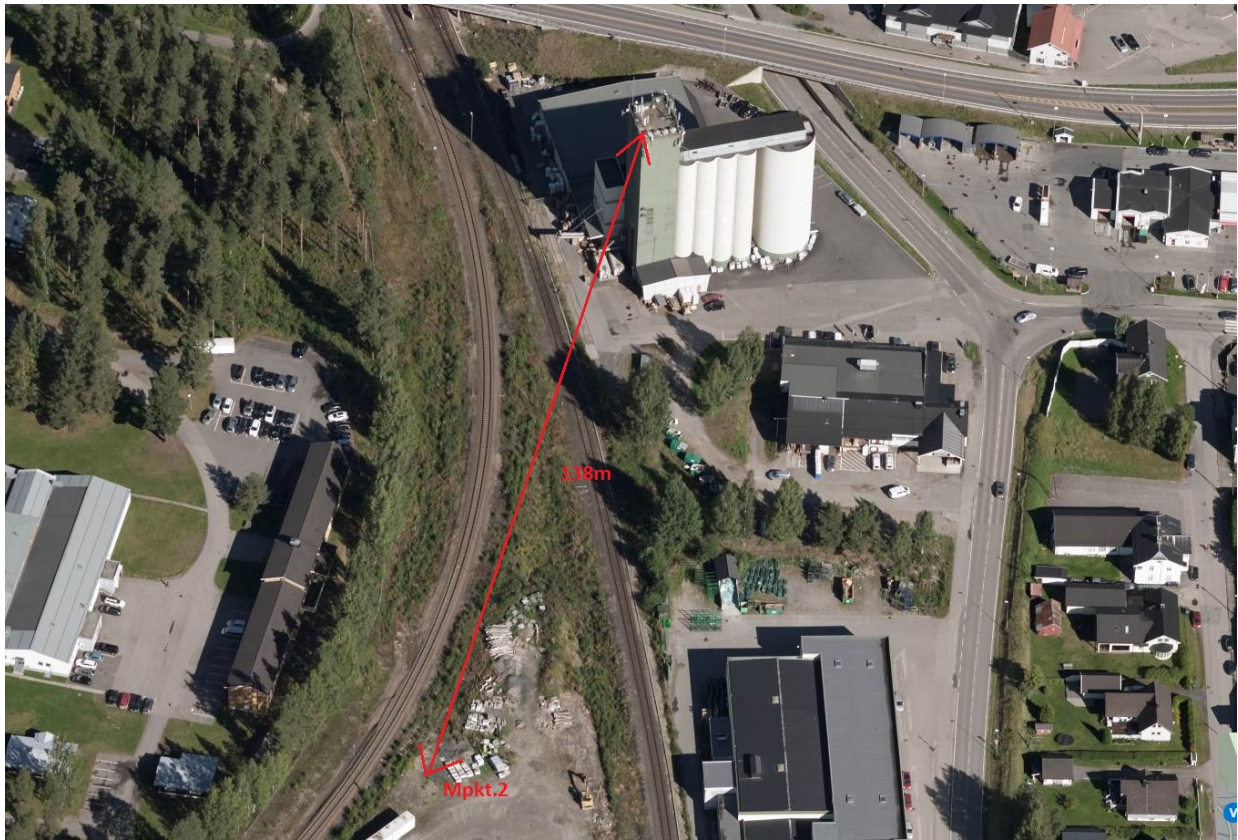
Telenor har satt opp et pilotnett med 5G basestasjoner i Elverum, og er i gang med de første testene på neste generasjons mobilnett. For at myndighetene skal være så godt forberedt som mulig før utrulling av kommersiell 5G, utførte Nasjonal kommunikasjonsmyndighet (Nkom) målinger på to 5G basestasjoner i samarbeid med Telenor og Direktoratet for strålevern og atomsikkerhet (DSA).

## 1.2 Målinger

Målingene ble utført onsdag 22. oktober 2019. Den ene basestasjonen var plassert på vanntårnet ved Christiansfjeld festning og den andre på siloen ved Vestheimgata 11. Det ble valgt to målepunkter, et 80 meter fra basestasjonen på vanntårnet og et 138 meter fra basestasjonen på siloen.



**Figur 1:** Målepunkt 1, 80 meter fra basestasjonen.



**Figur 2:** Målepunkt 2, 138 meter fra basestasjonen.



**Figur 3:** Basestasjon nr. 1.



**Figur 4:** Basestasjon nr. 2.

### **1.3 Frekvenser**

Basestasjonene sendte på senterfrekvens 3650 MHz med 80 MHz båndbredde. Det ble utført en kanaleffektmåling fra 3600 MHz til 3700 MHz.

## 1.4 Måleutstyr

Målingene ble utført med spektrumsanalysator og håndholdt antenne.

<b>Antenne #1</b>	
Produsent: Rohde & Schwarz	
Type: HE-300	Serie nr. 100451
Frekvensområde: 500 MHz – 7,5 GHz	

<b>Antenne #2</b>	
Produsent: Rohde & Schwarz	
Type: HE-300	Serie nr. 101294
Frekvensområde: 500 MHz – 7,5 GHz	

<b>Spektrumsanalysator #1</b>	
Produsent: Rohde & Schwarz	
Type: Spectrum Rider FPH	Serie nr. 100891
Frekvensområde: 5 kHz – 31 GHz	

<b>Spektrumsanalysator #2</b>	
Produsent: Rohde & Schwarz	
Type: Spectrum Rider FPH	Serie nr. 100890
Frekvensområde: 5 kHz – 31 GHz	



## 1.5 Målemetode

Viftemetoden IEC 62232 (IEC 2017, sweeping method) er en målemetode for å måle maksimalt feltnivå fra et signal. Metoden går ut på å bruke en håndholdt retningsbestemt antenne. Antennen er tilkoblet en spektrumanalysator og denne skal stå i funksjonen «Max Hold», slik at den maksimale verdien måles.

