



PUBLICATIE VAN DE HOGE GEZONDHEIDSRAAD nr. 8194

Mogelijke biologische effecten van gemoduleerde microgolven

6 februari 2008

SAMENVATTING EN SLEUTELWOORDEN

In dit advies antwoordt de Hoge Gezondheidsraad op de vraag of blootstelling aan gepulseerde en gemoduleerde radiofrequente-golven en microgolven nadelige effecten op de gezondheid kunnen veroorzaken. Deze microgolven zijn voornamelijk afkomstig van draadloze communicatietechnologiën, waar de bevolking in toenemende mate aan wordt blootgesteld.

De trage variatie ten gevolge van amplitudemodulatie is een technische eigenschap die potentieel een effect zou kunnen uitoefenen op biologische systemen. Om een effect te kunnen uitoefenen is het echter noodzakelijk dat er demodulatie van het gemoduleerde signaal in het biologische systeem plaatsvindt. Hoewel tot nu toe niet experimenteel bewezen, toont de wiskundige benadering in de bijlagen aan dat het erg aannemelijk is dat biologische systemen kunnen demoduleren en dus onder invloed kunnen staan van de ELF (*Extreme Low Frequency*) afkomstig van gepulseerde en gemoduleerde golven.

Hoewel er de laatste jaren meer en meer studies zijn die biologische effecten aantonen, onder andere op niveau van calciumkanalen en cel excitabiliteit, kan men nog steeds niet spreken van éénduidige evidentie. Verschillende studies tonen effecten aan, andere studies tonen dan weer geen effect aan of bevestigen de aangetoonde effecten in de eerstgenoemde studies niet. Effecten op complexe biologische systemen (diermodellen, vrijwilligers) zijn voor interpretatie vatbaar onder meer omwille van de variatie aan neutraliserende verdedigingsmechanismen en omwille van de moeilijkheid om langdurige cumulatieve effecten aan te tonen. Studies op bevolkingsniveau zijn moeilijk omwille van de statistische vereisten. Het is duidelijk dat de technologische evolutie op vlak van draadloze communicatie ver voor staat op het wetenschappelijk onderzoek over de mogelijke effecten ervan. Het bestaan van een aantal aanwijzingen voor biologische en zelfs gezondheidseffecten zet echter aan tot voorzichtigheid en maakt verdere opvolging en wetenschappelijk onderzoek dan ook noodzakelijk.

Sleutelwoorden

Modulatie – microgolven – gemoduleerd – gepulseerd – GSM – UMTS – straling – WiFi- DECT – biologische effecten – cognitieve effecten – demodulatie – bloed-hersen barrière – voorzorg.

INHOUDSTAFEL

1.	INLEIDING EN VRAAGSTELLING.....	4
2.	UITWERKING EN ARGUMENTATIE	6
2.1	Technische eigenschappen van de gemoduleerde golven	6
2.2	Meting van blootstelling als gevolg van picocellen en microcellen, DECT stations en het Astrid netwerk	8
2.3	Risicoindicatoren voor biologische effecten en gezondheidsproblemen	10
2.3.1	Algemene situering.....	10
2.3.2	Literatuuranalyse van biologische en gezondheidseffecten.....	11
2.4	Mogelijk oorzakelijk verband tussen blootstelling en biologisch effect.....	15
2.4.1	TNO studie en Zwitserse studie aangaande de effecten van gemoduleerde signalen	15
2.4.2	Effecten op de bloed-hersen barrière.....	19
2.4.3	Demodulatie en de toepassing ervan op biologische systemen	19
3.	CONCLUSIE.....	21
4.	REFERENTIES.....	22
5.	BIJLAGEN	24
6.	AANBEVELINGEN VOOR ONDERZOEK.....	25

AFKORTINGEN EN SYMBOLEN

ASTRID	<i>All-round Semi-cellular Trunking Radio communication system with Integrated Dispatchings</i>
CDMA	<i>Code Division Multiple Access</i>
DAB-T	<i>Digital Audio Broadcasting - Terrestrial</i>
DECT	<i>Digital Enhanced Cordless Telecommunications</i>
E-veld	<i>Elektrisch veld</i>
EEG	<i>Elektro-encephalogram</i>
ELF	<i>Extremely Low Frequency</i>
EMF	<i>Electromagnetic Field</i>
GSM	<i>Global System for Mobile Communications</i>
HyperLAN	<i>Hyper Local Area Network</i>
IARC	<i>International Agency for Research on Cancer</i>
ICNIRP	<i>International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection</i>
MRI	<i>Magnetic Resonance Imaging</i>
PET	<i>Positron Emission Tomography</i>
PSD	<i>Power Spectral Density</i>
RF	<i>Radio Frequentie</i>
SAR	<i>Specific Absorption Rate</i>
SPECT	<i>Single photon emission computed tomography</i>
TDM	<i>Time Division Multiplexing</i>
TDMA	<i>Time Division Multiple Access</i>
UMTS	<i>Universal Mobile Communication Systems</i>
UWB	<i>Ultra Wideband</i>
WiFi	<i>Wireless Fidelity</i>
WiMAX	<i>Worldwide Interoperability for Microwave Access</i>
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i>

1. INLEIDING EN VRAAGSTELLING

Naar aanleiding van enkele alarmerende berichten in de pers over de nadelige effecten ten gevolge van blootstelling aan zwakke radiofrequentie velden (RF-velden) met gepulseerd en gemoduleerd karakter van draadloze communicatietechnieken, verzocht de Minister van Volksgezondheid op 28/06/06 de Hoge Gezondheidsraad de actuele wetenschappelijke gegevens hieromtrent te evalueren.

