



Vlaanderen
is omgeving

5G stralingsmetingen

- ter ondersteuning van meetprocedure voor het meten van elektromagnetische straling met de breedbandmeter ter controle van de geplande nieuwe Vlaamse stralingsnormen

5G stralingsmetingen - ter ondersteuning van meetprocedure voor het meten van elektromagnetische straling met de breedbandmeter ter controle van de nieuwe Vlaamse stralingsnormen

In deze studie wordt de meetprocedure gevalideerd zoals die door Departement Omgeving zal gevolgd worden tijdens controlemetingen, specifiek voor signalen afkomstig van 5G NR 3,5 GHz Massive MIMO antennes. Verder genoteerd als 5G NR. Het doel van de metingen is om na te gaan of de resultaten van de breedbandmeter een indicatie zijn van het te verwachten totale veld en of deze probe kan gebruikt worden om na te gaan of er al dan niet gedetailleerde smalbandmetingen nodig zijn ter controle van de normering voor elektromagnetische straling van vast en tijdelijk opgestelde zendantennes met een frequentie tussen 100 kHz en 300 GHz

De verantwoordelijkheid voor de inhoud van dit rapport ligt bij de auteurs.

COLOFON

Verantwoordelijke uitgever

Ivo Palmers
Departement Omgeving
Koning Albert II-laan 15 bus 553, 1210 Brussel
www.omgevingvlaanderen.be

Een uitgave van het Departement Omgeving, afdeling Vlaams Planbureau voor Omgeving
vpo.omgeving@vlaanderen.be

Ing. Leen Verloock – IMEC WAVES – Universiteit Gent
Ir. Samuel Goedgebeur – IMEC WAVES – Universiteit Gent
Ing. Kenneth Deprez – IMEC WAVES – Universiteit Gent
Prof. Dr. Ir. Wout Joseph – IMEC WAVES – Universiteit Gent

Publicatiedatum

23/5/2024

Depotnummer

D/2024/3241/190

PARTNERS



Rapport: 5G stralingsmetingen

ter ondersteuning van meetprocedure voor het meten van
elektromagnetische straling met de breedbandmeter ter controle
van de geplande nieuwe Vlaamse stralingsnormen.

In opdracht van Vlaamse Overheid Departement Omgeving
(OMG_VPO_2022_opdrachtBW_010 - Ref.nr. 22.004.OPP19609)

Referentie: INTEC/VPO/2022/1

<i>Auteurs</i>	Ing. Leen Verloock, Ir. Samuel Goegebeur, Ing. Kenneth Deprez, prof. Dr. Ir. Wout Joseph
<i>Datum rapport</i>	21/12/2023
<i>Datum metingen</i>	23-24-25/05/2023
<i>Contact</i>	IMEC – WAVES – Universiteit Gent Tech Lane Ghent Science Park iGent, Technologiepark – Zwijnaarde 126 9052 Gent tel. +32-9-2643321 – fax +32-9-2649969

INHOUDSTAFEL

Inhoudstafel.....	2
1 Inleiding.....	3
2 Werkwijze.....	3
2.1 Meetapparatuur.....	3
2.2 Gebruikerstoestellen.....	5
3 Meetmethode	5
3.1 Breedbandmetingen	5
3.2 Smalbandmetingen	6
4 Meetprocedure	7
5 Meetresultaten.....	8
5.1 Plaats van de metingen.....	8
5.2 Actief gebruikerstoestel	10
5.3 Breedbandmetingen versus smalbandmetingen	10
5.3.1 Werkwijze.....	10
5.3.2 Resultaten.....	11
5.4 Oplijsting opmerkingen en suggesties voor de meetprocedure voor 5G NR antennes 14	
6 Conclusies	16
Referenties.....	17

1 INLEIDING

In dit rapport wordt de meetprocedure gevalideerd zoals die door Departement Omgeving zal gevolgd worden tijdens controlemetingen, specifiek voor signalen afkomstig van 5G NR 3,5 GHz Massive MIMO antennes. Verder genoteerd als 5G NR.

De huidige meetprocedure bestaat erin om in de omgeving van de meetlocatie te scannen naar de hoogste blootstellingswaarde en hier een meting uit te voeren met de breedbandmeter. Als de meetwaarde hoger is dan de drempel, dan is er mogelijk een normoverschrijding en is een uitgebreide meting met de spectrumanalyser nodig. Actieve antennesystemen die voor de uitrol van 5G gebruikt worden, vormen een bundel richting een of meerdere gebruikers. Die bundel wordt enkel gevormd als de gebruiker surft of belt met zijn smartphone. Zonder actief gebruikstoestel is de blootstelling zeer beperkt. Tijdens dit meetonderzoek worden de mogelijkheden onderzocht om controlemetingen bij actieve antennesystemen uit te voeren door gebruik te maken van een actief gebruikerstoestel (smartphone). Specifiek worden de resultaten van de breedbandmeter vergeleken met deze van een frequentie-selectieve meter (nl. spectrumanalyser).

Het doel van de metingen is om na te gaan of de resultaten van de breedbandmeter een indicatie zijn van het te verwachten totale veld en of deze probe kan gebruikt worden om na te gaan of er al dan niet gedetailleerde smalbandmetingen nodig zijn ter controle van de normering voor elektromagnetische straling van vast en tijdelijk opgestelde zendantennes met een frequentie tussen 100 kHz en 300 GHz [1].