Det bør ikke måles for store volum av gangen, typisk en «kube» med størrelsen 1x1x1 meter. Det er tilstrekkelig å bevege antennen i 15-20 sekunder før verdien avleses. Det anbefales ikke å måle nærmere enn 50 cm fra vegger, tak og gulv eller større gjenstander av metall (biler etc.)

For å få med seg alle polarisasjonsretningene er det viktig at antennen beveges i alle retninger (sidelengs, på skrått, opp og ned) innenfor volumet med rolige bevegelser for både vertikal og horisontal polarisasjon.

Spektrumanalysatoren hadde følgende innstillinger:

- Senterfrekvens: 3650 MHz
- Span: 150 MHz
- Sweep time: 150 ms
- RBW: 100 kHz
- Detector: Average (RMS)
- Trace: Max hold
- Channel power bandwidth: 100 MHz
- Attenuator: 0 dB
- Transducer factor: Rohde & Schwarz HE-300 passiv, 500 MHz – 7,5 GHz

## 1.6 Måleusikkerhet

Måleutstyrets usikkerhet er typisk  $\pm 1,5$  dB, men om man legger 95 % konfidensintervall til grunn får man i verste fall mellom  $\pm 2,5$  og  $\pm 3,3$  dB av målt verdi, avhengig av frekvensområde.

Nivåvariasjoner som følge av påvirkning fra omgivelsene vil utgjøre en større usikkerhet enn instrument, kabler og måleantenne. De maksimale nivåene kan forholdsvis lett fanges ved å kombinere «Max Hold» med midling over flere målepunkter i samme område, eller små forflytninger av måleantennen. Man kan da komme ned i en usikkerhet fra omgivelsene på  $\pm 2$  dB.

Total måleusikkerhet summerer seg til mellom  $\pm 4,5$  dB og  $\pm 5,3$  dB. Den reelle verdi, avhengig av frekvens, kan således være 4,5 – 5,3 dB (ca. 2,8 – 3,4 ganger) høyere eller lavere enn den avleste verdien.

## 1.7 Tidsdupleks og forming av antennediagram

Pilotnettet for 5G på Elverum benytter antenner som kan interaktivt forme antennediagrammet til antennen (beamforming). Det vil si at antennene til basestasjonen kan gi økt antennevinning i retningen hvor brukerstyret befinner seg. Antennene som blir brukt på Elverum kan gi 4-8 dB økt antennevinning, avhengig av vinkelen mellom brukerstyret og antennene.

Det benyttes også tidsdupleks, som vil si at nedlinken og opplinken til basestasjonen benytter samme frekvens, men forskjellige tidsluker. Tidsbruken for nedlinken er 80% og opplinken er 20%.

## 2 Resultater

Det er stor forskjell på mengden signaler som sendes avhengig av trafikkbelastning og brukeratferd på 5G. På grunn av dette ble det valgt å gjøre to sett med målinger per målepunkt:

1. Måling uten trafikkbelastning
2. Måling med en 5G mobiltelefon plassert 5 m bak målepunktet. Denne telefonen belastet nettet ved å strøomme video. På denne måten får man generert mer signalering og samtidig eventuell interaktiv forming av stålingsdiagrammet til antennen til basestasjonen.

Resultatet fra målingene med og uten trafikk, vises i tabellen under.

Målepunkt	Senterfrekvens [MHz]	Kanalbåndbredde [MHz]	Feltnivå [dB $\mu$ V/m]	Effektetthet [mW/m <sup>2</sup> ]	Kommentar
1	3650	80	115,3	0,9	Uten trafikk
1	3650	80	122,0	4,2	Med trafikk
2	3650	80	113,4	0,6	Uten trafikk
2	3650	80	122,0	4,2	Med trafikk

**Tabell 1:** Måleresultater for målepunkt 1 og 2.

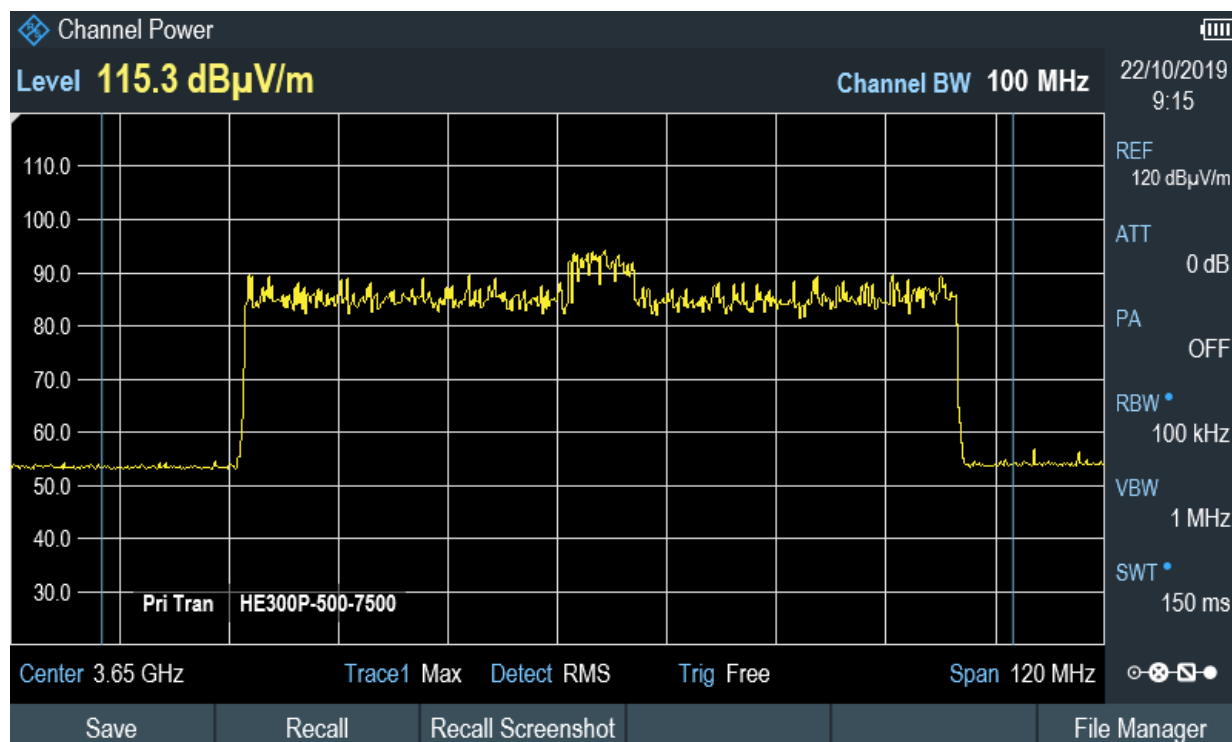
Målepunkt 1 har større vertikal vinkel mellom målepunktet og basestasjonen enn målepunkt 2. På grunn av dette er det rimelig å anta at antennevinningen er større ved målepunkt 2 enn målepunkt 1. Det er sannsynligvis derfor det målte feltnivået med trafikk er det samme, selv om avstandsforskjellen mellom målepunkt 1 og 2 er 58 meter.