De werkgroep heeft de vraag van de Minister opgevat als ingegeven door de bezorgdheid om geïnformeerd te worden over de eventuele verschillen in biologische effecten ten gevolge van respectievelijk numerieke en analoge signalen.

De blootstelling van het grote publiek aan RF-velden is de laatste jaren gestaag toegenomen. In de eerste plaats zijn telecommunicatie toepassingen, waarbij deze velden gegenereerd worden, toegenomen ten gevolge van de verdere uitbouw van het mobiele telefoonnetwerk (GSM, UMTS), een verbeterde netwerk dekking en de stijgende capaciteit van het netwerk met micro- en picocellen. Er doet zich een ontwikkeling voor van nieuwe technologieën zoals UMTS-breedband, ASTRID, WiMAX en meer recent HyperLAN en UWB. Daarnaast wordt de blootstelling van het publiek ook gekenmerkt door een toename van draadloze communicatie technologieën op korte afstand (WLAN, DECT, Bluetooth, draadloze computer netwerken) en andere toestellen die radiogolven uitzenden voor onder meer binnenhuisgebruik (zoals babyfoons, draadloze hoofdtelefoons en draadloze camerabewakingssystemen).

Met het oog op de bescherming van het algemene publiek tegen mogelijke schadelijke gezondheidseffecten van radiogolven, werden internationale aanbevelingen gegeven, gebaseerd op het warmte-effect, dat momenteel het enige bewezen gezondheidsgerelateerde effect is. Voor antennes zijn door het KB van 10 augustus 2005 maximale veldsterktes in de omgeving van deze antennes vastgelegd (HGR, 2005; KB 10 augustus 2005). Metingen tonen aan dat de meerderheid van de zendmasten die radiogolven uitzenden, voldoet aan dit KB (BIPT, 2005).

De bezorgdheid van het publiek voor eventuele gezondheidseffecten stijgt door het aantal bronnen die zichtbaar aanwezig zijn. Deze bezorgdheid wordt gevoed door wetenschappelijke controverses rond de biologische effecten van zwakke RF straling (niet thermische effecten), en het specifieke karakter van radiogolven waarmee de mens steeds maar dichter in contact komt. Biologische systemen zijn duidelijk ingewikkelder dan de systemen waarop het warmte-effect vroeger werd aangetoond. Studies rond signaal transductie pathways en studies rond calcium kanalen tonen verstoringen aan op het gehele functioneren van cellen (Lai & Singh, 1997; Aldinucci et al., 2000; Delimaris et al., 2006; Friedman et al., 2007; Gandhi, 2005). Uitgesproken en/of aangehouden dysfunctioneren van de celbiologie zou kunnen leiden tot inductie van pathologie (functionele stoornissen, oncologische processen) en verdient verder onderzoek.

We dienen echter een onderscheid te maken tussen de blootstelling aan bronnen zoals zendmasten, die de ganse bevolking ondergaat, en aan apparaten voor persoonlijk gebruik, zoals bijvoorbeeld een GSM toestel, die een persoonlijke keuze inhouden. Verder dient een onderscheid gemaakt te worden tussen het gemiddelde vermogen en het piekvermogen en tussen piekwaarde en effectieve waarde (rms) bij blootstelling aan radiogolven waarbij het belangrijk is om de registratieduur van het RF-veld aan te geven. Korte termijn effecten zijn zowel *in vitro* als *in vivo* vrij gemakkelijk te evalueren. Lange termijn effecten zijn echter moeilijk te evalueren. Hoewel biologische effecten niet noodzakelijk leiden tot pathogene effecten, kunnen zij toch een risicoaanwijzing vormen, maar ook tot positieve gezondheidsevolutie leiden.

Het eerste deel van dit rapport beschrijft de meest gebruikte draadloze technologieën.

Een tweede deel geeft de resultaten van een experimentele blootstellingsevaluatie. Aangezien men nog niet weet welk aspect van de blootstelling het meest relevant is voor evaluatie van

eventuele niet-thermische effecten zijn waarden voor verschillende parameters gegeven (effectieve waarden (rms) en piekwaarden voor het E-veld, SAR waarden en intensiteit en frequentie van ELF componenten). Het rapport analyseert de ELF componenten die maximaal kunnen ontstaan uit een RF signaal en gaat na of dit eventueel tot biologische interacties kan leiden.