De meetprocedure met de breedbandmeter voor 5G signalen zoals die in [3] is gepubliceerd zal hiervoor worden toegepast. Tijdens de metingen i.h.k.v. deze opdracht, werden naast breedbandmetingen ook frequentie-selectieve metingen uitgevoerd.

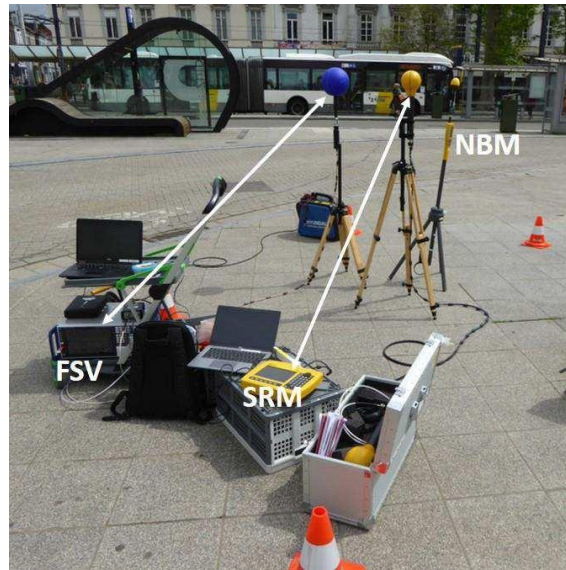
2 WERKWIJZE

2.1 MEETAPPARATUUR

In deze studie worden breedbandige metingen en smalbandige of frequentie-selectieve metingen uitgevoerd. De gebruikte apparatuur wordt beschreven in Tabel 1. Figuur 1 toont een foto van de meetapparatuur.

Gebruik	Setup	Apparatuur		
Breedbandige metingen	NBM	<i>Breedbandig afleestoestel</i>		
		Type	Narda NBM-550	
		<i>Meetprobe</i>		
		Type	Narda EF 0691	
Dynamisch bereik	0.2 mV/m – 650 V/m			
Frequentiebereik	100 kHz – 6 GHz			
Spectrale metingen	FSV	<i>Spectrum analyzer I</i>		
		Type	Rohde & Schwarz (R&S) FSV-3030	
		Frequentiebereik	10 Hz – 30 GHz	
		<i>Tri-axiale antenne I</i>		
		Type	Clampco Sistemi AT6000	
		Dynamisch bereik	0.35 mV/m – 300 V/m	
	Frequentiebereik	400 MHz – 6 GHz		
	SRM	<i>Spectrum analyzer II</i>		
		Type	Narda SRM-3006	
		Frequentiebereik	9 kHz – 6 GHz	
<i>Tri-axiale antenne II</i>				
Type		Narda three-axis antenna 3501/03		
Dynamisch bereik		0.2 mV/m – 200 V/m		
Frequentiebereik	27 MHz – 3 GHz			
	<i>Tri-axiale antenne III</i>			
	Type	Narda three-axis antenna 3502/01		
	Dynamisch bereik	0.14 mV/m – 160 V/m		
	Frequentiebereik	420 MHz – 6 GHz		

Tabel 1: Gebruikte meetapparatuur voor de breedbandige metingen en voor de (smallbandige) spectrale metingen.



Figuur 1: Foto van de gebruikte meetapparatuur nl. de breedbandmeter (NBM) voor de breedbandmetingen en de FSV en SRM voor de spectrale metingen.

2.2 GEBRUIKERSTOESTELLEN

Door het Departement Omgeving werden 3 verschillende gebruikstoestellen ter beschikking gesteld elk met een SIM- kaart incl. 5G abonnement met onbeperkte data van de verschillende operatoren (Proximus, Orange en Telenet). Daarnaast beschikt IMEC-WAVES ook over een smartphone met een Proximus SIM-kaartje met onbeperkte data. Hierdoor is het mogelijk om voor het signaal van Proximus metingen uit te voeren met 2 gebruikstoestellen. De smartphone van IMEC-WAVES is bovendien ook uitgerust met de R&S Qualipoc applicatie waarmee een groot aantal netwerkparameters kunnen worden gemonitord (bijv. voor 5G: de frequentie van de synchronisatie-signalen ook wel SSB-frequentie genoemd, de beam- index).

3 MEETMETHODE

3.1 BREEDBANDMETINGEN

Met de breedbandige probe (Narda NBM-550 + EF 0691) wordt het totale elektrische veld opgemeten over de volledige frequentieband van 100 kHz tot 6 GHz. De breedbandprobe is verbonden met het meettoestel (Narda NBM-550), waarop de rms (root mean square) waarde van het totale elektrisch veld kan afgelezen worden. Deze waarde wordt bekomen uit de verschillende orthogonale componenten (E_x , E_y , E_z) met volgende formule:

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2} \begin{bmatrix} V \\ m \end{bmatrix} \quad (1)$$

Op het meettoestel kan de maximale ($E_{max,Narda/PMM}$), de minimale ($E_{min,Narda/PMM}$) en de rms gemiddelde ($E_{rms,Narda/PMM}$) elektrische veldwaarde opgemeten worden. De tijdsduur waarover deze rms elektrische veldwaarde opgemeten wordt, kan ingesteld worden tussen 4 seconden en 30 minuten. Typisch wordt uitgemiddeld over 30 minuten [1]. De meetonzekerheid [5] (enkel meetapparatuur) van de gebruikte breedbandprobe bedraagt typisch 4 dB voor het vermogen (P). Dit komt overeen met een afwijking van -37 % tot +58 % voor het elektrisch veld.

