

Opzetten van een meetcampagne om de stralingsblootstelling van nieuwe technologieën en Wifi in scholen te bepalen

Vlaamse Overheid Departement Leefmilieu, Natuur en Energie
(afdeling lucht, hinder, risicobeheer, milieu & gezondheid)
Bestek nr LNE/OL201100024/12031/M&G

Overzichtsrapport

V 2.0

Studie uitgevoerd in opdracht van het Departement Leefmilieu, Natuur en Energie van de Vlaamse overheid.

Auteurs

ing. Leen Verloock
prof. dr. ir. Wout Joseph
prof. dr. ir. Luc Martens

INTEC - iMinds - Universiteit Gent
Gaston Crommenlaan 8 bus 201
B-9050 Gent België
tel. +32-9-14918 • fax +32-9-14899

Datum

mei 2013

Referentie

IBBT-WiCa/LNE/OL201100024/12031/M&G

**Wireless
& Cable**
research group

 **iMinds**
CONNECT.INNOVATE.CREATE

Niets uit dit document mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt, op welke manier dan ook, zonder de voorafgaandelijke schriftelijke toestemming van de Vlaamse Overheid: Het Departement Leefmilieu, Natuur en Energie.

INHOUDSOPGAVE

Inhoudsopgave	3
1 Inleiding	4
2 Overzicht meetplaatsen	5
3 Spatiale metingen	6
3.1 Breedbandmetingen	6
3.1.1 Scholen.....	6
3.1.2 Woningen	6
3.1.3 Openbare Plaatsen	7
3.1.4 Kantoren.....	7
3.1.5 Samenvatting	8
3.2 Spatiale smalbandmetingen met de spectrumanalyser	10
3.2.1 Per omgeving	11
3.2.1.1 Alle data	11
3.2.1.2 Indoor versus outdoor	16
3.2.2 Per signaal.....	19
3.3 Temporele metingen	23
3.4 Duty cycles verschillende belasting van het draadloos netwerk	26
3.5 Exposimeter routes	27
4 Aanbevelingen.....	28
5 Besluit	30
6 English summary	31
Referenties.....	32

1 INLEIDING

Dit document geeft een samenvatting van de meetresultaten uit fase 1: 'Meten' van de studieopdracht: "Opzetten van een meetcampagne om de stralingsblootstelling van nieuwe technologieën en Wifi in scholen te bepalen" in opdracht van de Vlaamse Overheid Departement Leefmilieu, Natuur en Energie afdeling lucht, hinder, risicobeheer, milieu & gezondheid. In dit document wordt een samenvatting gegeven van de spatiale metingen (breedbandmetingen en spectrumanalyser metingen) en de temporele metingen, uitgevoerd in de scholen, woningen, kantoren en de openbare plaatsen. Daarnaast wordt ook een korte samenvatting gegeven van de exposimeter metingen die uitgevoerd werden voor 6 verschillende routes. Meer gedetailleerde uitleg is terug te vinden in de gedetailleerde rapporten die bij elke meting horen. **Alle individuele eindrapporten werden aan LNE afgeleverd, hierin zijn alle details van de meetcampagne beschikbaar.**

Op basis van de meetresultaten worden ook aanbevelingen gedaan om de blootstelling aan elektromagnetische velden ten gevolge van RF stralingen te beperken.

Er dient opgemerkt te worden dat dit geen statistische studie is aangezien de meetcampagne te beperkt was wat betreft de tijdsduur en het aantal gemeten meetplaatsen in de verschillende omgevingen (bv. voor wat betreft de kantoren werd enkel gemeten in een stedelijke omgeving en er werden geen metingen uitgevoerd in flatgebouwen voor de categorie woningen). Deze studie geeft wel een goed beeld van de typische bijdrage van het elektrisch veld van de verschillende soorten signalen tot de totale elektrische veldwaarden.

2 OVERZICHT MEETPLAATSEN

Tijdens de meetcampagne werden metingen uitgevoerd in vier verschillende omgevingen: scholen, woningen, openbare plaatsen en kantoren. Tabel 1 geeft een overzicht van het aantal meetplaatsen per omgeving. In totaal werden 713 breedbandmetingen (535 metingen binnen en 178 metingen buiten), 119 smalbandmetingen (90 metingen binnen en 29 metingen buiten) en 15 temporele metingen (11 metingen binnen en 4 metingen buiten) uitgevoerd. Deze aantallen verschillen van de aantallen in de individuele rapporten omdat in dit overzichtsrapport enkel de posities met RF data in rekening werd gebracht. De breedbandprobe die gebruikt werd tijdens de metingen meet ook straling op afkomstig van signalen die lager zijn dan 10 MHz (bv. van TL lampen rond 50 kHz). Dit type signalen veroorzaken andere effecten op het lichaam en hiervoor gelden andere richtlijnen. De norm in Vlaanderen (RF norm [1]) geldt niet voor straling afkomstig van elektromagnetische bronnen lager dan 10 MHz. Deze signalen werden, indien aanwezig, uitvoerig besproken in de appendices van de detailrapporten.

Omgeving	Index	Aantal meetplaatsen		
		Spatiaal		Temporeel
		Breedband	Smalband	
Scholen	S1	40	8	1
	S2	33	8	1
	S3	51	8	1
	S4	58	9	1
	S5	45	6	1
	Totaal	227	39	5
Woningen	W1	17	9	1
	W2	13	8	1
	W3	16	8	1
	W4	10	8	1
	W5	11	8	1
	Totaal	67	41	5
Openbare plaatsen	P1	31	5	1*
	P2	33	4	1*
	P3	43	5	1*
	P4	41	4	1*
	P5	32	5	1*
	Totaal	180	23	5
Kantoren	K1	102	8	-
	K2	137	8	-
	Totaal	239	16	-
Totaal		713	119	15

*: verspreid over de dag werd 3 keer (in de voormiddag, 's middags en 's avonds) op dezelfde plaats gemeten.

Tabel 1: Overzicht van het aantal spatiale- en temporele meetplaatsen per omgeving.

3 SPATIALE METINGEN

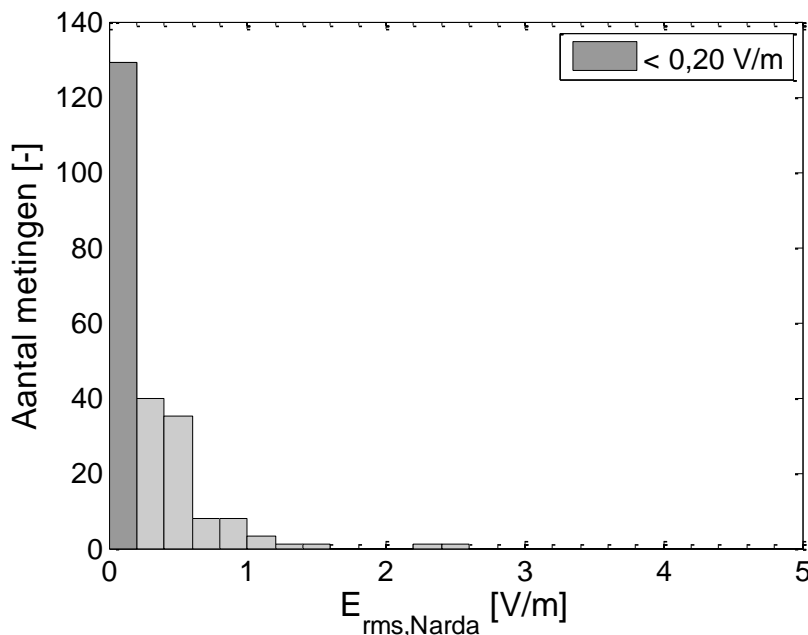
Spatiale metingen werden uitgevoerd met breedbandprobe en smalbandige meetopstelling.

3.1 Breedbandmetingen

In deze paragraaf worden de histogrammen weergegeven van de gemiddelde elektrische veldwaarden ($E_{rms,Narda}$), opgemeten met de breedbandige probe. Voor de verschillende omgevingen (scholen, woningen, openbare plaatsen en kantoren) wordt een samenvatting gegeven van de data. Tenslotte wordt ook een histogram van alle data, opgemeten in de verschillende omgevingen weergegeven.

3.1.1 Scholen

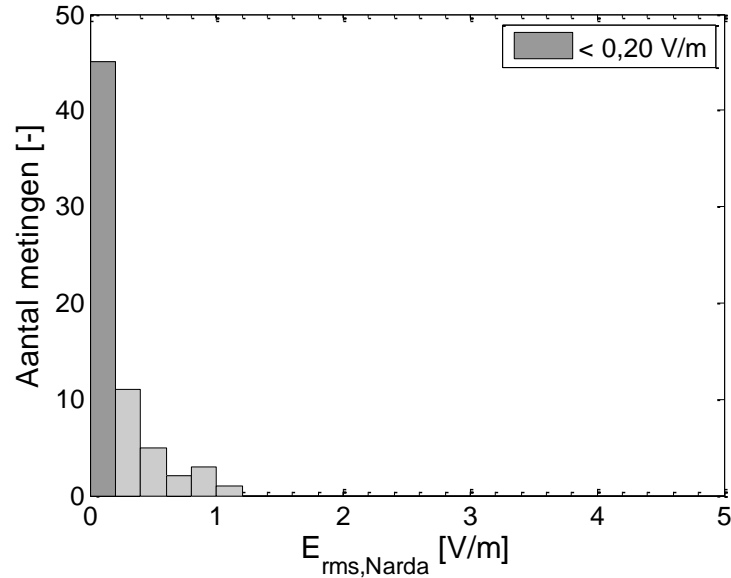
In figuur 1 wordt het histogram weergegeven van alle breedbandmetingen uitgevoerd in de scholen. In totaal werden 227 metingen uitgevoerd (215 metingen binnen en 12 metingen buiten). Er lagen 127 metingen (= 56 %) onder de gevoeligheid van de probe ($< 0,20$ V/m). De hoogste veldwaarde die opgemeten werd in de scholen bedroeg 2,52 V/m.