In een derde deel wordt daarom de recente wetenschappelijke literatuur over biologische effecten, gerelateerd aan lage blootstellingniveaus, kort besproken (op basis van een rapport van Zwitserse experts, 2006, en van Europese experts, SCENIHR, 2007).

In het vierde deel wordt een werkhypothese die een mogelijk oorzakelijk verband legt tussen blootstelling en biologische effecten besproken.

Tenslotte worden conclusies geformuleerd en aanbevelingen voor onderzoek gegeven.

2. UITWERKING EN ARGUMENTATIE

VOORWOORD

Het domein waarin fysische fenomenen meetbaar zijn, wordt het tijdsdomein genoemd (amplitude – tijd). Een fysisch veranderend fenomeen zoals amplitude wordt bekeken in functie van de tijd of in functie van de frekwentie (respectievelijk tijds- en frekwentiedomein). Het mathematisch verband tussen tijds- en frekwentiedomein wordt door de wet van Fourier beschreven. Het equivalent van een tijdsgebonden signaal in het frequentiedomein noemt men het **spectrum**. Het spectrum van een zuivere sinusgolf (of sinusoïde golf) is zeer eenvoudig: het gaat om de variatie van een verticale lijn, doorgaans een spectrumlijn genoemd.

Een zuivere RF-sinusgolf transporteert **vermogensdichtheid**: ze transporteert geen **informatie**. Opdat een ontvanger informatie als dusdanig zou herkennen, moet hij een signaal ontvangen, gesuperponeerd op de sinusgolf of met andere woorden het modulerend signaal. Wanneer een golf een signaal transporteert, wordt die **draaggolf** genoemd en de frequentie **draagfrequentie**.

Indien men de amplitude van een zuivere sinusoïde wijzigt door die bv. in evenredigheid te brengen met de amplitude van een andere zuivere sinusoïde met een andere frequentie dan die van de eerste, gaat men over tot wat men noemt de **amplitudemodulatie** van de eerste door de tweede en verkrijgt men een **gemoduleerde golf**.

De berekening (Bijlage 1) toont aan dat die gemoduleerde golf bestaat uit een geheel van drie zuivere sinusoïden met amplituden die onderling kunnen verschillen en met frequenties respectievelijk gelijk aan die van de draaggolf, aan de frequentie die het verschil is van de frequenties van de gemoduleerde golf en de modulerende golf alsmede aan de frequentie die de som is van die twee frequenties. De overdracht van de gemoduleerde golf, welke ditmaal een signaal, met name de informatie, transporteert, stemt in dit eenvoudige geval overeen met een combinatie van drie zuivere sinusgolven met verschillende frequenties.

De verschil- en somfrequenties worden de **zijbanden** van de draaggolf genoemd.

Wanneer men van een signaal spreekt, heeft men het over het zgn. **basisbandsignaal**. Het kan met name extreem lage frequenties (**ELF** in het Engels) bevatten. Een draaggolf kan gemoduleerd worden door een signaal met veel verschillende frequenties die een frequentieband vormen. Deze band wordt **radiokanaal** genoemd. De gemoduleerde golf transporteert geen extreem lage frequenties: ze transporteert eventueel frequenties die zeer dicht bij de draagfrequentie liggen, en die door modulatie overgedragen worden van de extreem lage frequenties die eventueel in het basissignaal aanwezig zijn.

Het oudste modulatietype bestaat uit een “on-off”-omschakeling van de radiogolf. De modulatie is in dit geval een rechthoeksgolf, overeenstemmend met bv. de cijfers “1” of “0”. Die amplitudemodulatie wordt **pulsmodulatie** genoemd. Ze wordt modulatie door vierkantsgolf genoemd als de respectieve perioden waarin de golf “on” en “off” is, gelijk zijn. De aldus gemoduleerde radiogolf transporteert het meest eenvoudige **numeriek signaal**.

Demodulatie bestaat uit het regenereren van de door de radiogolf getransporteerde informatie door ontbinding van de spectrumcomponenten.

2.1 Technische eigenschappen van de gemoduleerde golven

De belangrijkste eigenschap van de gemoduleerde RF-golven, is de trage variatie van de amplitude ervan. Deze trage variaties gaan van enkele tientallen van een hertz tot enkele

honderden hertz (ELF 30 Hz – 300 Hz).. In theorie kunnen deze trage variaties het gevolg zijn van twee oorzaken: het fenomeen **interferentie** en de **amplitudemodulatie** van het signaal.

Interferentie treedt op wanneer twee sinusoiden met verschillende frequentie, bijvoorbeeld twee draaggolven, tegelijk voorkomen. Opdat deze interferentie zou kunnen beschouwd worden als een ELF, mag het verschil in frequentie dus maximum enkele honderden hertz bedragen. Bij radiocommunicatiesystemen wordt de frequentieruimte tussen twee kanalen echter uitgedrukt in de orde van grootte die zich in het kHz of MHz gebied bevindt: bijvoorbeeld 200 kHz in het geval van GSM en 5 MHz in het geval van UMTS. Bovendien verhindert de fasemodulatie van de dragers de interactie van deze twee signalen waardoor de amplitude van de interferentie sterk vermindert. Het fenomeen interferentie is dus op zich geen bron van ELF-velden die zouden kunnen resulteren in een biologisch effect ten gevolge van modulatie. De **amplitudemodulatie** van het signaal bevat daarentegen wel ELF-velden die zouden kunnen verantwoordelijk zijn voor een biologisch effect.