In de praktijk echter is een meting met een uitmiddeling over 30 minuten heel tijdrovend waardoor er per positie gemeten wordt tot de maximale en de rms gemiddelde veldwaarden stabiel zijn (typisch gedurende 20 seconden). Deze gemiddelde veldwaarde wordt als representatief beschouwd voor een uitmiddeling over 30 minuten.

3.2 SMALBANDMETINGEN

Om smalbandige, frequentie-selectieve metingen te kunnen uitvoeren werd in deze studie gebruik gemaakt van zowel de FSV als de SRM-opstellingen (Tabel 1). Beide opstellingen bestaan uit een spectrumanalyzer (SA) in combinatie met een meetprobe die in een niet-conductieve houder wordt bevestigd en gepositioneerd wordt op de plaats waar we het elektrisch veld willen meten. De spectrumanalyzer geeft het gemeten vermogen P (in dBm) bij elke frequentie weer, opgemeten over de ingangsimpedantie (50Ω). Doordat de antennes gekalibreerd zijn, zodat de antennefactoren (AF) gekend zijn, kunnen we met de volgende formule de elektrische veldsterkte E (in V/m) berekenen:

$$E = \sqrt{50} 10^{\frac{P-30+AF+CL}{20}} \text{ [V/m]} \quad (2)$$

waarbij CL het kabelverlies is van de gebruikte kabel waarmee de probe met de analyzer is verbonden.

Aangezien het elektrisch veld een vector is moeten de drie orthogonale componenten opgemeten worden om het totale veld te kennen (zie ook Sectie 2.1.1.). De tri-axiale antennes bevatten drie orthogonale sensoren die via een interne switch worden aangestuurd om de drie vectorcomponenten op te meten. We bekomen dan het totale elektrische veld (E) met formule (1). De meetonzekerheid van dit soort smalbandige opstellingen bedraagt typisch +/- 3 dB voor het vermogen [5]. Dit komt overeen met een afwijking van -29% tot 41% voor wat betreft het elektrisch veld.

De SRM-setup is draagbaar, batterijgevoed, en compacter dan de FSV, waardoor deze eerste gebruiksvriendelijker is voor in-situ metingen. Bovendien kan de bediening, het uitvoeren van voorgeprogrammeerde meetroutines en het opslaan van de meetdata eenvoudig op het

meettoestel zelf gebeuren. De FSV-setup wordt extern gevoed en aangestuurd met behulp van Matlab-software op een laptop. Het grote voordeel van de FSV-setup is echter dat heel wat parameters nauwkeurig in te stellen zijn zodat verschillende soorten RF-signalen nauwkeurig opgemeten kunnen worden, terwijl dit met de SRM niet mogelijk is.

De vijf-stappen methode voor het opmeten van 5G NR-signalen, beschreven in [2], in de update van [3] en in [4], kan met deze frequentie-selectieve apparatuur worden opgemeten.

Tijdens de metingen moet de afstand tussen de meetprobe en elk object / persoon in de omgeving zo groot mogelijk zijn. Voor frequenties onder de 300 MHz dienen afstanden van minstens 1 m gerespecteerd te worden, voor frequenties boven 300 MHz is dat 0,5 m [5].

4 MEETPROCEDURE

Met de breedbandprobe wordt de positie van het maximum bepaald. Hiervoor worden voorafgaand aan de frequentie-selectieve metingen, breedbandmetingen uitgevoerd. Hierbij wordt de omgeving waar een frequentie-selectieve meting gewenst is, afgescand. Dit eens zonder en eens met actief gebruikstoestel voor alle aanwezige operatoren. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de breedbandprobe steeds stil dient gehouden te worden om meetfouten door o.a. elektrostatische oplading te vermijden [8].

De meetprocedure voor smalbandmetingen heeft tot doel zowel de momentele/gemiddelde als de maximale elektrische veldwaarde van radiofrequente (RF) signalen te bepalen en bestaat uit de volgende vijf stappen die worden uitgevoerd met een spectrumanalyser:

Stap 1 “Overzichtsmeting.

Stap 2 “Identificatie van de SSB (Synchronization Signal Block)”.

Stap 3 “Bepaling van de elektrische veldsterkte per *resource element* (RE) van de dominante SSB en van de PDSCH (Physical Downlink Shared Channel – gebruikt voor downlinkdataverkeer).

Stap 4 “Bepaling van de ogenblikkelijke gemiddelde elektrische veldwaarde.” Deze meting wordt hier uitgevoerd volgens twee verschillende scenario’s nl.