Figuur 1: Histogram van de rms elektrische veldwaarden ($E_{rms,Narda}$), opgemeten met de breedbandprobe in de scholen (S).

3.1.2 Woningen

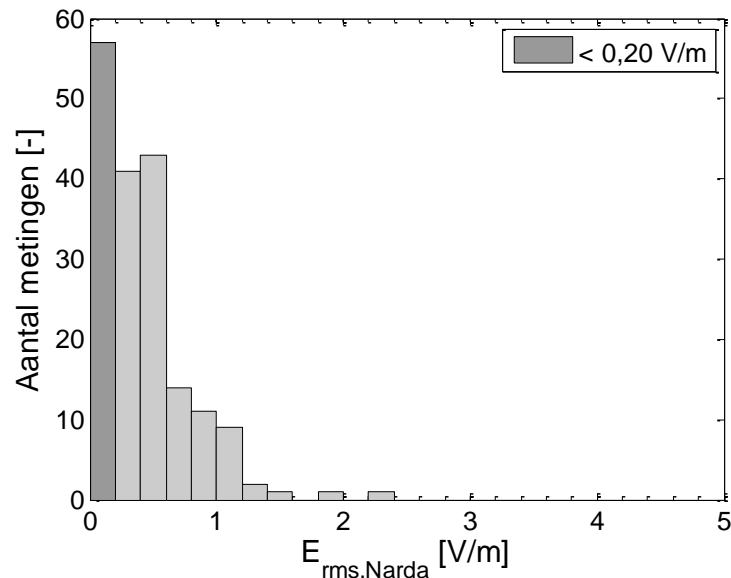
In figuur 2 wordt het histogram weergegeven van alle breedbandmetingen uitgevoerd in de woningen. In totaal werden 67 metingen uitgevoerd (59 metingen binnen en 8 metingen buiten). Er lagen 45 metingen (= 67 %) onder de gevoeligheid van de probe ($< 0,20$ V/m). De hoogste veldwaarde die opgemeten werd in de woningen bedroeg 1,00 V/m.



Figuur 2: Histogram van de rms elektrische veldwaarden ($E_{rms,Narda}$), opgemeten met de breedbandprobe in de woningen (W).

3.1.3 Openbare Plaatsen

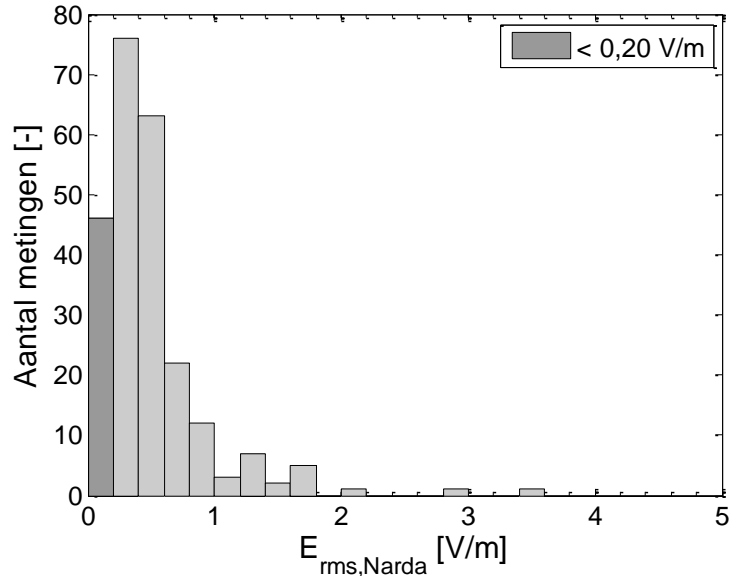
In figuur 3 wordt het histogram weergegeven van alle breedbandmetingen uitgevoerd op de openbare plaatsen. In totaal werden 180 metingen uitgevoerd (24 metingen binnen en 156 metingen buiten). Er lagen 57 metingen (= 32 %) onder de gevoeligheid van de probe (< 0,20 V/m). De hoogste veldwaarde die opgemeten werd op de openbare plaatsen bedroeg 2,20 V/m.



Figuur 3: Histogram van de rms elektrische veldwaarden ($E_{rms,Narda}$), opgemeten met de breedbandprobe op de openbare plaatsen (P).

3.1.4 Kantoren

In figuur 4 wordt het histogram weergegeven van alle breedbandmetingen uitgevoerd in de kantoren. In totaal werden 239 metingen uitgevoerd (237 metingen binnen en 2 metingen buiten). Er lagen 46 metingen (= 19 %) onder de gevoeligheid van de probe (< 0,20 V/m). De hoogste veldwaarde die opgemeten werd in de kantoren bedroeg 3,50 V/m.



Figuur 4: Histogram van de rms elektrische veldwaarden ($E_{rms,Narda}$), opgemeten met de breedbandprobe in de kantoren (K).

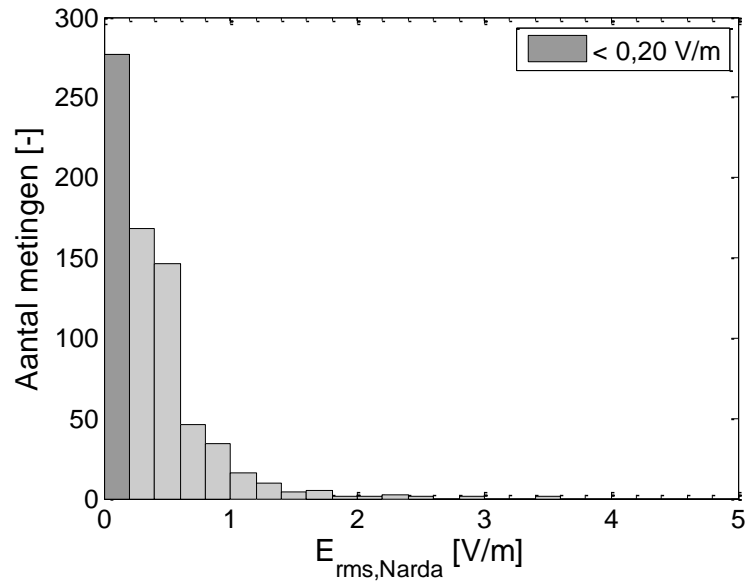
3.1.5 Samenvatting

In figuur 5 wordt het histogram weergegeven van alle breedbandmetingen uitgevoerd in de verschillende omgevingen (scholen, woningen, kantoren en openbare plaatsen). In totaal werden 713 metingen uitgevoerd, hiervan lagen 277 metingen (= 39 %) onder de gevoeligheid van de probe (< 0,20 V/m). De hoogste veldwaarde, werd opgemeten in de kantoren en bedroeg 3,50 V/m.

In tabel 2 wordt een statistische samenvatting (gemiddelde waarde, p50, p95 en maximum waarde) gegeven voor de breedbandmetingen per omgeving en voor alle omgevingen samen. Verder wordt ook het percentage van de metingen die onder de meetgevoeligheid van de probe (< 0,20 V/m) weergegeven. Uit deze tabel blijkt dat de hoogste waarden (gemiddelde, mediaan, p95 en max) in de kantoren werden opgemeten. In de woningen werden de laagste waarden opgemeten en was het percentage van de metingen onder de gevoeligheid van de meetprobe het grootst (67 %).

	$E_{rms,Narda}$ [V/m]				Aantal metingen < 0,20 V/m [%]
	gemiddelde	p50 (mediaan)	p95	max	
Scholen	0,34	< 0,20	0,83	2,52	56
Woningen	0,29	< 0,20	0,80	1,00	67
Openbare plaatsen	0,45	0,34	1,10	2,20	32
Kantoren	0,50	0,38	1,36	3,50	19
Samenvatting	0,41	0,30	1,00	3,50	39

Tabel 2: Statistische samenvatting van de breedbandmetingen per omgeving en voor alle omgevingen samen.



Figuur 5: Histogram van de rms elektrische veldwaarden ($E_{rms,Narda}$), opgemeten met de breedbandprobe in de scholen, in de woningen, op de openbare plaatsen en in de kantoren.

3.2 Spatiale smalbandmetingen met de spectrumanalyser

In deze paragraaf wordt een samenvatting gegeven van de spatiale smalbandmetingen die uitgevoerd werden met de spectrumanalyser in de verschillende omgevingen (scholen, woningen, openbare plaatsen en kantoren). Met de spectrumanalyser werden de dominante signalen in de frequentieband van 30 MHz tot 6 GHz gemeten. De belangrijkste bronnen die op de verschillende sites aanwezig waren zijn FM, PMR, T-DAB, Astrid, DVB-T (digitale TV), GSM900, GSM1800, UMTS, LTE, WiMax, DECT en WiFi (802.11a, b, g, n). Voor GSM900, GSM1800, UMTS, LTE en WiMAX signalen worden voor de spatiale smalbandmetingen enkel de downlink signalen (signalen afkomstig van de basisstation antennes en niet van de gebruikerstoestellen) opgemeten. Deze signalen gebruiken een verschillende frequentieband voor up- en downlink signalen zodat de signalen onderscheiden kunnen worden van elkaar. Bovendien zijn de uplink signalen afkomstig van gebruikerstoestellen niet continu aanwezig en zeer sterk tijds- en plaatsafhankelijk (variabele activiteit en positie van de gebruikers en hun toestellen). Het is dus niet relevant om met de smalbandopstelling uplink signalen op te meten. Daarenboven zijn deze uplink signalen afkomstig van gebruikerstoestellen ook niet opgenomen in de wetgeving van kracht in het Vlaams Gewest [1]. Voor DECT en WiFi signalen kan geen onderscheid gemaakt worden tussen de up- en downlink band aangezien deze dezelfde frequentieband gebruiken. Bijgevolg zullen de opgemeten veldwaarden voor deze signalen een combinatie zijn van up- en downlink signalen.