Målingene er utført i «Maks Hold». Dvs. at det maksimale feltnivået blir registrert uavhengig av varighet på signalet. Siden det blir brukt tidsdupleks med 80% nedlink må dette kompenseres for. Resultatene er oppsummert i Tabell 2.

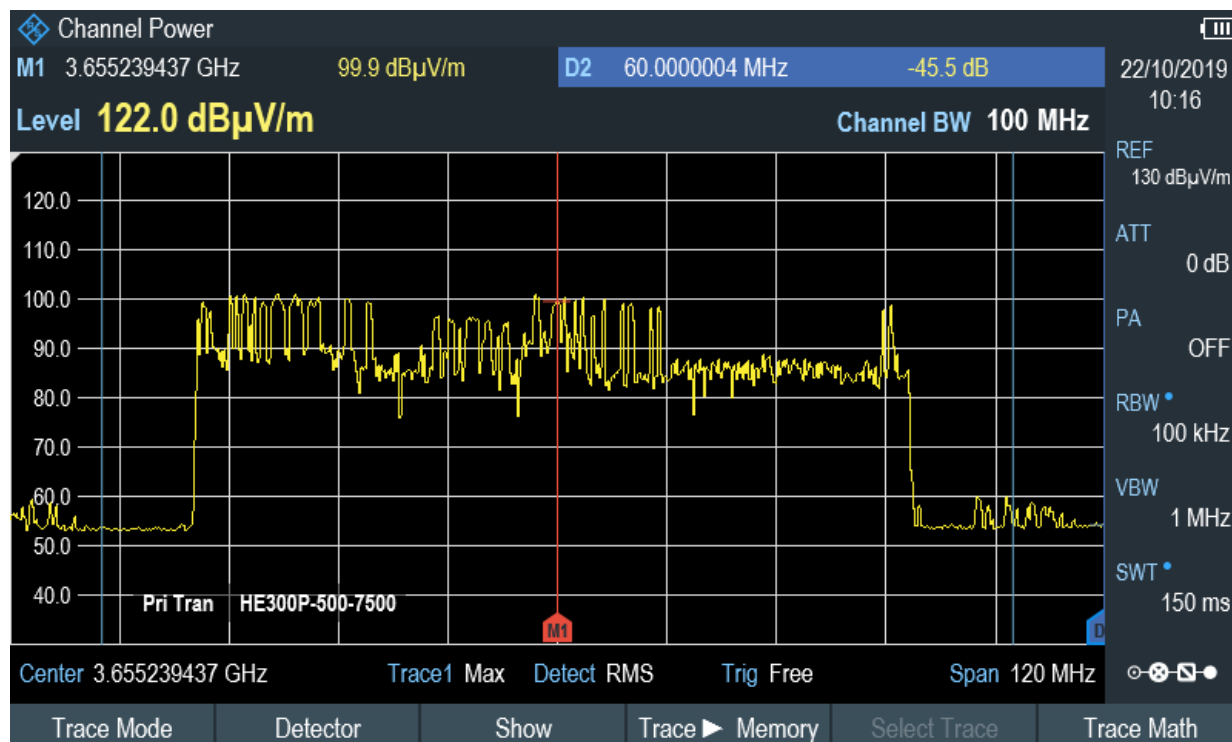
Målepunkt	Senterfrekvens [MHz]	Kanalbåndbredde [MHz]	Feltnivå [dB $\mu$ V/m]	Effektetthet [mW/m <sup>2</sup> ]	Kommentar
1	3650	80	114,3	0,7	Uten trafikk
1	3650	80	121,0	3,4	Med trafikk
2	3650	80	112,4	0,5	Uten trafikk
2	3650	80	121,0	3,4	Med trafikk