- Meting zonder gebruikerstoestel
- Meting met een gebruikerstoestel

Stap 5 “Verwerking ter bepaling van de maximale veldwaarde”

5 MEETRESULTATEN

5.1 PLAATS VAN DE METINGEN

Door het Departement Omgeving werd een lijst van meetsites doorgegeven waar de 3 operatoren (Proximus, Orange en Telenet) actieve 5G NR signalen hadden in de 3,5 GHz frequentieband op het moment van de metingen (mei 2023) en dit in de omgeving van Gent. Op basis van een aantal criteria zoals bereikbaarheid, de structuur van de site (o.a. open site waar posities in verschillende beams gemakkelijk bereikbaar zijn), aanwezigheid alle operatoren, nabijheid van een openbaar gebouw voor eventuele binnenmetingen,... werd in samenspraak met het Departement Omgeving de keuze gemaakt voor de site aan het Woodrow Wilsonplein 1 in 9000 Gent.

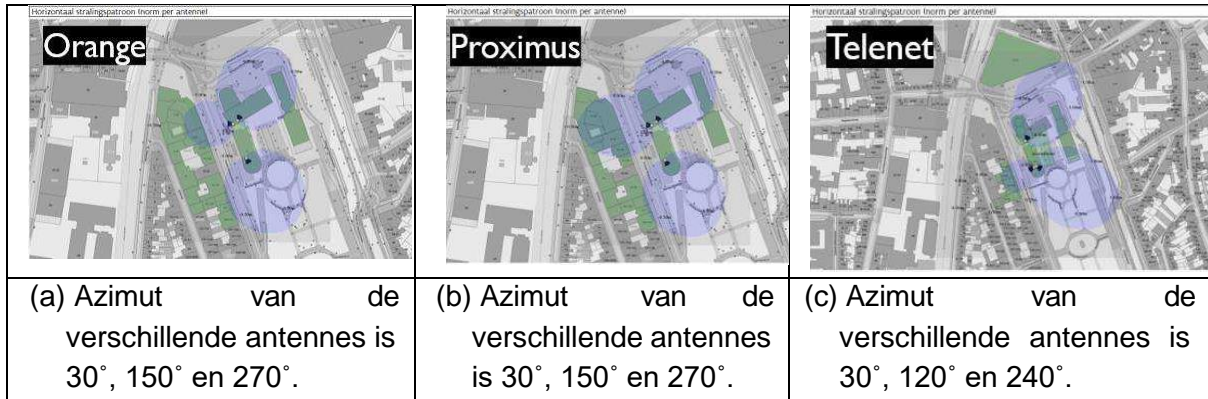
De metingen vonden plaats op dinsdag 23, woensdag 24 en donderdag 25 mei 2023 tussen 9 uur en 19 uur.

Figuur 2 (a), (b) en (c) tonen een uittreksel uit het conformiteitsattest van resp. Orange, Proximus en Telenet. Deze attesten zijn terug te vinden op de website van Departement Omgeving [11]. Op deze figuren is de horizontale projectie aangeduid van de simulatiewaarden die norm op een bepaalde hoogte kunnen overschrijden. Deze projecties worden hier enkel gebruikt om de stralingsrichting van de 5G NR-antennes te visualiseren.

De meetposities werden gekozen in de richting van de 120° brede antenne-sector volgens de azimuthale richting van 30° van de antennes van de verschillende operatoren (zie ook conformiteitsattest) en zijn aangeduid op Figuur 3. Er werd gemeten op 6 verschillende posities zoals hierna beschreven en dit zowel binnen als buiten.

- Meetposities 1 en 6: bevinden zich buiten op het Woodrow Wilsonplein voor het Administratief centrum van de Stad Gent.
- Meetpositie 2: buiten op het Woodrow Wilsonplein voor het Shoppingcenter.
- Meetpositie 3 buiten op de hoek van de Vlaanderenstraat en het Woodrow Wilsonplein.
- Meetpositie 4: binnen in bureau 704 op de 7^{de} verdieping van het Provinciaal Administratief centrum 'Het Zuid' gelegen aan het Woodrow Wilsonplein 2.
- Meetpositie 5: binnen in de keuken op de 5^{de} verdieping van het Stadskantoor Gent gelegen aan het Woodrow Wilsonplein 1, Gent.

Meetposities 1, 2, 3, 4 en 6 lagen LOS (line-of-sight) van de 5G antennes op het Stadskantoor van de stad Gent.



Figuur 2: Uittreksel uit het conformiteitsattest dat publiek beschikbaar is met aanduiding van de horizontale projectie van de zone waar op een bepaalde hoogte de norm kan overschreden worden. (blauw-paars is waar er overschrijding kan zijn en groen zijn gebouwen in de analyse). Deze figuren worden hier gebruikt om de stralingsrichting van de antennes te visualiseren. De attesten zijn terug te vinden op de website van Departement Omgeving [11].



Figuur 3: Aanduiding van de meetlocaties op de plattegrond van de omgeving van het Woodrow Wilsonplein 1 te 9000 Gent. Meetpositie 5 bevindt zich in het gebouw waarop de 5G zendantennes geïnstalleerd zijn.

5.2 ACTIEF GEBRUIKERSTOESTEL

Voor de metingen met een actief gebruikerstoestel werd eerst een HTTP download uitgevoerd van een databestand van 100 GB van de website <http://speedtest.tele2.net/> om zo een maximum download te genereren. Echter door allerlei problemen waaronder onstabielheid en het niet meer kunnen opstarten van de smartphone (gebruikerstoestel) werd voor sommige locaties ook gebruik gemaakt van een binnen IMEC ontwikkelde app waarbij continu een databestand werd gedownload van een FTP-server opgesteld bij IMEC.