Voor de openbare plaatsen dient opgemerkt te worden dat er telkens drie spatiale smalbandmetingen werden uitgevoerd in functie van de tijd op dezelfde positie, hiervan wordt bij de verwerking van de meetdata in deze paragraaf enkel de spatiale meting waarbij de cumulatieve waarde van alle bronnen maximaal is in rekening gebracht. Voor de verschillende signalen werd telkens de n -waarde (n), de maximale, de gemiddelde, de mediaan en de standaardafwijking (σ) van de opgemeten elektrische veldwaarden ($E_{rms,SA}$), en de gemiddelde en de maximale bijdrage van de vermogenswaarde tot de totale opgemeten vermogenswaarde (MC en AC) op een bepaalde plaats bepaald. Verder wordt bij de indeling van de verschillende signalen ook nog de verhouding van de maximale opgemeten veldwaarde tot de overeenkomstige cumulatieve immissienorm (milieukwaliteitsnorm) van kracht in het Vlaams Gewest [1] ($ER_{Vlaanderen,cumulatief}$) en met de overeenkomstige norm per antenne van kracht in het Vlaams Gewest (milieuvoorwaarde) indien van toepassing [1] ($ER_{Vlaanderen,per\ antenne}$) bepaald.

Hieronder wordt een korte beschrijving gegeven van de n -waarde, de MC (*maximum contribution of maximale bijdrage*) waarde, de AC (*average contribution of gemiddelde bijdrage*) waarde en de ER (*exposure ratio of blootstellingsverhouding*) waarde.

De n -waarde is de verhouding van het aantal locaties waar een bepaald type signaal kon worden opgemeten tot het totaal aantal opgemeten locaties.

De MC en AC waarden van elk signaal worden gedefinieerd als de gemiddelde en de maximale waarde per signaal van de verhouding van de vermogensdichtheid van elk signaal op een bepaalde positie tot de cumulatieve vermogensdichtheid op die positie. Hierbij is de vermogensdichtheid gedefinieerd volgens formule (1).

$$S = \frac{E_{rms,SA}^2}{377} \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad (1)$$

De gemiddelde (AC) en de maximale vermogensbijdrage (MC) worden gedefinieerd volgens formule (2). Er dient nog opgemerkt te worden dat de MC waarde voor een bepaald type signaal 100 % kan bedragen, indien dit type signaal dominant is t.o.v. de andere aanwezige bronnen (bv. omdat andere bronnen niet kunnen opgemeten worden omdat de bijhorende veldwaarden lager zijn dan de gevoeligheid van het meetsysteem).

$$X = 100 \cdot u_{i=1..N} \left(\frac{S_{signaali}}{S_{tot,i}} \right) [\%] \quad (2)$$

Hierin is: X AC of MC

u	de functie maximum of gemiddelde
i	een meetpositie
N	het totaal aantal meetposities
$S_{\text{signaal},i}$	de vermogensdichtheid van een bepaald type signaal (bv. FM, GSM900, ...) op meetpositie i
$S_{\text{tot},i}$	de cumulatieve vermogensdichtheid van alle signalen aanwezig op een bepaalde meetpositie

De ER waarde wordt gedefinieerd als de verhouding van de maximale opgemeten elektrische veldwaarde voor een bepaald type signaal op alle beschouwde meetposities tot de overeenkomstige norm voor dat signaal van kracht in het Vlaams Gewest [1] (cumulatieve norm / norm per antenne). In formule (3) is de definitie te vinden.

$$ER_{\text{Vlaanderen,type}} = 100 \cdot \frac{\max_{i=1:N}(E_{\text{signaal},i})}{\text{norm}_{\text{Vlaanderen,type,signaal},i}} \quad [\%] \quad (3)$$

Hierin is: $ER_{\text{Vlaanderen,type}}$ de blootstellingsverhouding volgens de norm gedefinieerd in 'type' van kracht in Vlaanderen

$type$ cumulatieve immissienorm of norm per antenne [1]

i een meetpositie

N het totaal aantal meetposities

$E_{\text{signaal},i}$ de opgemeten elektrische veldwaarde van een bepaald type signaal (bv. FM, GSM900, ...) op meetpositie i

$\text{norm}_{\text{Vlaanderen}}$ de norm van toepassing in Vlaanderen

3.2.1 Per omgeving

Eerst worden de signalen per omgeving beschouwd. Hiervoor worden de signalen onderverdeeld in externe en interne signalen. De externe signalen werden verder opgedeeld in broadcasting (FM, T-DAB, DVB-T) signalen, telecommunicatie signalen (PMR, Astrid, GSM-R, GSM900, GSM1800, LTE, UMTS en WiMAX) en overige externe signalen (militaire signalen en breedband radiotoegang 853 MHz). De interne signalen werden opgedeeld in DECT en WiFi momenteel (WiFi in de 2,4 GHz en WiFi in de 5 GHz band). Verder worden de signalen ook opgedeeld in cumulatief alle bronnen (externe en interne bronnen), cumulatief externe bronnen (broadcasting, telecommunicatie en overige externe signalen) en cumulatief interne bronnen (WiFi en DECT).

3.2.1.1 Alle data

In tabel 3 wordt de samenvatting gegeven van de n -waarde (n), het maximum (max), het gemiddelde (avg), de mediaan ($mediaan$) en de standaardafwijking (σ) van de opgemeten elektrische veldwaarden met de spectrumanalyser ($E_{\text{rms,SA}}$) van alle opgemeten veldwaarden per omgeving en per type signaal alsook voor al de opgemeten veldwaarden op alle meetposities. Verder worden in deze tabel ook de gemiddelde en de maximale bijdrage van de vermogenswaarde tot de totale opgemeten vermogenswaarde (MC en AC) van deze opgemeten veldwaarden weergegeven.

Uit tabel 3 blijkt dat de hoogste maximale en gemiddelde veldwaarde in de scholen afkomstig zijn van het interne WiFi signaal (3,2 V/m). In de woningen, de openbare plaatsen en de kantoren zijn de hoogste maximale en gemiddelde veldwaarden afkomstig van de telecommunicatie signalen (1,1 V/m in de woningen, 2,4 V/m op de openbare plaatsen en 3,3 V/m in de kantoren. De hoogste waarde voor de maximale vermogensbijdrage (MC) wordt ook voor deze signalen bekomen.

De hoogste waarde voor de mediaan van de elektrische veldwaarde en voor de gemiddelde vermogensbijdrage (AC) werd in de scholen opgemeten voor het broadcasting signaal. In de woningen, de openbare plaatsen en de de kantoren was dat voor het telecommunicatie signaal.

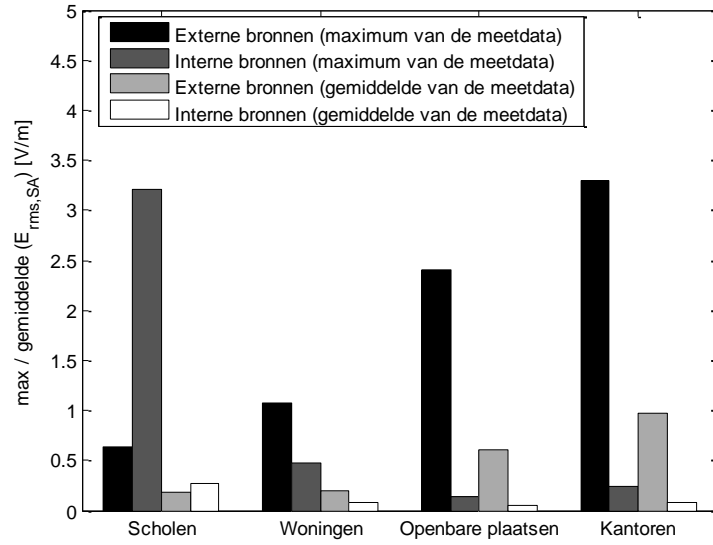
In de scholen, de woningen, de openbare plaatsen en de kantoren werden op minstens 85% van de opgemeten posities broadcasting signalen, telecommunicatie signalen en WiFi signalen opgemeten.

In figuur 6 wordt de bijdrage van de gemiddelde en de maximale elektrische veldwaarden afkomstig van de externe en de interne bronnen, per omgeving weergegeven. Uit deze figuur zien we eveneens dat de hoogste maximale en gemiddelde bijdrage in de scholen afkomstig is van de interne signalen terwijl de externe signalen de hoogste maximale en gemiddelde bijdrage leveren in de woningen, de openbare plaatsen en de kantoren.