**Tabell 2:** Måleresultater for målepunkt 1 og 2, kompensert for 80% tidsdupleks.

## 2.1 Målepunkt 1

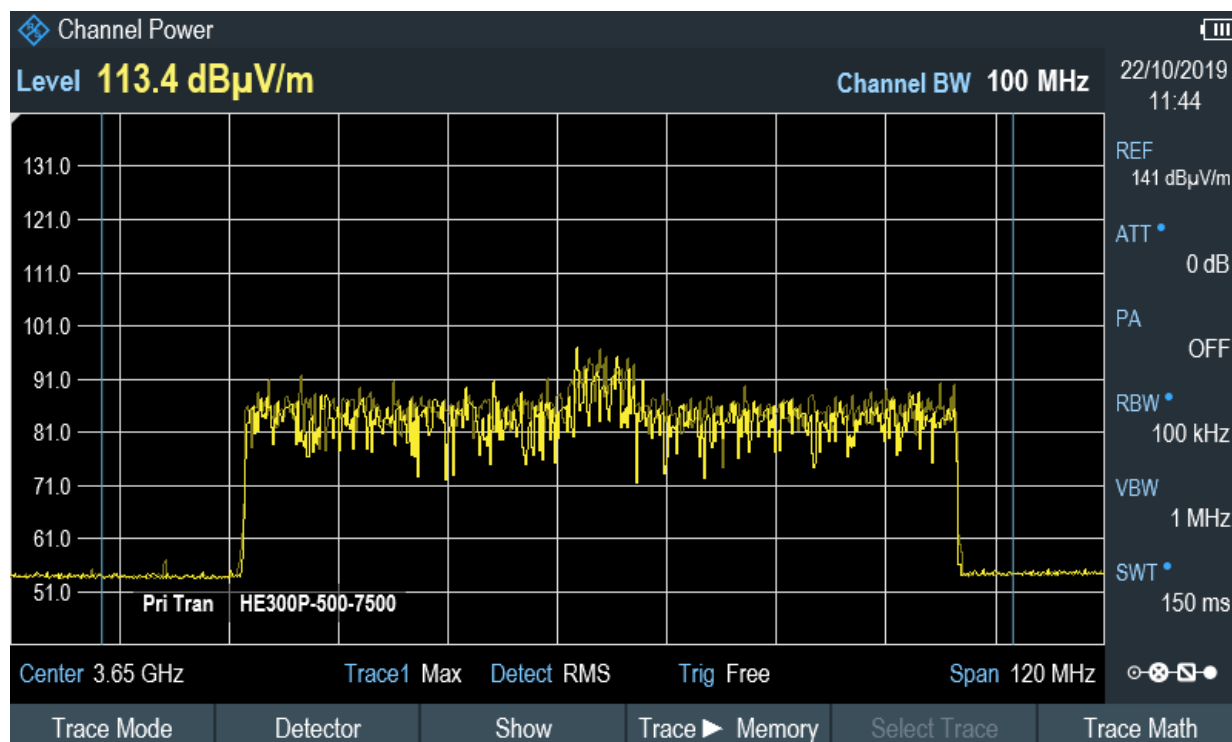


**Figur 5:** Feltstyrke [dB $\mu$ V/m] målt ved målepunkt 1 uten trafikk utført med spektrums analysator #1 og antenne #1.

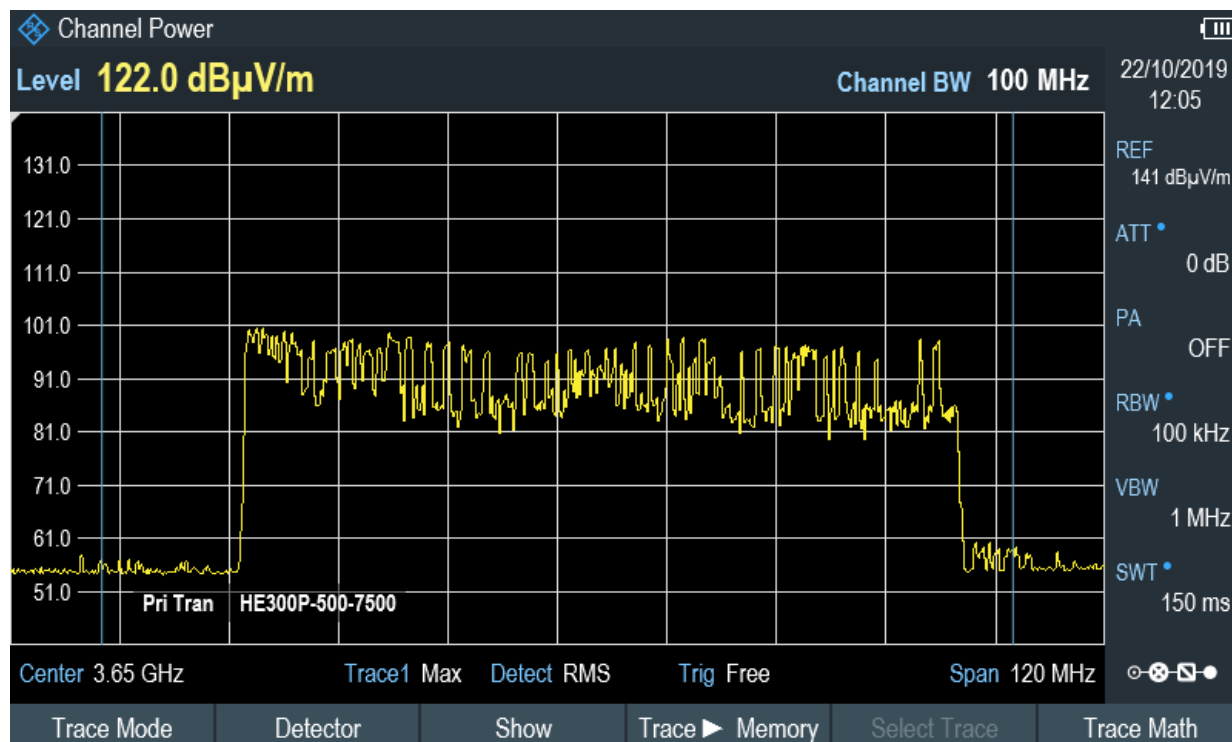


**Figur 6:** Feltstyrke [dB $\mu$ V/m] målt ved målepunkt 1 med trafikk utført med spektrums analysator #1 og antenne #1.

## 2.2 Målepunkt 2



**Figur 7:** Feltstyrke [dB $\mu$ V/m] målt ved målepunkt 2 uten trafikk utført med spektrums analysator #2 og antenne #2.



**Figur 8:** Feltstyrke [dB $\mu$ V/m] målt ved målepunkt 2 med trafikk utført med spektrums analysator #2 og antenne #2.