Het gebruikerstoestel werd op een meetkarretje (+- 75 cm hoogte) geplaatst en dit op 2 m voor de meetprobe, in de richting van het basisstation. Hierdoor valt de data-beam afkomstig van de 5G zendantenne in op zowel het gebruikerstoestel als op de meetprobe, verminderen we de invloed van de meetoperator op het meetsignaal en is de inkoppeling van de upload afkomstig van het gebruikerstoestel verwaarloosbaar. Zie hiervoor ook [2] [7].

5.3 BREEDBANDMETINGEN VERSUS SMALBANDMETINGEN

5.3.1 WERKWIJZE

Met de spectrum analyzer (SRM) in combinatie met antenne II en III werden frequentie-selectieve metingen uitgevoerd in de frequentieband van 30 MHz tot 6 GHz gedurende 6 minuten, ter bepaling van de ogenblikkelijke gemiddelde veldwaarde. Deze metingen werden uitgevoerd zonder actief gebruikerstoestel. De vermelde frequentie-band is deze waar de meest voorkomende telecommunicatie-signalen (o.a. FM, T-DAB, Astrid, DVB-T, 2G, 3G, 4G, 5G, WiFi) worden in uitgestuurd en waarin de dominante RF-signalen worden ontvangen in publieke buitenruimten en in particuliere verblijfplaatsen. Uit deze meting kan de bijdrage van de verschillende signalen bepaald worden, waaruit tenslotte de cumulatieve waarde kan berekend worden. Deze cumulatieve waarde kan vergeleken worden met de resultaten van de breedbandmetingen. Bovenstaande metingen zijn een combinatie van een overzichtsmeting (volgens stap 1) en de meting ter bepaling van de ogenblikkelijke veldwaarden (volgens stap 4), zoals beschreven in sectie 4.

Daarnaast werd op elke meetpositie (en dit per operator) een meting uitgevoerd van het 5G NR-sigitaal in de 3,5 GHz-frequentieband met een actief gebruikerstoestel (zie ook stap 4 in sectie 4 en sectie 5.2). Hierbij werd een continue download (DL) datatrafiek uitgestuurd gedurende de meetduur, terwijl het gebruikerstoestel op het 5G-sigitaal was geconnecteerd van de operator die werd gemeten. Om tijdens de metingen visueel op het meettoestel te kunnen zien of de DL effectief in de opgemeten 3,5 GHz band werd uitgestuurd, werden de metingen hier uitgevoerd over de frequentie-band toegewezen aan de beschouwde operator zoals vermeld in [10]. Deze meting werd uitgevoerd zolang het sigitaal stabiel bleef en dit was typisch gedurende 3 minuten. Tijdens deze metingen werden eveneens breedbandmetingen

uitgevoerd die vergeleken kunnen worden met de cumulatieve waarde van de frequentie-selectieve metingen zonder gebruikstoestellen (dus zonder 5G-NR), en inclusief de bijdrage van voorvermeld 5G-NR signaal met actief gebruikstoestel.

Aangezien we voor 1 operator beschikten over 2 gebruikerstoestellen met bijhorende SIM-kaart en data-abonnement, kon voor deze operator ook een meting worden uitgevoerd met 2 actieve gebruikerstoestellen volgens 2 verschillende scenario's nl. (a) beide actieve gebruikerstoestellen in dezelfde bundel of beam (= naast elkaar opgesteld) en (b) beide actieve gebruikerstoestellen elk in een verschillende beam waarbij 1 gebruikerstoestel bij de meetprobe opgesteld bleef staan. Er was geen info van de operator beschikbaar betreffende het stralingspatroon en de configuratie van de beams voor de positionering in twee verschillende beams. Hierdoor werd de beam-index (unieke nummering van de synchronisatie-bundel) met de Rohde & Schwarz Qualipoc applicatie die op het gebruikerstoestel van IMEC beschikbaar was, nagegaan. Op basis van deze index werd gezocht naar een geschikte positie voor het tweede gebruikerstoestel, nl. in een andere beam dan het eerste gebruikerstoestel die bij de meetprobe opgesteld stond. Gelijkaardige metingen van 2 UEs in een andere beam worden ook besproken in [7].

5.3.2 RESULTATEN

In Tabel 2 zijn de cumulatieve veldwaarden van de frequentie-selectieve metingen alsook de overeenkomstige breedbandveldwaarden zoals opgemeten op de verschillende meetposities voor verschillende scenario's. In deze tabel worden ook de afwijkingen tussen de hiervoor vermelde veldwaarden bekeken. Figuur 4 toont het histogram van de bekomen afwijkingen. De afwijkingen tussen de breedbandwaarden en de cumulatieve frequentie-selectieve waarden variëren tussen -1,4 en +1,5 dB, wat heel laag is. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de resultaten van de breedbandprobe een heel goede benadering geven van het cumulatieve signaal opgemeten met de frequentie-selectieve, nauwkeurige meetsetup. Er dient wel opgemerkt te worden dat de breedbandprobe ver genoeg (ongeveer 2 m) van gebruikerstoestellen dient gehouden te worden en dat de metingen niet in de buurt van bovengrondse hoogspanningsleidingen mogen worden uitgevoerd aangezien hier inkoppeling van de 50 Hz velden mogelijk is (zie ook sectie 5.4).