Omgeving	Soort signaal	Type bron	<i>n</i> [%]	<i>max</i> (<i>E_{rms,SA}</i>) [V/m]	<i>avg</i> (<i>E_{rms,SA}</i>) [V/m]	<i>mediaan</i> (<i>E_{rms,SA}</i>) [V/m]	σ [dB]	AC [%]	MC [%]
Scholen	Extern	Broadcasting	92	0,421	0,123	0,081	7	41	98
		Telecommunicatie	95	0,585	0,107	0,061	10	17	94
		Overige externe signalen	33	0,138	0,054	0,073	18	5	67
	Intern	DECT	36	0,729	0,098	0,013	13	4	89
		WiFi momenteel	85	3,210	0,243	0,056	15	33	100
	Totaal	Cumulatief alle bronnen	100	3,271	0,351	0,267	8	100	100
		Cumulatief externe bronnen	95	0,630	0,184	0,119	7	63	100
Cumulatief interne bronnen		85	3,210	0,275	0,084	15	37	100	
Woningen	Extern	Broadcasting	88	0,373	0,098	0,070	6	36	96
		Telecommunicatie	98	1,066	0,148	0,053	10	37	100
		Overige externe signalen	-	-	-	-	-	-	-
	Intern	DECT	44	0,466	0,056	0,033	6	5	96
		WiFi momenteel	93	0,289	0,062	0,038	8	22	100
	Totaal	Cumulatief alle bronnen	100	1,075	0,231	0,158	7	100	100
		Cumulatief externe bronnen	98	1,071	0,197	0,106	8	73	100
Cumulatief interne bronnen		95	0,473	0,076	0,044	7	27	100	
Openbare plaatsen	Extern	Broadcasting	96	0,504	0,140	0,101	7	21	73
		Telecommunicatie	100	2,402	0,575	0,501	12	70	100
		Overige externe signalen	-	-	-	-	-	-	-
	Intern	DECT	39	0,040	0,027	0,026	3	2	15
		WiFi momenteel	91	0,136	0,047	0,046	7	7	44
	Totaal	Cumulatief alle bronnen	100	2,404	0,615	0,507	10	100	100
		Cumulatief externe bronnen	100	2,404	0,608	0,505	10	91	100
Cumulatief interne bronnen		91	0,137	0,051	0,048	6	9	48	
Kantoren	Extern	Broadcasting	100	1,136	0,334	0,257	7	16	57
		Telecommunicatie	100	3,248	0,885	0,734	8	77	97
		Overige externe signalen	-	-	-	-	-	-	-
	Intern	DECT	13	0,031	0,026	0,026	2	0	0
		WiFi momenteel	100	0,238	0,075	0,045	9	7	57
	Totaal	Cumulatief alle bronnen	100	3,294	0,985	0,783	7	100	100
		Cumulatief externe bronnen	100	3,294	0,971	0,764	8	93	100
Cumulatief interne bronnen		100	0,238	0,076	0,045	9	7	57	
Alle omgevingen	Extern	Broadcasting	92	1,136	0,149	0,093	7	32	98
		Telecommunicatie	97	3,248	0,321	0,082	13	42	100

	Overige externe signalen	11	0,138	0,054	0,073	18	2	67
Intern	DECT	36	0,729	0,062	0,029	9	3	96
	WiFi momenteel	91	3,210	0,116	0,044	11	21	100
Totaal	Cumulatief alle bronnen	100	3,294	0,446	0,254	9	100	100
	Cumulatief externe bronnen	97	3,294	0,381	0,158	10	76	100
	Cumulatief interne bronnen	92	3,210	0,131	0,046	10	24	100

Tabel 3: Samenvatting van de n -waarde (n), het maximum (max), het gemiddelde (avg), de mediaan ($mediaan$) en de standaardafwijking (σ) van de opgemeten elektrische veldwaarden met de spectrumanalyser ($E_{rms,SA}$), de gemiddelde en de maximale bijdrage van de vermogenswaarde tot de totale opgemeten vermogenswaarde (MC en AC) van alle opgemeten veldwaarden per omgeving en per type signaal alsook voor al de opgemeten veldwaarden op alle meetposities.



Figuur 6: De gemiddelde en de maximale waarde van de meetdata ($E_{rms,SA}$) per omgeving afkomstig van de externe en de interne bronnen.

3.2.1.2 *Indoor versus outdoor*

In tabel 4 wordt een samenvatting gegeven van de n -waarde (n), het maximum (max), het gemiddelde (avg), de mediaan ($mediaan$) en de standaardafwijking (σ) van de opgemeten elektrische veldwaarden met de spectrumanalyser ($E_{rms,SA}$), de gemiddelde en de maximale bijdrage van de vermogenswaarde tot de totale opgemeten vermogenswaarde (MC en AC) van de cumulatieve externe en interne signalen per omgeving en voor alle omgevingen samen.

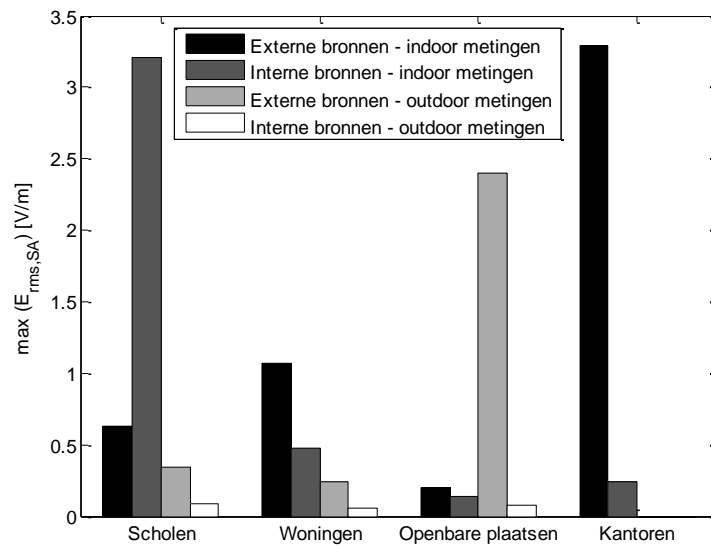
Uit tabel 4 blijkt dat de hoogste maximale en gemiddelde veldwaarden in de scholen, de woningen en de kantoren binnenshuis (*indoor*) werden opgemeten. Voor de scholen waren deze waarden afkomstig van de interne bronnen terwijl deze in de woningen en de kantoren afkomstig waren van de externe bronnen. Op de openbare plaatsen werden de hoogste maximale en gemiddelde veldwaarden outdoor opgemeten en waren deze afkomstig van de externe bronnen.

Voor de scholen, de woningen en de openbare plaatsen werden de hoogste waarden voor de mediaan en de AC waarden buiten opgemeten en waren deze afkomstig van externe bronnen. In de kantoren werden enkel indoor metingen uitgevoerd, hier waren de hoogste mediaan waarden afkomstig van externe bronnen.

In figuur 7 wordt de bijdrage van de maximale elektrische veldwaarde waarde afkomstig van de externe en de interne bronnen voor de indoor en outdoor metingen, per omgeving weergegeven. Uit deze figuur zien we eveneens dat de hoogste bijdrage in de scholen, woningen en kantoren binnen worden opgemeten. Op de openbare plaatsen werd de hoogste bijdrage buiten gemeten.

Omgeving	Indoor Outdoor	Type bron	n [%]	$max(E_{rms,SA})$ [V/m]	$avg(E_{rms,SA})$ [V/m]	$mediaan(E_{rms,SA})$ [V/m]	σ [dB]	AC [%]	MC [%]
Scholen	Indoor	Cumulatief externe bronnen	94	0,630	0,178	0,105	7	57	100
		Cumulatief interne bronnen	85	3,210	0,308	0,144	15	43	100
	Outdoor	Cumulatief externe bronnen	100	0,338	0,226	0,167	4	98	100
		Cumulatief interne bronnen	80	0,084	0,033	0,017	7	2	6
Woningen	Indoor	Cumulatief externe bronnen	97	1,071	0,205	0,101	9	69	100
		Cumulatief interne bronnen	97	0,473	0,083	0,045	7	31	100
	Outdoor	Cumulatief externe bronnen	100	0,245	0,154	0,152	4	96	100
		Cumulatief interne bronnen	83	0,058	0,030	0,025	4	4	12
Openbare plaatsen	Indoor	Cumulatief externe bronnen	100	0,195	0,115	0,111	4	65	82
		Cumulatief interne bronnen	100	0,137	0,083	0,061	4	35	48
	Outdoor	Cumulatief externe bronnen	100	2,404	0,745	0,629	10	98	100
		Cumulatief interne bronnen	89	0,075	0,041	0,041	6	2	20
Kantoren	Indoor	Cumulatief externe bronnen	100	3,294	0,971	0,764	8	93	100
		Cumulatief interne bronnen	100	0,238	0,076	0,045	9	7	57
	Outdoor	Cumulatief externe bronnen	-	-	-	-	-	-	-
		Cumulatief interne bronnen	-	-	-	-	-	-	-
Alle omgevingen	Indoor	Cumulatief externe bronnen	97	3,294	0,331	0,126	10	69	100
		Cumulatief interne bronnen	93	3,210	0,159	0,052	11	31	100
	Outdoor	Cumulatief externe bronnen	100	2,404	0,533	0,338	9	98	100
		Cumulatief interne bronnen	86	0,084	0,037	0,029	6	2	20

Tabel 4: Samenvatting van de n -waarde (n), het maximum (max), het gemiddelde (avg), de mediaan ($mediaan$) en de standaardafwijking (σ) van de opgemeten elektrische veldwaarden met de spectrumanalyser ($E_{rms,SA}$), de gemiddelde en de maximale bijdrage van de vermogenswaarde tot de totale opgemeten vermogenswaarde (MC en AC) van de cumulatieve externe en interne signalen per omgeving en voor alle omgevingen samen.



Figuur 7: Bijdrage van de maximale waarde ($E_{rms,SA}$) per omgeving afkomstig van de externe en de interne bronnen voor metingen buiten (outdoor) en voor metingen binnen (indoor).