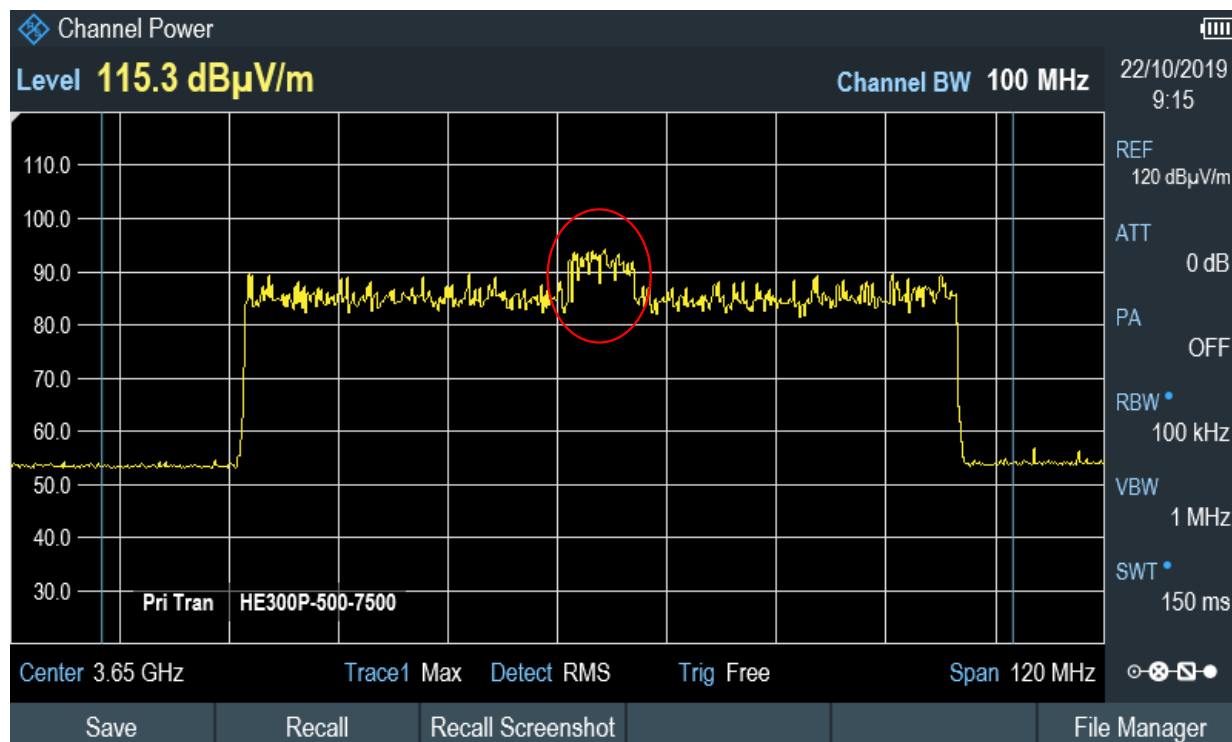
### 3 Ekstrapolering av synkroniseringssignalet

Synkroniseringssignalet er den eneste delen av 5G-signalet som sendes kontinuerlig. Synkroniseringssignalet består av 240 bærebølger. Avstanden mellom bærebølgene kan variere, men i pilotnettet i Elverum blir det brukt 30 kHz og utgjør 7,2 MHz (240 · 30 kHz) av 5G-signalet. Synkroniseringssignalet består igjen av fire deler som har en varighet på ~35.5 µs og total varighet på ~142 µs (Figur 10). Repetisjonssyklusen er 20 ms (Figur 13).

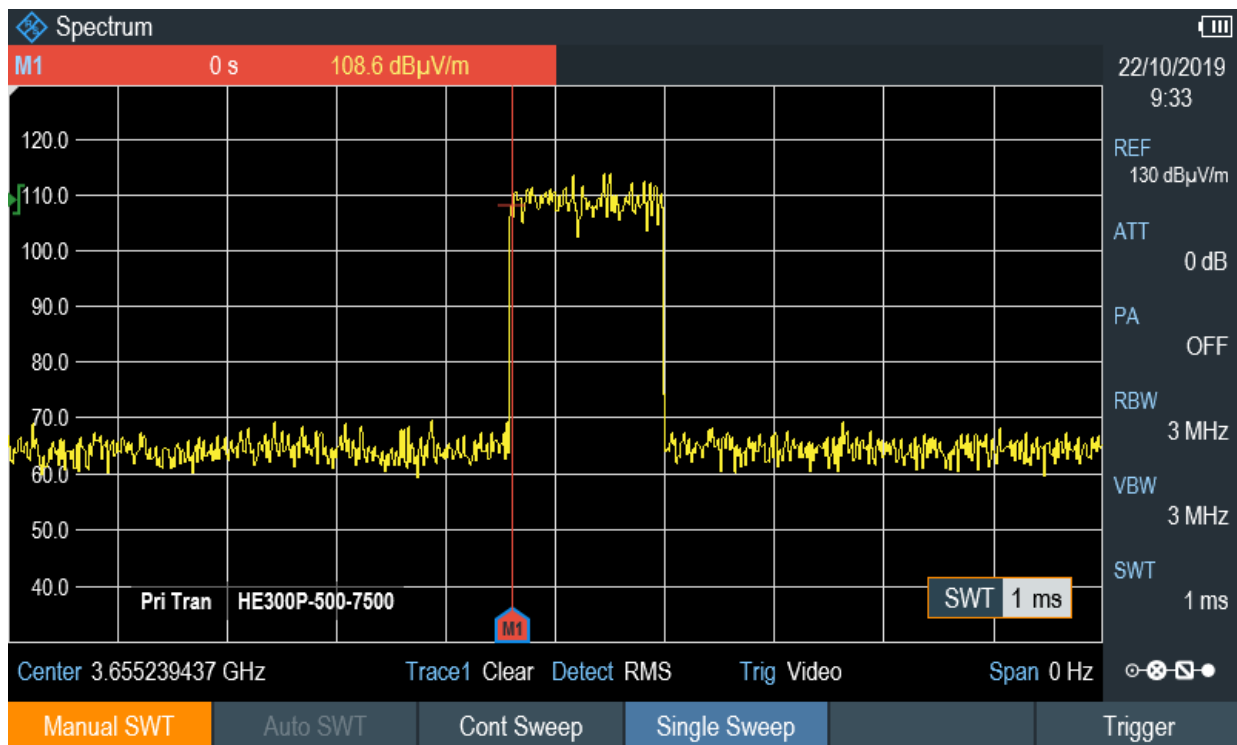
I «zero span» leses maks hold-nivået av til ~116 dBµV/m ved målepunkt 1. Dette er 6 dB for høyt pga. at sviptiden er veldig kort i forhold til RBW (resolution bandwidth). Nivået skulle vært ~110 dBµV/m. Dette ser man på nivået på synkroniseringssignalet i Figur 9, hvor sviptiden er lenger og nivået ligger på ~95 dBµV/m. Kompenserer man for RBW på nivået målt i «zero span» blir nivået:

$$110\text{dB}\mu\text{V}/\text{m} + 10 \cdot \log\left(\frac{100\text{ kHz}}{3\text{ MHz}}\right) = 95,2\text{ dB}\mu\text{V}/\text{m}$$

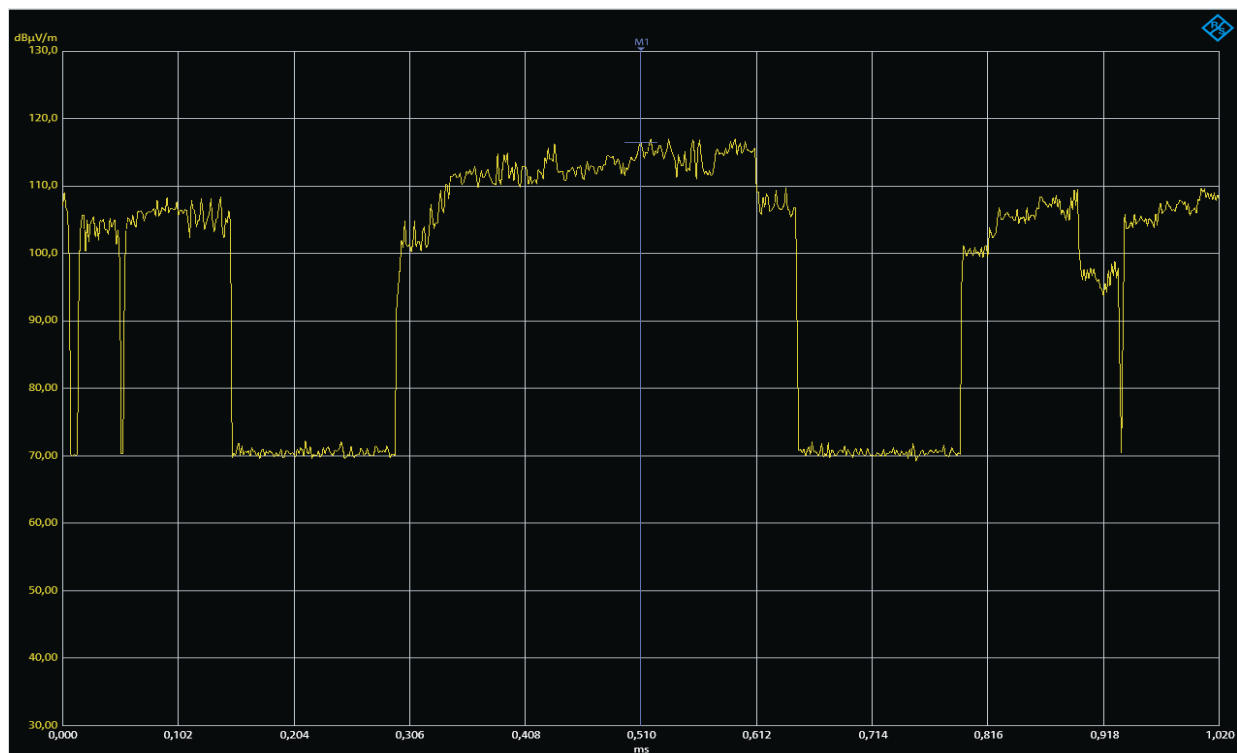
Man kompenserer for forskjellen i RBW pga. at nivået med RBW=3 MHz består av effekten til 100 bærebølger, mens nivået med RBW=100 kHz består av effekten til 3,3 bærebølger.