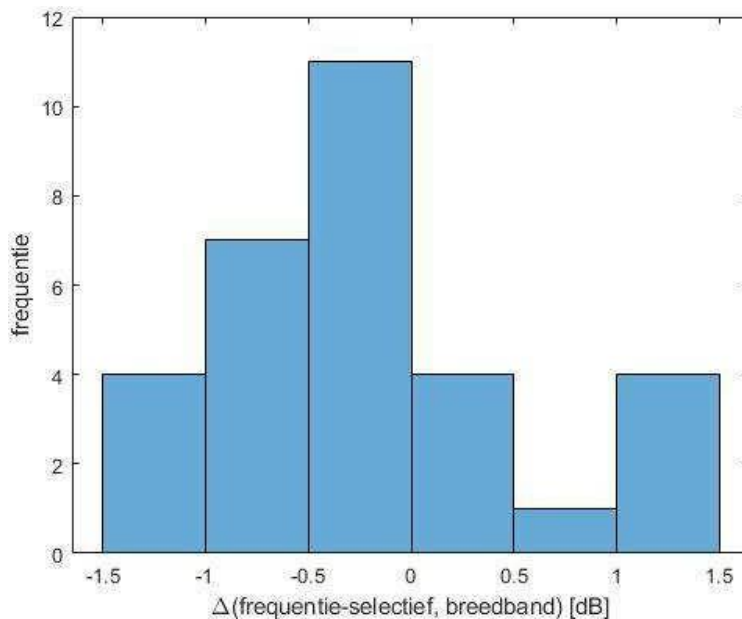
Meet-positie	Scenario	Operator	E_{SRM} [V/m] (frequentie-selectief)	E_{Narda} [V/m] (breedband-waarde)	Afwijking = $\Delta_{\text{freq.selectief-breedband}}$ ($=20 \cdot \log_{10}(E_{SRM}/E_{Narda})$) [db]
1	No UE	-	1,91	1,89	0,1
	1 UE	Telenet	2,49	2,58	-0,3
		Orange	1,92	2,24	-1,3
		Proximus	2,10	2,11	0,0
	2 UEs in zelfde beam	Proximus	-	-	-
	2 UEs in verschillende beams	Proximus	-	-	-
2	No UE	-	1,42	1,42	0,0
	1 UE	Telenet	1,75	1,85	-0,5
		Orange	1,46	1,62	-0,9
		Proximus	2,07	2,05	0,1
	2 UEs in zelfde beam	Proximus	2,03	2,05	-0,1
	2 UEs in verschillende beams	Proximus	1,55	1,73	-1,0

3	No UE	-	2,01	2,03	-0,1
	1 UE	Telenet	2,52	2,19	1,2
		Orange	2,02	2,08	-0,3
		Proximus	2,21	2,36	-0,6
	2 UEs in zelfde beam	Proximus	2,30	2,45	-0,5
2 UEs in verschillende beams	Proximus	2,17	2,26	-0,4	
4	No UE	-	1,49	1,61	-0,7
	1 UE	Telenet	1,89	1,60	1,4
		Orange	1,59	1,45	0,8
		Proximus	1,94	1,70	1,1
	2 UEs in zelfde beam	Proximus	1,84	2,11	-1,2
	2 UEs in verschillende beams	Proximus	-	-	-
5	No UE	-	NaN	NaN	-
	1 UE	Telenet	0,52	0,62	-1,5
		Orange	0,34	0,35	-0,2
		Proximus	0,52	0,45	1,2
2 UEs in zelfde beam	Proximus	0,40	0,42	-0,5	
2 UEs in verschillende beams	Proximus	-	-	-	

6	No UE	-	1,58	1,76	-0,9
	1 UE	Telenet	2,07	2,25	-0,7
		Orange	1,64	1,91	-1,3
		Proximus	1,74	1,95	-1,0
	2 UEs in zelfde beam	Proximus	2,09	2,13	-0,2
	2 UEs in verschillende beams	Proximus	1,77	1,85	-0,4

No UE = geen gebruikstoestel (user equipment UE) aanwezig; 1UE: 1 actief gebruikerstoestel aanwezig, 2 UEs: 2 actieve gebruikerstoestellen van dezelfde operator aanwezig, E_{Narda} = breedbandmeting

Tabel 2: Meetresultaten van de cumulatieve veldwaarden van de frequente-selectieve metingen (E_{SRM}), van de overeenkomstige breedbandveldwaarden (E_{Narda}) en van de afwijking tussen beide waarden zoals opgemeten op de verschillende meetposities voor de verschillende scenario's.



Figuur 4: Histogram van de afwijkingen tussen de frequente-selectieve cumulatieve veldwaarden en de overeenkomstige breedbandwaarden bekomen op de verschillende meetposities voor de verschillende scenario's zoals opgelijst in Tabel 2.