3.2.2 Per signaal

In tabel 5 wordt een samenvatting gegeven van de n-waarde (n), het minimum (min), het maximum (max), het gemiddelde (avg), de mediaan ($mediaan$) en de standaardafwijking (σ), van de opgemeten elektrische veldwaarden met de spectrumanalyser ($E_{rms,SA}$), de maximale blootstellingsverhouding tot de cumulatieve norm / de norm per antenne (ER), de gemiddelde en de maximale bijdrage van de vermogenswaarde tot de totale opgemeten vermogenswaarde (MC en AC) van de verschillende opgemeten RF bronnen en van de cumulatieve externe en interne signalen voor alle omgevingen samen. Er dient nog opgemerkt te worden dat voor de berekening van de maximale blootstellingsverhouding per antenne ($ER_{Vlaanderen, per antenne}$) de signalen apart moeten bekeken worden (bv. voor GSM900 de bijdrage per antenne bepalen en vergelijken met de norm).

Uit tabel 5 blijkt dat de hoogste maximale veldwaarde voor de broadcasting signalen afkomstig is van de T-DAB signalen, voor de telecommunicatie signalen van de GSM900 signalen, voor de interne bronnen is dat van de WiFi 2,4 GHz signalen en voor het cumulatieve signaal zijn de bijdragen van de externe en de interne bronnen gelijkaardig (3,3 V/m voor de externe bronnen en 3,2 V/m voor de interne bronnen). De overige bronnen leveren slechts een beperkte bijdrage met de hoogste bijdrage veroorzaakt door de militaire signalen.

Voor wat betreft de hoogste gemiddelde waarden en de hoogste waarden voor de mediaan, zijn deze voor de broadcasting signalen afkomstig van het FM signaal, voor de telecommunicatie signalen is dat van de GSM900 signalen, voor de overige signalen is dat van de militaire signalen en voor de cumulatieve signalen is dat van de externe bronnen.

Voor de interne bronnen is de hoogste waarde voor de mediaan afkomstig van de WiFi 5 GHz signalen en voor de hoogste gemiddelde waarde is dat van de WiFi 2,4 GHz signalen.

Tabel 5 toont dat alle signalen voldoen aan de cumulatieve immissienorm (kwaliteitsnorm) en de norm per antenne (milieuvoorwaarde) van toepassing in Vlaanderen [1] (alle ER waarden zijn lager dan 100 %). Daarnaast voldoen ook alle opgemeten waarden aan de richtlijnen volgens ICNIRP voor het algemeen publiek [2], [3]. De hoogste blootstellingsverhouding ($ER_{Vlaanderen, cumulatief}$) volgens de cumulatieve norm werd opgemeten voor het GSM900 signaal (cumulatief alle operatoren + GSM-R) (14,4 %) in kantoren en voor het WiFi 2,4 GHz signaal (10,5 %) in scholen. De cumulatieve blootstellingsverhouding van alle andere RF bronnen is lager dan 10 %. Voor wat betreft de blootstellingsverhouding tot de norm per antenne ($ER_{Vlaanderen, per antenne}$) werden de hoogste waarden eveneens opgemeten voor het GSM900 signaal (signaal afkomstig van 1 operator) (86 %) en voor het WiFi 2,4 GHz signaal (71 %). Voor wat betreft de commerciële telecommunicatienetwerken zijn de de blootstellingsverhoudingen (ER) van GSM900 signalen het grootst, de blootstellingsverhoudingen van de WiMAX en LTE signalen zijn het laagst.

In tabel 6 wordt een samenvatting gegeven van de gemiddelde bijdragen van de vermogenswaarde van de verschillende opgemeten RF bronnen en van de cumulatieve externe en interne signalen tot de totale opgemeten vermogenswaarde (AC) voor de meetdata van de outdoor en indoor metingen in alle omgevingen. In figuur 8 worden de gemiddelde vermogensbijdragen per signaal tot het totale opgemeten signaal in alle omgevingen (AC) voor outdoor en indoor metingen visueel weergegeven. Uit deze tabel en figuur blijkt dat voor de outdoor metingen de FM signalen (18 %), de GSM900 signalen (38 %) en de GSM1800 signalen (12 %) de grootste bijdrage leveren. De bijdrage voor de andere bronnen is kleiner dan 10 % voor de outdoor metingen.

Voor de indoor metingen is de grootste bijdrage afkomstig van de FM signalen (21 %), de GSM900 signalen (24 %) en de WiFi signalen (26 %). De bijdrage voor de andere bronnen is kleiner dan 10 % voor de indoor metingen.

Type bron	RF bron	<i>n</i> [%]	<i>min</i> ($E_{rms,SA}$) [V/m]	<i>max</i> ($E_{rms,SA}$) [V/m]	<i>avg</i> ($E_{rms,SA}$) [V/m]	<i>median</i> ($E_{rms,SA}$) [V/m]	σ [dB]	$ER_{Vlaanderen, cumulatief}$ [%]	$ER_{Vlaanderen, per\ antenna}$	AC [%]	MC [%]
Broadcasting	FM	89	0,017	0,521	0,099	0,066	7	3,8	NVT	20,5	98
	T-DAB	71	0,003	0,870	0,057	0,030	8	6,4	NVT	3,8	62
	DVB-T	85	0,008	0,687	0,081	0,041	9	3,9	NVT	7,5	82
Telecommunicatie	PMR	55	0,001	0,064	0,009	0,006	7	0,5	3,2	0,2	8
	Astrid	47	0,002	0,070	0,011	0,008	6	0,5	NVT	0,2	3
	GSM-R	13	0,001	0,241	0,044	0,010	14	1,2	NVT	0,3	14
	GSM900	97	0,005	2,965	0,249	0,070	12	14,4	86,2	27,1	100
	GSM1800	95	0,003	1,118	0,089	0,023	12	3,8	26,5	5,5	86
	LTE	51	0,008	0,262	0,049	0,018	9	0,9	6,1	0,6	6
	UMTS	79	0,012	1,443	0,162	0,040	12	4,7	25,5	8,3	61
	WiMAX	25	0,004	0,261	0,061	0,041	9	0,9	5,8	0,2	7
Interne bronnen	DECT	36	0,005	0,729	0,062	0,029	9	2,5	17,0**	3,4	96
	WiFi 2,4 GHz momenteel	91	0,002	3,209	0,112	0,042	10	10,5	71,3**	19,8	100
	WiFi 5 GHz momenteel	9	0,014	0,290	0,108	0,090	8	0,9	6,4**	0,9	40
Overige signalen	Omroep 853 MHz	5	0,001	0,019	0,004	0,002	9	0,1	0,7*	0,0	0
	Militaire signalen	6	0,073	0,138	0,097	0,096	2	0,4	NVT	1,6	67
Cumulatief	Cumulatief alle bronnen	100	0,027	3,294	0,446	0,254	9	15,4	-	100,0	100
	Cumulatief externe bronnen	97	0,021	3,294	0,381	0,158	10	15,4	-	75,9	100
	Cumulatief interne bronnen	92	0,002	3,210	0,131	0,046	10	10,5	-	24,1	100

NVT: De referentiewaarden betreffende elektromagnetische golven tussen 10 MHz en 10 GHz afkomstig van zendantennes zijn hier niet van toepassing [1].

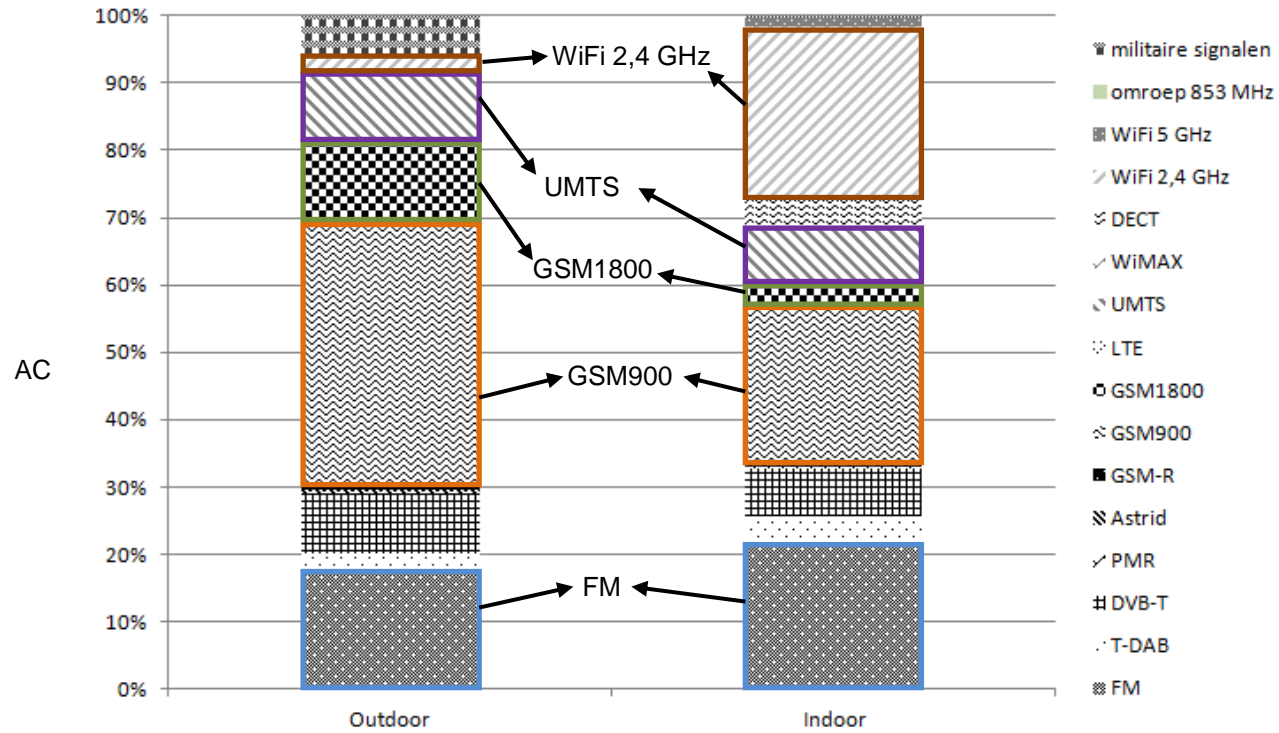
*: Voor dit signaal is het niet duidelijk van welke toepassing dit afkomstig is (van een gebruikerstoestel of van een vaste of tijdelijk opgestelde antenne, ...).