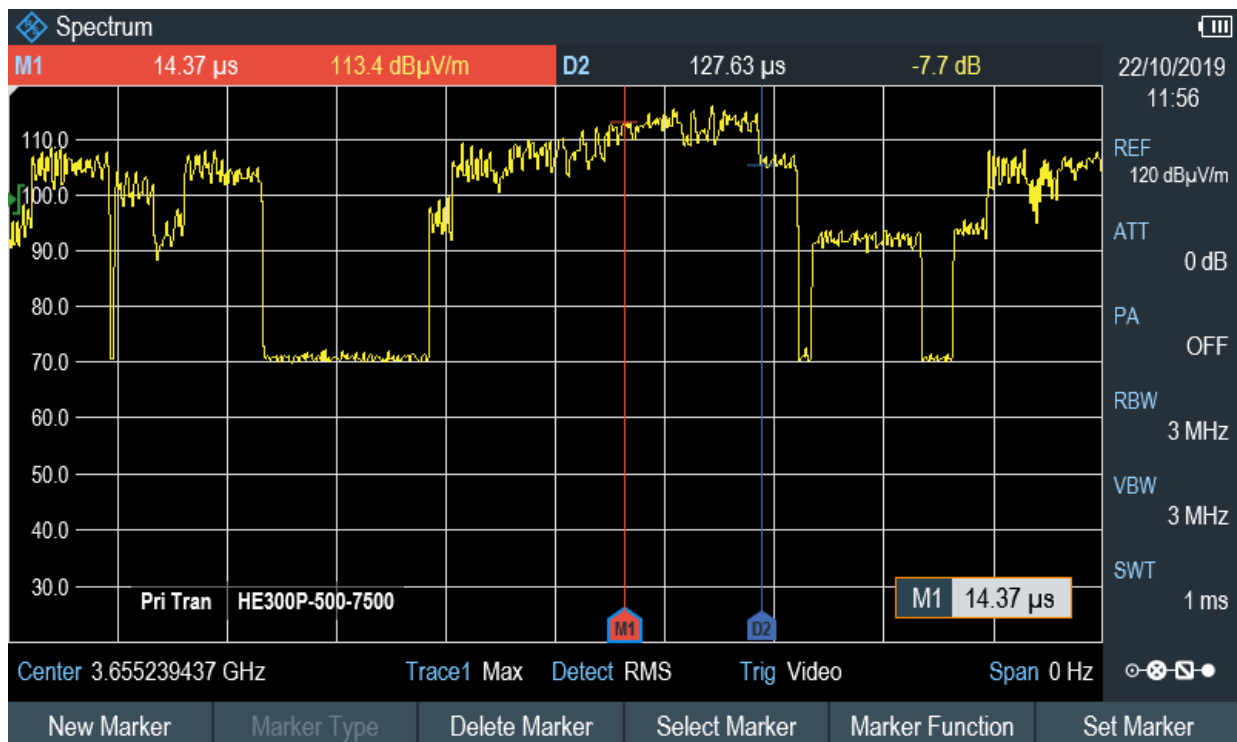
**Figur 9:** Synkroniseringssignalet på 7,2MHz ved målepunkt 1.



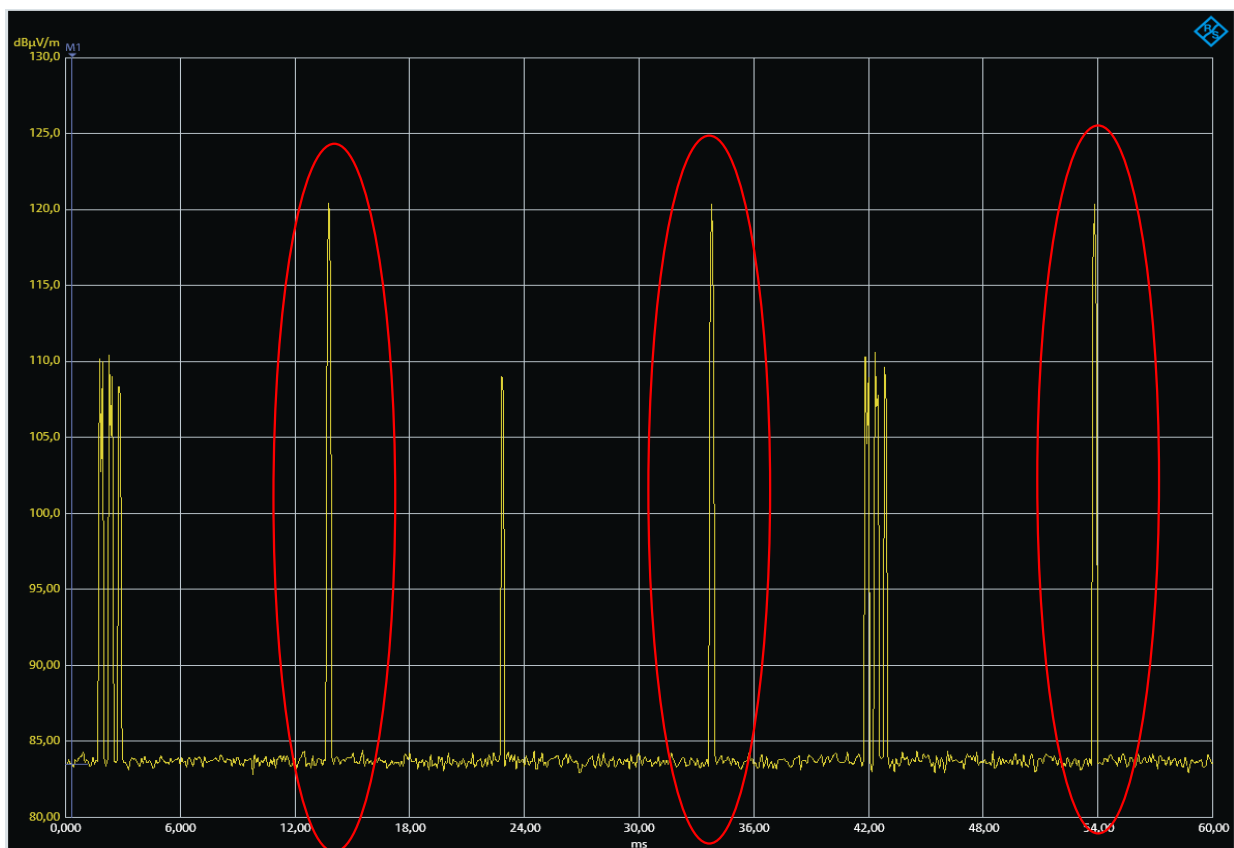
**Figur 10:** Synkroniseringssignalet som funksjon av tid med total varighet på 142µs.



**Figur 11:** Maks hold måling av synkroniseringssignalet ved målepunkt 1 med «zero span» utført med spektrums analysator #1 og antenne #1.



**Figur 12:** Maks hold måling av synkroniseringssignalet ved målepunkt 2 med «zero span» utført med spektrums analysator #2 og antenne #2.