5.4 OPLIJSTING OPMERKINGEN EN SUGGESTIES VOOR DE MEETPROCEDURE VOOR 5G NR ANTENNES

- De waarde van de breedbandprobe is in overeenstemming met de frequentie-selectieve metingen voor zover er geen inkoppeling is van andere signalen van dominante bronnen die buiten het gemeten RF-bereik van de spectrumanalyzer vallen (hier 30 MHz – 6 GHz).
- ELF-signalen (o.a. van 50 Hz signalen) worden niet volledig weggefilterd met de gebruikte breedbandprobe niettegenstaande deze een frequentie-bereik heeft van 100 kHz tot 6 GHz en de meetprobe dus niet geschikt is voor het opmeten van deze signalen. Uit ervaring weten we dat o.a. 50 Hz-signalen van bovengrondse hoogspanningslijnen een dominante bijdrage kunnen leveren en resulteren in foutieve resultaten. De breedbandprobe mag bijgevolg niet gebruikt worden onder hoogspanningslijnen voor deze telecommunicatiemetingen.
- Voor stap 4 “metingen met 3,5 GHz gebruikstoestel” is het nodig om ervoor te zorgen dat de smartphone geconnecteerd blijft met het 5G NR signaal tijdens deze metingen zodat de download effectief over dit signaal verloopt. Met de spectrumanalyzer kan dit visueel bekeken worden, met de breedbandprobe is dat moeilijker. In de statusbalk van het gebruikerstoestel staat de technologie waarmee deze verbonden is. Echter de indicatie van 5G duidt niet op exclusieve 5G NR connectie. Het is bijvoorbeeld mogelijk dat deze 5G aanduiding wijst op een andere frequentieband (bijv. 700 MHz, 2100 MHz) of een gedeelde connectie over 4G en 5G NR waarbij de data over 4G gaat [12]. Objectieve uitsluiting hiervan is mogelijk met specifieke commerciële monitoring tools waarmee de netwerkparameters (bijv. throughput en overeenkomstige frequentieband) kunnen gelogd en geanalyseerd worden.

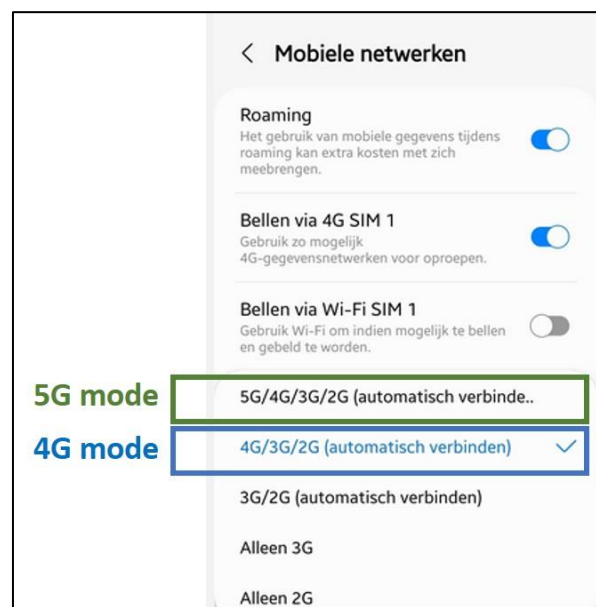
Indien zo een tool niet beschikbaar is dan kunnen volgende testen als hulpmiddel dienen om in te schatten of de data al of niet over 5G NR verloopt:

- Voor de start van een meting is het aangeraden om de downlink throughput te testen op het gebruikerstoestel met behulp van een speedtest (bijv. Ookla speedtest: <https://www.speedtest.net/nl>) terwijl het gebruikerstoestel achtereenvolgens eens met de 5G mode en eens met de 4G mode geconnecteerd wordt. Figuur 5 toont een screenshot waarop de netwerkmoden zijn aangeduid. Indien de data over 5G NR verloopt dan is die typisch in de orde van enkele honderden Mbps tot 1 Gbps en veel hoger dan de throughput tijdens een connectie met de 4G mode. De waarde opgemeten tijdens de 5G mode kan dan gebruikt worden als 5G NR throughput referentie waarde.
- Tijdens de metingen met actieve UE wordt de downlink throughput continu gemeten en vergeleken met de resultaten van de 5G NR

throughput referentiewaarde uit bovenstaande speedtests om in te schatten of de download al of niet over 5G NR gaat. Om de downlink data te monitoren kan een tool gebruikt worden om de netwerk throughput continu te monitoren (bijv. Network speed).

Het zou handig zijn indien het gebruikstoestel op 5G NR zou kunnen geforceerd worden gedurende de test maar dit is momenteel niet mogelijk. Indien tijdens de metingen blijkt dat het signaal niet over 5G NR werd verstuurd maar over een andere 5G-dan is de meting i.h.k.v. de 5G-bijdrage niet bruikbaar.