** : Voor het DECT en het WiFi signaal kan geen onderscheid gemaakt worden tussen up- en downlink, bovendien zijn de WiFi en DECT signalen zowel afkomstig van niet vast opgestelde antennes als van vast opgestelde antennes. Niettegenstaande de wetgeving per zendantenne enkel van toepassing is voor vast opgestelde antennes [1], werden bij de berekening van de ER per antenne de veldwaarden van alle antennes (vast en niet vast opgesteld) in rekening gebracht.

Tabel 5: Samenvatting van de *n*-waarde (*n*), het minimum (*min*), het maximum (*max*), het gemiddelde (*avg*), de mediaan (*mediaan*) en de standaardafwijking (σ) van de opgemeten elektrische veldwaarden met de spectrumanalyser ($E_{rms,SA}$), de maximale blootstellingsverhouding per signaal volgens de normen in Vlaanderen ($ER_{Vlaanderen, cumulatief}$ en $ER_{Vlaanderen, per\ antenne}$), de gemiddelde en de maximale bijdrage van de vermogenswaarde tot de totale opgemeten vermogenswaarde (*MC* en *AC*) van de verschillende opgemeten RF bronnen en van de cumulatieve externe en interne signalen voor alle meetdata in alle omgevingen.

Type bron	RF bron	AC [%]	
		Outdoor	Indoor
Broadcasting	FM	17,8	21,4
	T-DAB	2,3	4,3
	DVB-T	9,0	7,0
Telecommunicatie	PMR	0,4	0,2
	Astrid	0,2	0,2
	GSM-R	0,8	0,1
	GSM900	38,2	23,5
	GSM1800	12,3	3,3
	LTE	0,5	0,6
	UMTS	10,0	7,8
	WiMAX	0,2	0,2
	Interne bronnen	DECT	0,5
WiFi 2,4 GHz momenteel		1,8	25,5
WiFi 5 GHz momenteel		0,0	1,2
Overige signalen	omroep 853 MHz	0,0	0,0
	militaire signalen	6,0	0,2
Cumulatief	Cumulatief alle bronnen	100,0	100,0
	Cumulatief externe bronnen	97,7	68,8
	Cumulatief interne bronnen	2,3	31,2

Tabel 6: Samenvatting van de gemiddelde bijdragen van de vermogenswaarde van de verschillende opgemeten RF bronnen en van de cumulatieve externe en interne signalen tot de totale opgemeten vermogenswaarde (AC) voor de meetdata van de outdoor en indoor metingen in alle omgevingen.



Figuur 8: Bijdrage van de gemiddelde vermogensbijdrage per signaal tot het totale opgemeten signaal in alle omgevingen (AC) voor outdoor en indoor metingen.

3.3 Temporele metingen

In deze paragraaf worden de resultaten van de temporele metingen besproken voor de verschillende types signalen. Er wordt een samenvatting gegeven van de gemiddelde variatie van de verschillende types bronnen in functie van de tijd. Er wordt onderscheid gemaakt tussen broadcasting signalen, telecommunicatie signalen (exclusief WiMAX), DECT, WiFi 2,4 GHz en WiMAX. De WiMAX, DECT en WiFi signalen worden apart beschouwd. Voor de WiFi en de WiMAX signalen worden slechts 1 vectorcomponent opgemeten zodat die niet kunnen gecumuleerd worden bij de andere signalen waarvoor het totale veld gemeten werd. De definities van de variaties zijn terug te vinden in de gedetailleerde rapporten. Voor de scholen en de woningen werden metingen gedurende 24 uur uitgevoerd. Voor de openbare plaatsen werd verdeeld over een werkdag op drie verschillende tijdstippen (voormiddag, middag en avond) een meting uitgevoerd op dezelfde positie. Op de openbare plaatsen zijn er hierdoor niet voldoende samples om de 99 percentiel waarde en de standaardafwijking te bepalen.

In tabel 7 wordt een samenvatting gegeven van de gemiddelde waarde voor de $DR_{E,max}$ waarde, de $DR_{E,99}$ waarde en de standaardafwijking van de momentele opgemeten veldwaarden (E_{mom}) voor de verschillende types signalen opgemeten in verschillende omgevingen. Op de openbare plaatsen konden de variaties van de broadcasting signalen en van de WiMAX signalen niet gemeten worden. Uit deze tabel blijkt dat de hoogste variaties opgemeten worden voor de DECT signalen (10,6 dB) en voor de WiFi 2,4 GHz signalen (12,7 dB). Voor alle omgevingen zijn de variaties ten gevolge van de broadcasting signalen (2,3 dB) en de telecommunicatie signalen gelijkaardig en lager dan deze voor de DECT en WiFi signalen.

In tabel 8 wordt een samenvatting gegeven van de gemiddelde waarde voor de $DR_{E,max}$ waarde, de $DR_{E,99}$ waarde en de standaardafwijking voor de momentele opgemeten veldwaarden (E_{mom}) voor de cumulatieve waarde van het DECT signaal, het WiFi 2,4 GHz signaal en de externe bronnen op verschillende tijdstippen opgemeten. Uit deze tabel blijkt dat de grootste variaties gedurende de schooldag worden opgemeten voor het DECT signaal en de externe signalen. 's Avonds worden de hoogste variaties opgemeten voor het WiFi signaal. 's Nachts en 's morgens zijn de variaties voor alle signalen het laagst.

Omgeving	RF bron	gemiddelde		
		$DR_{E,max}$ [dB]	$DR_{E,99}$ [dB]	σ_E [dB]
Scholen	Broadcasting	2,4	2,0	0,4
	Telecommunicatie	3,8	2,9	0,7
	DECT	13,4	11,8	2,9
	WiFi 2,4 GHz*	12,6	7,7	1,6
	WiMAX*	-	-	-
Woningen	Broadcasting	3,2	2,5	0,5
	Telecommunicatie	3,0	2,3	0,5
	DECT	8,5	6,3	1,4
	WiFi 2,4 GHz*	12,7	9,1	1,8
	WiMAX*	2,1	1,8	0,4
Openbare plaatsen	Broadcasting	1,3	-	-
	Telecommunicatie	1,5	-	-
	DECT	-	-	-
	WiFi 2,4 GHz	-	-	-
	WiMAX	-	-	-
Alle omgeving en	Broadcasting	2,3	2,3	0,5
	Telecommunicatie	2,7	2,6	0,6
	DECT	10,6	8,7	2,1
	WiFi 2,4 GHz*	12,7	8,5	1,7
	WiMAX*	2,1	1,8	0,4

*: Deze waarden zijn voor 1 vectorcomponent van het elektrisch veld aangezien er slechts 1 component van het totale veld opgemeten werd.

Tabel 7: Samenvatting van de gemiddelde waarde voor de $DR_{E,max}$ waarde, de $DR_{E,99}$ waarde en de standaardafwijking van de momentele opgemeten veldwaarden (E_{mom}) voor de verschillende types signalen opgemeten in verschillende omgevingen.

Omgeving	Tijdstip	RF bron	gemiddelde		
			$DR_{E,max}$ [dB]	$DR_{E,99}$ [dB]	σ_E [dB]
	Ochtend	DECT	6,3	5,1	1,0
		WiFi 2,4 GHz	5,1	3,9	0,7
		Cumulatief externe bronnen*	2,1	1,8	0,3
	Schooldag	DECT	10,2	8,9	2,5
		WiFi 2,4 GHz	8,9	6,3	1,3
		Cumulatief externe bronnen*	3,0	2,6	0,6
	Avond	DECT	7,9	5,2	1,4
		WiFi 2,4 GHz	9,9	7,7	1,7
		Cumulatief externe bronnen*	2,6	2,2	0,4
Nacht	DECT	6,4	4,9	1,0	
	WiFi 2,4 GHz	5,3	3,6	0,6	
	Cumulatief externe bronnen*	2,1	1,8	0,3	

*: De WiFi en WiMAX signalen werden hier niet bij gecumuleerd aangezien slechts 1 vectorcomponent werd opgemeten voor deze signalen.

Tabel 8: Samenvatting van de gemiddelde waarde voor de $DR_{E,max}$ waarde, de $DR_{E,99}$ waarde en de standaardafwijking voor de momentele opgemeten veldwaarden (E_{mom}) voor het DECT signaal, het WiFi 2,4 GHz signaal en de cumulatieve waarde van de externe bronnen op verschillende tijdstippen opgemeten.

In tabel 9 wordt een samenvatting gegeven van de gemiddelde waarde voor de $DR_{DC,max}$ waarde, de $DR_{DC,99}$ waarde en de standaardafwijking voor de duty cycle afkomstig van het WiFi 2,4 GHz signaal op verschillende tijdstippen opgemeten in de scholen, in de woningen en op de openbare plaatsen. Uit deze tabel blijkt dat de grootste variaties in de scholen worden opgemeten, op de openbare plaatsen worden de laagste variaties opgemeten.