Moderne radiocommunicatiesystemen maken gebruik van technieken zoals multiplexing en meervoudige toegang wat impliceert dat de microgolven amplitudegemoduleerd worden. Voorbeelden hiervan zijn meervoudige toegang verdeeld in de tijd (*Time Division Multiple Acces* – TDMA) bij GSM systemen en TETRA, meervoudige toegang verdeeld in de code (*Code Division Multiple Acces* – CDMA) bij UMTS en multiplexing in de tijd (*Time Division Multiplexing* – TDM) bij UMTS en WiMax. Deze **amplitudemodulatie** dient dus niet om informatie over te brengen maar om de beschikbare tijd en frequentie te verdelen tussen meerdere gebruikers of een op- en neergaande verbinding. Wanneer men een amplitudegemoduleerd signaal bekijkt in het spectraal domein vindt men een spectraallijn overeenkomstig de dragerfrequentie naast laterale spectraallijnen met een verschil in frequentie dat overeenkomt met de frequentie van de modulatie. In bepaalde gevallen wordt deze amplitudemodulatie geproduceerd aan een **extreem lage frekwentie (ELF)**. Deze lage frekwenties bestaan dus niet op zichzelf, zij dienen om de hoog frequente draaggolf te moduleren. Een demodulatieproces is nodig opdat zij op zichzelf zouden kunnen bestaan.

Het dient te worden vermeld dat het energieverbruik van een batterij van een draagbare telefoon bijvoorbeeld, verloopt aan een ritme dat overeenstemt met de ELF frequenties die de drager golf moduleren. Men vindt dus in de nabijheid van een werkend draagbaar apparaat een magnetisch veld dat in de tijd varieert aan een extreme lage frequentie. Deze extreem lage frequenties bestaan dus ook onafhankelijk van elk demodulatieproces in de nabijheid van zulk een draagbaar apparaat.

In Bijlage 1 wordt een overzicht gegeven van de ELF componenten die gegenereerd worden bij demodulatie door diverse radiocommunicatiesystemen: **GSM, DECT, analoge televisie, digitale televisie (DAB-T), UMTS, WiFi, Bluetooth, pré-WiMax.**

Naargelang het systeem, kunnen de ELF componenten al dan niet een substantieel aandeel uitmaken van het vermogen van het signaal. Om dit aspect te kwantificeren, zijn meerdere formules mogelijk. Het merendeel van aanbevelingen en normen houden boven een frequentie van 100 kHz rekening met een blootstelling waarvan de effectieve waarde (rms) uitgemiddeld wordt over zes minuten (ICNIRP, 1998).

De onderstaande Tabel 1 geeft het relatief vermogen van ELF-componenten van een aantal communicatiesystemen weer.

Het gaat om waarden berekend op gemeten ogenblikkelijke waarden. De gebruikte methode wordt beschreven in Bijlage 1. Samengevat wordt het signaal opgevangen door een antenne en een amplitudedemodulatie vindt plaats door middel van een diode. Het aldus bekomen tijdsgebonden signaal wordt frequentieel geanalyseerd door middel van de Welsh schattende waarde (de *Power Spectral density* – PSD – die vervolgens wordt berekend). Daaruit leidt men

dan de dichtheid van het vermogenspectrum af. De verhoudingen in Tabel 1 werden bekomen door het eigenlijke vermogen van elk van de ELF componenten te delen door het gemiddelde vermogen. Dit gemiddelde vermogen komt overeen met een component met frequentie nul. De verhouding wordt uitgedrukt in percent.

Tabel 1: Relatief vermogen van ELF-componenten voor een aantal communicatiesystemen.

ELF comp. Hz	GSM hands. %	GSM BTS %	DECT hands. %	Analog TV %	DAB -T %	UMTS FDD hands.	UMTS TDD hands.	UMTS FDD BTS	UMTS TDD BTS	WiFi	pre-WiMax BTS	pre-WiMax CPE	Blue-Tooth (1)
1-15	2.6				0.016	x	x		+				
15-25	1.3				0.018	x	x		x				
25-35					0.015	x	x		x				
35-45					0.015	x	x		x				
45-55				0.29	0.016	x	x		x				
75-125			166	0.029		x	+	x	+	+			
125-175				0.009					x	+			
175-225	179	0.89	163	0.015					x				
225-275				0.088					x				
275-350			159						x				
350-500	145	0.43	154						x		+	+	
500-700	109	0.43							x				

(1) de componenten met lage frequenties van de bluetooth beginnen bij 1,4 kHz terwijl de tabel bij 700 Hz stopt

Een x betekent dat de ELF component niet precies bepaald werd.