**Figur 13:** Repetisjon av synkroniseringssignalet hvert 20 ms.



På grunn av at det er så stor forskjell på mengden signaler som sendes med og uten trafikk i 5G, har det begynt å komme litteratur på metoder for å beregne maksimal eksponering med utgangspunkt i synkroniseringssignalet. Dette pga. at synkroniseringssignalet er det eneste som sendes kontinuerlig i 5G. Det er også synkroniseringssignalet som er utgangspunktet for beregning av signalstyrke (RSRP) i 5G.

Narda Safety Test Solutions har publisert en artikkel [1] som beskriver ekstrapolering av synkroniseringssignalet i 5G for å beregne maksimal eksponering. Det er publisert forskjellig litteratur for ekstrapolering av 4G-signalet som også tar utgangspunkt i synkroniseringssignalet. Siden 4G-signalet er et OFDM-signal kan metoden også brukes i 5G, der følgende formel blir brukt:

$$E_{maks} = E_{m\ddot{a}lt} \cdot \frac{N_{sc}}{\frac{RBW}{CP}} \cdot k_{TDD} \cdot k_{system}$$

der:

$E_{maks}$  = maksimal utregnet feltstyrke [V/m]

$E_{m\ddot{a}lt}$  = målt feltstyrke [V/m]

$RBW$  = målebåndbredde [Hz]

$CP$  = Avstand mellom bærebølgene [Hz]

$N_{sc}$  = totalt antall bærebølger

$k_{TDD}$  = sendetid nedlink/opplink

$k_{system}$  = andre faktorer som f.eks. stråleforming

Det ble utført maks hold-målinger i «zero span» ved målepunkt 1 og 2 som vist i Figur 11 og Figur 12. Avlest nivå må reduseres med 6 dB pga. at sviptiden er for kort i forhold til RBW. Det må også kompenseres for at  $RBW=3$  MHz, men man kan også bruke nivået på synkroniseringssignalet i Figur 5 og Figur 7. Sviptiden brukt på disse målingene er lang nok. Feltnivået avlest i disse målingene ble deretter brukt i formelen over for å beregne maksimal feltstyrke. Det blir brukt 80 MHz signalbåndbredde og 30 kHz avstanden mellom bærebølgene i Elverum. Totalt antall bærebølger følger da av standarden slik at  $N_{sc} = 2604$ . Maksimal feltstyrke er beregnet for  $k_{system} = 0,4$  og  $8$  dB. Resultatene er oppsummert i Tabell 3 og Tabell 4.

$E_{\text{målt}}$ [dB $\mu$ V/m]	$E_{\text{målt}}$ [V/m]	$k_{\text{system}}$ [dB]	$E_{\text{maks}}$ [dB $\mu$ V/m]	$E_{\text{maks}}$ [V/m]	$P_{\text{maks}}$ [mW/m <sup>2</sup> ]
95,2	0,06	0	123,2	1,44	5,53
95,2	0,06	4	127,2	2,29	13,88
95,2	0,06	8	131,2	3,63	34,87

**Tabell 3:** Maksimal utregnet feltstyrke og effekttetthet ved målepunkt 1 basert på synkroniseringssignalet.

$E_{\text{målt}}$ [dB $\mu$ V/m]	$E_{\text{målt}}$ [V/m]	$k_{\text{system}}$ [dB]	$E_{\text{maks}}$ [dB $\mu$ V/m]	$E_{\text{maks}}$ [V/m]	$P_{\text{maks}}$ [mW/m <sup>2</sup> ]
93,2	0,05	0	121,2	1,15	3,49
93,2	0,05	4	125,2	1,82	8,76
93,2	0,05	8	129,2	2,88	22,00

**Tabell 4:** Maksimal utregnet feltstyrke og effekttetthet ved målepunkt 2 basert på synkroniseringssignalet.

Maksimal eksponering for målepunkt 1 ble beregnet til 123,2 dB $\mu$ V/m uten forming av antennediagrammet og 131,2 dB $\mu$ V/m med maksimal forming av antennediagrammet.

Maksimal eksponering for målepunkt 2 ble beregnet til 121,2 dB $\mu$ V/m uten forming av antennediagrammet og 129,2 dB $\mu$ V/m med maksimal forming av antennediagrammet.

## 4 Konklusjon

Det ble målt et feltnivå (inkl. korreksjon for tidsdupleks) på 114,3 dB $\mu$ V/m og 0,7 mW/m<sup>2</sup> effektetthet ved målepunkt 1. Ved målepunkt 2 ble det målt 112,4 dB $\mu$ V/m feltnivå og 0,5 mW/m<sup>2</sup> effektetthet. Med trafikk økte feltnivå til 121,0 dB $\mu$ V/m og 3,4 mW/m<sup>2</sup> effektetthet ved målepunkt 1 og 121,0 dB $\mu$ V/m feltnivå og 3,4 mW/m<sup>2</sup> effektetthet ved målepunkt 2.

Feltnivået økte som forventet da det ble målt med trafikkbelastning av basestasjonen. Dette er en kombinasjon av økt signalering og økt antennevinning pga. interaktiv forming av antennediagrammet til antennen.

Beregningene av maksimal eksponering vha. ekstrapolering av synkroniseringssignalet stemmer godt overens med kanaleffekt-målingene gjort med trafikkbelastning av nettet. Beregningene er som forventet noe høyere enn målingene når man legger til antennevinning pga. interaktiv forming av antennediagrammet. Det er fordi målingene gjort med trafikk ved bruk av en mobiltelefon sannsynligvis ikke har vært maksimal belastning av basestasjonen. Det er også uvisst hvor stor antennevinningen var pga. interaktiv forming av antennediagrammet da målingene med trafikk ble utført. I følge databladet kan antennevinningen variere mellom 4 og 8 dB avhengig av vinkelen mellom brukerutstyret og basestasjonen.

## 5 Referanser

1. <https://insights.ovid.com/crossref?an=00004032-201911000-00007>