In tabel 10 wordt een samenvatting gegeven van de gemiddelde waarde voor de $DR_{DC,max}$ waarde, de $DR_{DC,99}$ waarde en de standaardafwijking voor de duty cycle afkomstig van het WiFi 2,4 GHz signaal op verschillende tijdstippen opgemeten in de scholen en in de woningen. Uit deze tabel blijkt dat de hoogste variaties voor de duty cycle gedurende de schooldag worden opgemeten. 's Avonds zijn de variaties iets lager en 's nachts en 's morgens zijn deze het laagst.

Tijdstip	gemiddelde		
	$DR_{DC,max}$	$DR_{DC,99}$	σ_{DC}
Alle Data	[dB]	[dB]	[dB]
Scholen	30,6	10,9	2,9
Woningen	6,4	4,3	0,9
Openbare plaatsen	2,7	-	-
Alle data	11,9	6,3	1,5

*: Deze waarden zijn voor 1 vectorcomponent van het elektrisch veld aangezien er slechts 1 component van het totale veld opgemeten werd.

** : WiFi werd hier niet meegerekend aangezien slechts 1 component van het totale veld werd opgemeten.

Tabel 9: Samenvatting van de gemiddelde waarde voor de $DR_{DC,max}$ waarde, de $DR_{DC,99}$ waarde en de standaardafwijking voor de duty cycle afkomstig van het WiFi 2,4 GHz signaal op verschillende tijdstippen opgemeten in de scholen, in de woningen en op de openbare plaatsen.

Tijdstip	gemiddelde		
	$DR_{DC,max}$	$DR_{DC,99}$	σ_{DC}
Alle Data (sholen en woningen)	[dB]	[dB]	[dB]
Ochtend	2,0	1,9	0,2
Schooldag	12,7	9,8	1,9
Avond	4,9	4,3	1,1
Nacht	1,9	1,8	0,2

Tabel 10: Samenvatting van de gemiddelde waarde voor de $DR_{DC,max}$ waarde, de $DR_{DC,99}$ waarde en de standaardafwijking voor de duty cycle afkomstig van het WiFi 2,4 GHz signaal op verschillende tijdstippen opgemeten in de scholen en in de woningen.

3.4 Duty cycles verschillende belasting van het draadloos netwerk

In tabel 11 wordt de maximale en de gemiddelde duty cycle weergegeven bij verschillende belasting van het draadloos netwerk opgemeten in verschillende scholen, woningen en kantoren. Hiervoor werd een laptop geconnecteerd met het draadloos netwerk. De duty cycle werd opgemeten voor drie verschillende scenario's bij connectie van 1 gebruiker met het netwerk: geen netwerkactiviteit met de geconnecteerde laptop, streamen van video en het downloaden van een bestand. Uit de tabel blijkt dat de duty cycle en dus ook de blootstelling afhankelijk is van de activiteit. Bij het "downloaden van een bestand" wordt de hoogste duty cycle opgemeten omdat het kanaal dan het meest 'bezet' is. De maximale opgemeten duty cycle bedraagt 83,1 %

Activiteit	(duty cycle) _{max} [%]	(duty cycle) _{gemiddelde} [%]
Geen activiteit door geconnecteerde laptop	5,8	2,8
Streamen van video: 'Het Journaal' op www.deredactie.be	18,9	7,3
Downloaden van een bestand: http://miktex.org/download	83,1	35,1

Tabel 11: De maximale en de gemiddelde duty cycle bij verschillende belasting van het draadloos netwerk met 1 gebruiker, opgemeten in verschillende scholen, woningen en kantoren.

3.5 Exposimeter routes

Met een exposimeter werden continu elektromagnetische veldmetingen uitgevoerd in verschillende omgevingen terwijl een bepaald traject werd afgelegd. Deze metingen werden per traject op 3 verschillende tijdstippen (voormiddag (rond 9 uur), namiddag (rond 12 uur) en avond (na 16 uur)) gedurende dezelfde meetdag herhaald. Dit toestel meet naast de downlink signalen ook de bijdrage van de uplink signalen op.

Het doel van de exposimeter metingen bestaat erin na te gaan wat de blootstelling is aan RF elektromagnetische velden, van een persoon die de exposimeter draagt terwijl deze zich in een bepaalde omgeving bevindt. Exposimeters zijn niet geschikt voor vergelijking met de normen (door o.a. hoge meetonzekerheid tot 23 – 30 dB) maar zijn meer geschikt om gemiddelde blootstellingen in verschillende omgevingen te vergelijken.

Er werden routes uitgevoerd met de auto het openbaar vervoer, te voet en met de fiets.

De grootste variaties voor de mediaan (p50) van de cumulatieve waarden werden opgemeten voor de route met de auto in de stad (T3) en voor de route met de stad / op het platteland met de trein en de tram (T5).

De grootste variatie voor de mediaan van de verschillende signalen gedurende een meetdag, werd opgemeten op de route met de auto in de stad (T3) en was afkomstig van het GSM1800 uplink signaal.

De hoogste waarde voor het cumulatieve signaal werd gemeten op de route in de stad met de bus en te voet (T1) en bedroeg 3,89 V/m. Deze waarde werd gemeten in de bus en werd gedomineerd door het GSM900 uplink signaal. De hoogste waarde voor de mediaan (p50) waarde van het cumulatieve signaal werd opgemeten op de route te voet door de stad (T4) en bedroeg 0,31 V/m en werd gedomineerd door het GSM900 downlink signaal.

4 AANBEVELINGEN

Uit de breedbandmetingen en de spatiale smalbandmetingen blijkt dat alle opgemeten momentele veldwaarden voldoen aan de cumulatieve immissienorm (milieukwaliteitsnorm) van kracht in Vlaanderen [1] en aan de richtlijnen van ICNIRP voor het algemeen publiek [2], [3]. Bovendien blijkt uit de spatiale smalbandmetingen met de spectrumanalyser dat op alle locaties voldaan is aan de milieuvorwaarden voor elektromagnetische straling (3 V/m voor 900 MHz) van vast opgestelde zendantennes. Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat bij extrapolatie van het WiFi signaal naar de worst-case waarde (bij maximale belasting van het WiFi netwerk bv. het downloaden van een bestand), het mogelijk is dat de norm per antenne voor vast opgestelde antennes (milieuvorwaarden voor elektromagnetische straling) van toepassing in Vlaanderen overschreden wordt. Dit was het geval in een school waar gebruik gemaakt werd van WiFi arrays die kunnen uitzenden op verschillende kanalen tegelijkertijd. Hier werd het advies gegeven om het access point te verplaatsen. We willen opmerken dat deze toestellen steeds met zorg geïnstalleerd moeten worden (aantal kanalen beperken, het vermogen, beperken, voldoende afstand houden tot de gebruikers, ...).

Voor de externe bronnen en voor de interne bronnen zoals DECT en gewone WiFi access points (AP) waarbij slechts op 1 kanaal kan uitgezonden worden liggen alle waarden onder de geldende regelgeving en was er geen probleem. Voor deze bronnen dienen dus geen speciale maatregelen getroffen te worden. De hoogste waarden voor de interne bronnen werden opgemeten in de buurt van WiFi access points en DECT basisstations. De hoogste waarden voor de externe bronnen werden opgemeten in de kantoren op de hoogste verdiepingen, LOS (line-of-sight) van de antennes.

Hieronder worden aanbevelingen gegeven om de blootstelling zoveel als mogelijk te beperken indien gewenst.

Voor wat betreft de blootstelling aan interne bronnen (DECT en WiFi) die geplaatst worden op verantwoordelijkheid van particulieren /werkgevers kunnen we de blootstelling zoveel mogelijk proberen te beperken door o.a. de toestellen zo op te stellen dat er steeds goede verbinding is tussen het draagbare toestel en het basisstation. Bovendien zorgt een goede signaalkwaliteit van het WiFi signaal voor minder retransmissies van de gegevens waardoor de duty cycle lager is en bijgevolg ook de gemiddelde blootstelling.

Verder is het ook raadzaam de basisstations (DECT basisstation / WiFi access point) op voldoende afstand (> 1 meter) op te stellen van plaatsen waar bewoners / werknemers / studenten gedurende langere tijd verblijven (bv. in de buurt van het bed in de slaapkamer, vlakbij de lessenaars van schoolkinderen, ...).

Voor wat betreft DECT kan je een model kopen dat geen RF signalen uitzendt wanneer het draagbare toestel op het basisstation ligt (bv. Eco DECT). Daarnaast bestaan er ook nog klassieke bedrade telefoontoestellen die eventueel voor lange telefoongesprekken kunnen gebruikt worden.

Voor wat betreft de blootstelling ten gevolge van WiFi apparaten (access points, WiFi adapters in laptops, smartphone en tablets) kan bij deze toestellen WiFi uitgeschakeld worden en via het bedraad netwerk verbinding gemaakt worden met het netwerk. Dit bespaart bijkomend ook energie. Voor WiFi access points kan het uitgestuurd vermogen soms aangepast worden en bovendien staat WiFi standaard geactiveerd zonder dat de gebruiker het zelf weet (bv. access point dat deel uit maakt van een homespot).