Een **vet getal** of **+** vertegenwoordigen een ELF component die een belangrijk aandeel van het vermogen van het signaal vertegenwoordigt.

Deze waarden zijn stabiel, uitgezonderd voor GSM zendmasten. Voor deze zendmasten, werden de waarden verkregen van een gegevensset verkregen op één moment. Als het basisstation op dat moment minder intensief belast zou zijn, dan zou het aandeel van de ELF belangrijker zijn. Omgekeerd zou bij een intensiever telefoonverkeer van het basisstation het niveau continu de maximale waarde benaderen en zullen de ELF-componenten dus een kleiner aandeel uitmaken.

Voor deze ELF componenten is het nodig de termen **piekwaarde** en **gemiddelde waarde** te preciseren. De **effectieve waarde** of **rms-waarde** (*root mean square*) van het elektrisch veld E is de vierkantswortel uit het gemiddelde kwadraat van het veld gedurende een aantal tijdsintervallen. De duur van dit tijdsinterval is bepalend. Een timeslot duurt 0,6 ms en wordt elke 4,6 ms herhaald. In dit geval spreekt men van een **piekwaarde** voor een rms-waarde waarvan de integratieduur groter dan 1,1 ns (periode van de draaggolf bij 900 MHz) en kleiner dan 0,6 ms (duur van het timeslot) is om zodoende de piek die zich voordoet in het timeslot correct op te meten.

Wanneer men spreekt over een **gemiddelde** over 6 minuten, gaat het dus over een rms-waarde waarvan de integratietijd 6 minuten bedraagt. Zulk een gemiddelde brengt aldus de variaties te wijten aan *timeslots* en variaties in belasting van het netwerk in rekening. Redelijkerwijze kan men stellen dat in de meeste gevallen de variaties geobserveerd tijdens 1 minuut, deze, geobserveerd gedurende 6 minuten, sterk benaderen. Een meting die een gemiddelde waarde over 1 minuut geeft zal dus over het algemeen een goede schatting zijn van het gemiddelde over 6 minuten.

2.2 Meting van blootstelling als gevolg van picocellen en microcellen, DECT stations en het Astrid netwerk

Picocellen en microcellen

Recent werden verschillende metingen in België uitgevoerd van de blootstelling van het publiek aan microgolfvelden veroorzaakt door zowel pico- als microcellen, in beide gevallen bij 900 en 1.800 MHz (Bijlage 2).

De intensiteit van de microgolfvelden veroorzaakt door picocellen werd gemeten in de

treinstations Brussel Noord, Centraal en Zuid en in de **luchthaven** Brussel Nationaal. Er werd vastgesteld dat in de drie treinstations de maximum veldwaarde ongeveer 3 V/m bedraagt en dit op 0 tot 5 meter van de picocellen. In de luchthaven (zone A), toont het histogram van de gemeten waarden (Bijlage 2) aan dat meer dan 60 % van de blootstellingswaarden een gemiddelde waarde van 0,6 V/m hebben. Alle veldwaarden bevonden zich onder de waarde van 2 V/m.

De intensiteit van de microgolfvelden veroorzaakt door microcellen werd gemeten in de **winkelstraten** van Brussel, Gent, Brugge, Hasselt en Luik evenals in andere steden. Alle elektrische velden werden gemeten door twee spectrometers (FieldCop en Narda SRM 3000), op een hoogte van 0,1; 1,0 en 1,7 m. Conform met de Belgische norm, werden gemiddelde waarden gemeten over zes minuten van de piekwaarde. Er werd vastgesteld dat er in 30 willekeurig gekozen winkelstraten er een kans is van 95 % dat een persoon blootgesteld wordt aan een elektrisch veld van 1,5 V/m, met een fout van 5 %.

In alle gevallen wijzen de metingen erop dat de velden voldoen aan de Belgische norm.

DECT stations

De metingen van de velden uitgezonden door een telefoon voor binnenshuis gebruik van het DECT type werden in België uitgevoerd (1.880-1.900 MHz) (Bijlage 3).

In Bijlage 3 worden een aantal meetwaarden weergegeven: het gemeten spectrum van een DECT station, verschillende metingen van het elektrische veld tijdens of in afwezigheid van een telefoonverbinding. Er werden piekwaarden gemeten over een tijdspanne van 6 minuten welke aldus beschouwd kunnen worden, als de *worst case* veldsterkte: de piekbelasting die geregistreerd werd over 6 minuten is groter dan de piekbelasting uitgemiddeld over 6 minuten.

De piekwaarde in de onmiddellijke nabijheid (0,5 tot 10 m) van het basisstation in af- en aanwezigheid van een verbinding bedraagt 10 V/m. De uitgemiddelde waarde over zes minuten bedraagt in beide gevallen 0,9 V/m.