- Bijkomend bleek ook dat de hardware van het gebruikstoestel warm werd bij herhaaldelijke en opeenvolgende testen wat instabiliteit en connectie-problemen met het 5G NR netwerk tot gevolg had. Het gebruikstoestel laten afkoelen en wachten was het enige dat hielp.
- De server vanwaar de continue download wordt uitgevoerd kan een grote invloed hebben op de gemeten 5G veldwaarden. Afhankelijk van de throughput van de server, de locatie van de server, ... kan het zijn dat bij een 5G NR connectie het 5G kanaal niet volledig gevuld wordt. Dit in combinatie met andere omgevingsfactoren zoals bijv. het aantal geconnecteerde gebruikstoestellen met hun specifieke gebruikstoepassing op het moment van de testen die ook een deel van het 5G NR kanaal gebruiken, kan zorgen voor heel variabele 5G veldwaarden. Op basis van de testen die we deden met continue downloads van publieke sites met throughput-snelheden gelijkwaardig aan deze bekomen uit een speedtest, raden we volgende sites aan: <http://speedtest.tele2.net/> (niet steeds beschikbaar) en <https://www.ip-toolbox.com/speedtest-files>.



Figuur 5: Screenshot van de *Mobiële netwerken* op een *gebruikerstoestel* met *aanduiding* van de *5G mode* (incl. 5G) en de *4G mode* (excl. 5G).

6 CONCLUSIES

In dit rapport werden de meetresultaten van de frequentie-selectieve metingen en de breedbandmetingen in de buurt van 5G NR basisstation antennes van Proximus, Orange en Telenet besproken. Bijkomend werden ook bijkomende suggesties en methodes voorgesteld voor het uitvoeren van de 5G NR metingen met actief gebruikerstoestel.

Uit de meetresultaten blijkt dat de cumulatieve veldwaarden bekomen uit de frequentie-selectieve metingen overeenkomen met de meetwaarden opgemeten met de breedbandmeter. De maximale afwijking tussen de resultaten van beide types metingen bedroeg maximaal 1,5 dB. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de resultaten van de breedbandprobe een heel goede benadering geven van het cumulatieve signaal opgemeten met de frequentie-selectieve, nauwkeurige meetsetup. Er dient wel opgemerkt te worden dat de breedbandprobe ver genoeg (ongeveer 2 m) van gebruikerstoestellen dient gehouden te worden en dat de metingen niet in de buurt van bovengrondse hoogspanningsleidingen mogen worden uitgevoerd (zie ook sectie 5.4).

REFERENTIES

- [1] Vlaamse Overheid, 10 juni 2022, Besluit van de Vlaamse Regering tot wijziging van het besluit van de Vlaamse Regering van 1 juni 1995 houdende algemene en sectorale bepalingen inzake milieuhygiëne en het besluit van de Vlaamse Regering van 12 december 2008 tot uitvoering van titel XVI van het decreet van 5 april 1995 houdende algemene bepalingen inzake milieubeleid, wat betreft vast en tijdelijk opgestelde zendantennes voor elektromagnetische golven tussen 100 kHz en 300 GHz, Belgisch Staatsblad 25 juli 2022.
- [2] Opvolging wetgeving en meetprocedures voor 5G, tussentijds deelrapport in het kader van de studie “Nieuwe ontwikkelingen rond 5G, de maatschappelijke impact van de uitrol van 5G netwerken op de stralingsblootstelling”, bestek nr. OMG-VPO/2018/59.
- [3] Ministerieel besluit tot bepaling van de meetprocedure en de meetstrategie van elektromagnetische golven in de omgeving van vast opgestelde zendantennes, 7 oktober 2022, Belgisch Staatsblad 24 oktober 2022.
- [4] S. Aerts, L. Verloock, M. Van Den Bossche, D. Colombi, L. Martens, C. Törnevik, and W. Joseph, In-situ Measurement Methodology for the Assessment of 5G NR Massive MIMO Base Station Exposure at Sub-6 GHz Frequencies, IEEE Access, Volume 7, 2019.
- [5] CENELEC European Committee for Electrotechnical Standardisation TC 106x WG1 EN 50492 in situ. Basic standard for the in-situ measurement of electromagnetic field strength related to human exposure in the vicinity of base stations; 2008.
- [6] Electronic Communications Committee (ECC) within the European Conference of Postal and Telecommunications Administrations (CEPT), 2004, ECC recommendation (02)04 (revised Bratislava 2003, Helsinki 2007) Measuring non-ionising electromagnetic radiation (9 kHz – 300 GHz), <http://www.ero.dk>.
- [7] Deprez K, Verloock L, Colussi L, Aerts S, Van den Bossche M, Kamer J, et al. Comparison of assessment methods for in-situ 5G NR base station exposure. In: BioEM 2022, the 1st Annual Meeting of BioEM Society, Proceedings. 2022. p. 651–6.
- [8] NBM-550, Narda Broadband Field Meter, Operating manual, section 5.1: Avoiding measurement errors.
- [9] Frequentieplan voor België, BIPT, Belgisch Instituut voor Postdiensten en Telecommunicatie, <https://www.bipt.be/operatoren/frequentieplan>.
- [10] BIPT, Samenvatting van de bestaande gebruiksrechten in België, https://www.bipt.be/file/cc73d96153bbd5448a56f19d925d05b1379c7f21/730e30cb1d7a9355668dd8884b7fe8a2910af9f9/bestaande_gebruiksrechten_belgie.pdf

[11] Antennewebsite: <https://zendantenneskaart.omgeving.vlaanderen.be/>.

[12] E. Obiodu, A. K. Abubakar and N. Sastry, "Is it 5G or not? Investigating doubts about the 5G icon and network performance," *IEEE INFOCOM 2021 - IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS)*, Vancouver, BC, Canada, 2021.