Voor wat betreft de blootstelling aan RF straling afkomstig van draagbare toestellen (bv. GSM telefoons) die gebruikt worden voor communicatie met externe basisstations (bv. GSM masten) kan deze beperkt worden door op een plaats te staan waar de signaalkwaliteit goed is. In het openbaar vervoer (bv. in de trein) worden vaak de hoogste momentele veldwaarden opgemeten die gedomineerd worden door uplink signalen van mobiele toestellen. Ook indien het toestel niet gebruikt wordt, zendt dit geregeld signalen uit om connectie met het netwerk te behouden.

Verder is het raadzaam om een toestel te gebruiken dat gebruik maakt van een recente technologie (3G, 4G). De steeds evoluerende technologische verbeteringen (bv. gevoeliger antennes in de toestellen) zorgen ervoor dat steeds minder vermogen nodig is voor het zenden en ontvangen. Bovendien is het ook zo dat een GSM toestel het meest straalt bij het initialiseren van het gesprek (wanneer je de beltoon hoort), door het toestel verder van je weg

te houden tot je de gesprekspartner hoort, vermindert de blootstelling ook. Tijdens het telefoneren kan je gebruik maken van een headset waardoor de afstand tussen het lichaam en het toestel toeneemt wat een lagere blootstelling tot gevolg heeft.

Vaak raadt men aan om een toestel te kopen met een lage SAR waarde. Dit klopt in gevallen met slechte ontvangst omdat het toestel dan signalen uitzendt aan het maximum vermogen. Hoe hoger de SAR waarde van het toestel hoe hoger het maximum beschikbaar vermogen. In gevallen met goede ontvangstkwaliteit kan het verschil in blootstelling erg klein of zelfs onbestaande zijn omdat het vermogen van het toestel varieert in de tijd. Het is daarom beter om niet te bellen bij slechte ontvangstkwaliteit.

Door goede afspraken te maken met de manier van het gebruik van GSM's, tablets, smartphones, ... (bv. gebruik een oortje bij het bellen) met o.a. kinderen kan je verantwoord gebruik maken van mobiele toestellen. Anti-stralingsproducten die zagezegd de RF straling van mobiele toestellen verlagen dienen grondig geëvalueerd te worden voor gebruik aangezien er veel valse producten op de markt zijn die vaak het omgekeerde effect (meer straling veroorzaken) hebben en bijkomend extra energie verbruiken.

De bijdrage van LTE was op het moment van de metingen (najaar 2012 – voorjaar 2013) nog laag en bovendien is deze nieuwe technologie volop in opmars. Het is daarom aan te raden dat er op regelmatige basis nieuwe meetcampagnes en steekproeven worden uitgevoerd om de bijdrage van bestaande en nieuwe technologieën te evalueren en te vergelijken met de regelgeving die van kracht is. Daarnaast is het ook zo dat in scholen meer en meer draadloze technologieën geïntegreerd worden die bijkomende straling veroorzaken waardoor nieuwe meetcampagnes zeker aan te raden zijn.

Aangezien de hoogste veldwaarden voor de verschillende signalen gedurende de schooldag worden opgemeten is het aan te bevelen om metingen steeds gedurende de schooldag uit te voeren.

5 BESLUIT

Uit de breedbandmetingen en de spatiale smalbandmetingen blijkt dat alle opgemeten veldwaarden voldoen aan de cumulatieve immissienorm (milieukwaliteitsnorm) van kracht in Vlaanderen [1] en aan de richtlijnen van ICNIRP voor het algemeen publiek [2] ,[3]. Bovendien blijkt uit de spatiale smalbandmetingen met de spectrumanalyser dat op alle locaties voldaan is aan de milieuvorwaarden voor elektromagnetische straling (3 V/m voor 900 MHz) van vast opgestelde zendantennes.

De maximum opgemeten waarde met de breedbandprobe bedroeg 3,5 V/m en werd opgemeten in de kantoren. De maximum opgemeten cumulatieve veldwaarde bij de nauwkeurige spatiale smalbandmetingen bedroeg 3,3 V/m (15,4 % van de cumulatieve norm van kracht in het Vlaams Gewest) in de kantoren. Voor de externe bronnen bedroeg de hoogste cumulatieve veldwaarde 3,3 V/m, deze waarde werd opgemeten in de kantoren en was afkomstig van telecommunicatie signalen. De hoogste cumulatieve waarde voor de interne bronnen bedroeg 3,2 V/m, deze waarde werd opgemeten in de scholen en was afkomstig van WiFi signalen.

Voor wat betreft de RF signalen werden in deze studie vooral de downlink signalen (= signalen van het basisstation naar het draagbare toestel) beschouwd. Uit deze studie bleek dat de FM, GSM en UMTS signalen de grootste bijdrage leveren tot de totale blootstelling voor de metingen buiten. Voor de metingen binnen leveren de FM, GSM en WiFi signalen de grootste bijdrage tot de totale blootstelling.

Voor de uplink signalen (= signalen van het draagbare toestel naar het basisstation) die enkel opgemeten werden met de exposimeter, bleek dat de maximale momentele (niet uitgemiddelde) veldwaarden afkomstig waren van GSM900 en GSM1800 uplink signalen.

Op het moment van de metingen werden, voor wat betreft de nieuwe technologie LTE, die volop in uitbouw is, maximale waarden tot 0,26 V/m opgemeten (1 % van de cumulatieve immissienorm van toepassing in Vlaanderen).

De hoogste temporele variaties werden opgemeten in de scholen en woningen voor de DECT en WiFi 2,4 GHz signalen. De grootste variaties werden gedurende de schooldag opgemeten. 's Nachts en 's morgens zijn de variaties het laagst.

6 ENGLISH SUMMARY

Nowadays, wireless technologies such as smart phones and tablets, and wireless networks such as wireless local area networks (WLAN) are frequently used for educational purposes or for daily use by children at school, in homes, and at public places. The rapid expansion of networks and wireless devices in schools and homes is a growing concern for parents and school boards, because of the possible adverse health effects of radio frequency (RF) electromagnetic fields (EMF). Consequently, The Environment, Nature and Energy Department of Flanders (LNE) expressed the need to characterize radio frequency electromagnetic field (RF-EMF) emissions and assess exposure levels for new and emerging RF technologies.

In this study, exposure to radio frequency (RF) electromagnetic fields (EMF) is assessed in four environments, namely schools, homes, public places, and offices in suburban and urban environments (Flanders, Belgium). In-situ assessment is conducted by performing spatial broadband, accurate narrowband, and temporal measurements. A distinction between internal (transmitters that are located indoors) and external sources (outdoor sources from broadcasting and telecommunication) is made.

All measured field levels satisfied the cumulative norm of Flanders and the guidelines of the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). Also the Flemish norm for fixed transmitting antennas was satisfied. The maximum measured electric-field value with the broadband probe was 3.5 V/m in offices. From the 713 measurements, 39% (277) were below the sensitivity of the broadband probe, which is 0.2 V/m. In total 119 narrowband measurements were performed. The maximum cumulative field value determined with the accurate narrowband setup was 3.3 V/m found in offices. For the external sources, the highest cumulative field value was 3.3 V/m, in offices and due to telecommunication signals. The highest cumulative field value for internal sources was 3.2 V/m, in schools and originating from WiFi. In this study we focused on downlink signals (i.e., communication from base station to mobile phone). FM, GSM and UMTS dominate the total downlink exposure for the outdoor measurements. For the indoor measurements, FM, GSM and WiFi dominate the total exposure. For uplink signals (i.e., communication from mobile phone to base station), which were measured with exposimeters, GSM900 and GSM1800 caused the highest field values. At the time of the measurement campaign, the new technology LTE was being rolled out, for which maximum field values of 0.26 V/m were measured (1% of the cumulative norm in Flanders). Further and regular exposure assessment will be needed to evaluate the contribution of these emerging technologies.

The highest temporal variations were measured in schools and homes for DECT and WiFi. Highest variations were measured during the school day. At night and in the morning, the variations are the lowest.

The following measures to reduce exposure of internal sources can be taken. The highest exposure will be found close to the WiFi or DECT access point and the environment minimally influences the exposure. Further away from the access point, the environment will be an important influencing factor of the exposure as the electromagnetic fields are diffused in the room where the access point is located. From separations of more than 1 meter from the source, a nearly constant level is obtained. Thus, one can minimize of WLAN and DECT exposure by placing the access points one meter or more away from locations where people stay for a longer time e.g., a desk or bed.

The duty cycle is the percentage of the time that there is a signal (expressed in power) present in the channel. The duty cycle thus has a huge impact on the electric-field level. At locations with bad coverage (low maximum field value) the duty cycle could increase a lot due to retransmissions of the data, thus increasing the root-mean-square (rms) electric-field value. Thus, the exposure can be less in locations with better coverage. Therefore, at locations where the WiFi connection is used often, the coverage should be good enough to avoid retransmissions, and thus higher duty cycles and exposure.

Switching off the access points when not in use of course also reduces the exposure. Even if the WiFi connection is not used the base station will regularly send beacon signals e.g., every 100 ms.

REFERENTIES

- [1] Het besluit van de Vlaamse Regering van 19 november 2010 tot wijziging van het besluit van de Vlaamse Regering van 1 juni 1995 houdende algemene en sectorale bepalingen inzake milieuhygiëne wat betreft de normering van vast en tijdelijk opgestelde zendantennes voor elektromagnetische golven tussen 10 MHz en 10 GHz. Het Besluit is van kracht vanaf 23 januari 2011 (BS 13/01/2011).
- [2] International Commission on Non-ionizing Radiation Protection, 1998, "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)," Health Physics, Vol. 74, No. 4, pp. 494-522.
- [3] International Commission on Non-ionizing Radiation Protection, Aug. 2009, "ICNIRP statement on the Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)" <http://www.icnirp.de/documents/StatementEMF.pdf>.