De sterkste rms-waarden die in deze meetcampagne gemeten werden, zijn substantieel kleiner dan de limietwaarde voor de veldsterkte die in de Belgische norm aanbevolen wordt in het frequentiegebied van 400 MHz tot 2 GHz. Volgens de interpretatie van de huidige norm zou de blootstelling aan het DECT-signaal geen gezondheidsrisico's inhouden. Deze uitspraak is alleen gebaseerd op de vergelijking tussen deze norm en de effectieve waarde (rms) uitgemiddeld over 6 minuten en houdt geen rekening met de maximale veldsterkte die groter kan zijn dan de rms-waarde van de norm.

ASTRID netwerk

Het ASTRID netwerk werd opgericht voor de oproepen aan de hulp- en veiligheidsdiensten: brandweer, politie, ambulances evenals de communicatie tussen deze diensten onderling. Het bestaat uit ongeveer 500 basisstations, die gemiddeld genomen uit 3 antennes bestaan: 1 zendantenne en 2 ontvangstantennes. Deze antennes hebben een zendvermogen van ongeveer 10 W.

Er werden metingen uitgevoerd van de velden veroorzaakt door een ASTRID station (382 MHz) (Bijlage 4).

Gedurende een oproep werd op 3 m van de antenne een piekwaarde van 36,5 mV/m en een effectieve waarde (rms) van 25,7 mV/m gemeten. De oproep duurt maximum 30 seconden en zolang er geen oproep is wordt geen signaal uitgezonden en is de sterkte van het elektrisch veld gelijk aan de achtergrond. De waarde gemeten op 1 m van de antenne stijgt tot 11,85 V/m. De Belgische norm bedraagt 13,7 V/m bij een frequentie van 382 MHz.

2.3 Risicoindicatoren voor biologische effecten en gezondheidsproblemen

2.3.1 Algemene situering

Het in kaart brengen van de mogelijke impact van elektromagnetische golven op het biologisch systeem van mens en dier is een **complexe uitdaging**. De bronkarakteristieken zoals de “intensiteit” van de elektromagnetische velden, de frequentie, de veldsterkte e.a., zijn door grootheden en eenheden in kaart te brengen en dus meetbaar en reguleerbaar. Anderzijds is er de “duur” en repetitiviteit van de blootstelling. De geschetste signaalcomplexiteit is echter van die aard dat de interactie van de blootstelling met nog complexere biologische systemen zeer moeilijk te vatten is met de huidige staat van conceptontwikkeling. In hoeverre biologische systemen sommige signalen kunnen capteren en demoduleren en er eventueel in hun functioneren door verstoord zouden kunnen worden, is een open vraag. Tot nu toe vindt men hiervoor in de wetenschappelijke literatuur geen evidentie voor pathogene effecten, toch is de mogelijkheid specifieke overweging en verder onderzoek waard.

Het is weinig waarschijnlijk dat macro grootheden zoals energie absorptie of dosis een afdoend middel zijn om die eventuele biologische effecten en hun nog complexere impact op de gezondheid aan te geven, zoals ICNIRP (1998) onderstelt.

De gevolgen van de blootstelling bij levende wezens noemt men “biologisch effect”. Wanneer **biologische effecten** aanleiding geven tot nadelige **gezondheidseffecten** wordt de blootstelling als gevaar aanzien. Biologische effecten vertonen een complex spectrum. Zo kan er een eenvoudig causaal verband zijn met de blootstelling, een cumulatief verloop in de tijd, een effect boven een drempel, een uitgesteld effect, e.a. Een bijkomend probleem is dat de definitie van biologisch effect ten gevolge van elektromagnetische golven nog in volle wetenschappelijke ontwikkeling is. Verschillende niveaus worden bestudeerd. Er zijn uiteraard de meest belangrijke epidemiologische waarnemingen, die juridische draagkracht hebben als ze volgens strikte protocollen zoals van IARC (*International Agency for Research on Cancer*) statistisch aangetoond worden. In afwachting gaat de technologische evolutie en blootstelling van een zeer grote bevolking snel door. Uit de geschiedenis van andere technologische risico's is gebleken dat in geval van grote onzekerheid en gebrek aan kennis over interacties **voorzorg** aangewezen is (EEA, 2002).

Daarom is het nuttig ook de biologische effecten in kaart te brengen ook al is er nog geen eenduidig bewijs van gezondheidseffecten. Biologische effecten kunnen waargenomen worden op **verschillende niveaus**. Vooreerst zijn er beschrijvende **symptomatische** effecten. Een iets diepgaander niveau zijn de **fysiopathologische** effecten, te meten via bijvoorbeeld elektrofysiologische (EEG, evoked potentials), beeldvormende (MRI, PET, SPECT) of immunologische testen. Een nog meer diepgaand niveau is het meten van **moleculaire** variabelen zoals redox-potentialen, genetische afwijkingen of signaal transductie pathways. Het probleem dat zich hier dan stelt is dat de meeste moleculaire variabelen zich situeren in de context van moleculaire netwerken, en zich uiteten in het verstoren van het biologisch evenwicht in deze netwerken. Wanneer op een diepgaand niveau bvb op moleculair vlak een goed causaal verband kan aangetoond worden tussen de gemeten elektromagnetische golven en de waargenomen biologische effecten, hoeft dit niet automatisch gevolgen te hebben voor de globale gezondheid van het individu (en/of de populatie), daarvoor zijn ook waargenomen effecten nodig op de andere (minder diepgaande) niveaus. Wanneer men op een minder diepgaand niveau bvb op fysiologisch vlak effecten kan bewijzen met bijhorend causaal verband, kan men wél automatisch besluiten dat dit duidelijk consequenties heeft voor de globale gezondheid zonder dat daarvoor ook nog op andere (diepere) niveaus effecten dienen waargenomen te worden.

Bij **risicoregulering** in het algemeen wordt ernaar gestreefd om een meetbare indicator voorop te stellen die proportioneel is met het risico voor biologische systemen of voor de gezondheid, zoals dosis bij ioniserende straling en chemische stoffen.

Voor **risicobeheersing** op het terrein is gebruik van veldgrootheden een eerste benadering om het gevaar van een bron te omschrijven. Een relevant dosisconcept van het effect van de blootstelling en de duur op de mens weergegeven is uiteraard meest aangewezen om het risico voor gezondheidseffecten ook epidemiologisch aan te tonen. De evolutie naar biomonitoring is hier veelbelovend.

Een inschatting van het effect van elektromagnetische golven op niveau van pathofysiologie en moleculaire biologie wordt nog verder bemoeilijkt door een grote **interindividuele variabiliteit**, ondermeer veroorzaakt door de aanwezigheid van vele polymorfismen in het **genetisch** potentieel (met betrekking tot detoxificatiemechanismen en herstelmecanismen in eenieders lichaam en met betrekking tot immunologische regulaties). De grote interindividuele variabiliteit wordt op zich verder beïnvloed door de **leeftijd** en mogelijks ook door **geslacht**. Tenslotte wordt het effect op het symptomatisch niveau dan nog eens beïnvloed door de persoonlijke **perceptie** van een mens in relatie tot haar/zijn omgeving. Voor de overheid of regulator stelt zich hierbij een eerste ethisch probleem of men beschermingsmaatregelen wil nemen of normen stellen voor de gemiddelde mens of voor gevoelige individuen.

In 2007 evalueerde het *Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks* voor de Europese Commissie de mogelijke effecten van EMF velden op de gezondheid. In haar rapport haalt SCENHIR (2007) aan dat dierproeven tot nu toe geen bewijs leverden dat RF velden kanker induceren, het effect van gekende carcinogenen versterken of de ontwikkeling van getransplanteerde tumoren, bij proefdieren, versnellen. Het blijft echter een open vraag of de gebruikte experimentele modellen toereikend zijn en gegevens bij hoge blootstellingswaarden zijn schaars. Het rapport besluit dat er geen gezondheidseffecten op éénduidige wijze werden aangetoond bij blootstellingsniveaus lager dan de ICNIRP limieten, opgesteld in 1998. Echter, de beschikbare data waarop deze evaluatie plaatsvond zijn beperkt, vooral voor wat lange termijn blootstelling bij lage niveau's betreft (SCENHIR, 2007).

2.3.2 Literatuuranalyse van biologische en gezondheidseffecten

Het is onmogelijk dergelijke zeer complexe en evoluerende materie rond blootstelling aan elektromagnetische golven, in het bijzonder gemoduleerde radiogolven, volledig in dit rapport te behandelen. Het rapport beperkt zich dan ook tot de concrete vraagstelling vanwege de minister, en bespreekt eerder gericht enkele aspecten van biologische interactie met technische systemen die gebruik maken van microgolven en hun laagfrequente componenten.

De literatuur, waarop ICNIRP zich baseert, toont geen evidentie voor pathogene effecten van lage dosis elektromagnetische straling. In het bijzonder dient erkend dat er nog **geen éénduidige evidentie** bestaat in de huidige literatuur voor **gezondheidseffecten** van gemoduleerde radiogolven.

Over de biologische effecten van elektromagnetische velden werden reeds talrijke studies gepubliceerd. Zowel fysiologische als pathologische effecten werden beschreven, ondermeer: neurofysiologische effecten (op de bloed-hersens barrière, waak- en slaap-EEG, opgewekte cerebrale activiteit, hersenmetabolisme en hersenactiviteit), slaap en cognitieve effecten, wijzigingen in immuunfunctie, gen response en DNA schade, changed transduction pathways, oxidatieve reductieve potentials, ontwikkeling van hersentumoren, kankers bij kinderen, borstkanker enz. Echter, methodologische verschillen tussen de protocols van de experimenten en grote

variaties in de EMF parameters (frequentie, vermogen, afstand tot de bron etc), leiden vaak tot tegenstrijdige gegevens in de literatuur (Valentini et al., 2007).

Eén van de verschillen tussen de protocols van de experimenten is de definitie van de parameter 'regelmatige gebruiker' die gebruikt wordt in epidemiologische studies. Het is duidelijk dat dit een beduidend effect zal hebben op het resultaat van de studie: onderschatting van deze parameter zal leiden tot een verdunningseffect. Een universele definitie van regelmatig gebruik zou dan ook gebaseerd moeten worden op epidemiologische studies over GSM gebruik (Cardis et al., 2007; Soderqvist et al., 2007).

Bovendien onderzoeken de meeste studies korte termijn eerder dan lange termijn effecten. Verschillende case-control studies duiden op een relatie tussen het risico van hersentumoren en de tijd verlopen tussen het eerste gebruik van GSM/draadloze telefoons en de diagnose (latentie periode) (Hardell et al., 2006; Hepworth et al., 2006).

In een poging om de geobserveerde effecten uit epidemiologische studies te verklaren en hun onderliggende mechanismen op te helderen, werden talrijke laboratorium studies uitgevoerd. Echter, gebrek aan bevestiging van de resultaten, door methodologische tekorten zoals reproduceerbaarheid en variabiliteit, leidden tot controversiële data in de literatuur. Verschillende EMF gevoelige genen en proteïnen werden geïdentificeerd maar de biologische gevolgen blijven onopgehelderd (Xu & Chen, 2007).

Het Zwitserse *Office fédérale de l'environnement* (OFEV) publiceerde recent een overzicht van de gevonden effecten, ingedeeld op basis van de in de literatuur gevonden bewijskracht (OFEV, 2007) (Tabel 2).

Tabel 2: Overzicht van bewijsgraad van de beschreven effecten van microgolven (OFEV, 2007).

BEWIJSGRAAD	EFFECT			BLOOTSTELLINGSBRON	DREMPELWAARDEN*
	Ziekten mortaliteit	en	Aantasting van het welzijn		
Bewezen (consistente bevindingen)			Interferentie met medische implantaten	Elektronische toestellen (bv. mobiele telefoon)	
			<i>Microwave hearing</i> (Effecten op het gehoor door microgolven) (Bijlage 5)	Radar installaties	Energie < fluxdensiteit per puls > 20 mJ/m ²
Waarschijnlijk (meerdere aanwijzingen)			Aspecifieke symptomen (hoofdpijn, vermoeidheid, concentratieverlies, malaises, opwarming van de huid etc)	Mobiele telefoon	20 mW/kg – 2W/kg
				Hersenactiviteit Slaapfases	Mobiele telefoon
Mogelijk (enkele aanwijzingen)	Leucemie/lymphomas			Zendmasten voor TV/radio	In de nabijheid van de limietwaarde voor de installaties
	Hersentumoren				20 mW/kg – 2W/kg
		Slaapkwaliteit		radiozenders	In de nabijheid van de limietwaarde voor de installaties
				Cognitieve functies, reactiesnelheid	Mobiele telefoon
			Mogelijkheid om zwakke EM-velden waar te nemen	Mobiele telefoon	20 mW/kg – 2W/kg

Onwaarschijnlijk (meerdere aanwijzingen voor afwezigheid van het effect)	Mortaliteit		Mobiele telefoon	
	Speekselklier tumoren		Mobiele telefoon	
Niet beoordeelbaar (onvoldoende gegevens)	Borstkanker		diverse	
	Oogtumoren		Mobiele telefoon	
	Testiculaire tumoren		Radar pistolen	
	Dodgeboorte		Coagulatie apparaten	
		Aspecifieke symptomen		Basisstations voor mobiele telefonie
		Psychisch welzijn		Diverse
			Fertiliteit	Mobiele telefoon
			Hormonaal systeem	Diverse
			Immunititeit	Diverse
			Cardiovasculaire functies	Diverse
			Gehoor en evenwicht	Mobiele telefoon
		Genotoxiciteit	Blootstelling op het werk	

**De cijfers voor de drempelwaarden van het effect (in mW/kg of W/kg) zijn enkel bedoeld als richtwaarde. Ze refereren naar de locale maximum SAR (specific absorption rate) die voorkomt in het lichaam.*

2.4 Mogelijk oorzakelijk verband tussen blootstelling en biologisch effect

In wezen moet men bij het beantwoorden van de bovengestelde vraag, rekening houden met drie problemen. Ten eerste gaat het over mogelijke lange termijn of zelfs zeer lange termijn effecten, veroorzaakt door een relatief zwakke blootstelling. Bovendien, vraagt men zich af of numeriek gemoduleerde draaggolven biologische effecten (kunnen) veroorzaken die niet veroorzaakt worden door analoog gemoduleerde draaggolven. Anderzijds sluit een biologisch effect een pathologisch effect niet uit (Van Loock, 2007).

Er moet dus rekening gehouden worden met resultaten die niet noodzakelijk doorslaggevend zijn. In de onderstaande punten 1 en 2, worden studies over het welzijn en bepaalde cognitieve functies en de bloed-hersenbarrière behandeld. In punt 3 wordt onderzocht of het menselijk lichaam in staat is een numeriek gemoduleerde golf, met extreem laagfrequente componenten in het basissignaal, te demoduleren. Indien deze hypothese waar blijkt te zijn, wordt het menselijk lichaam blootgesteld aan deze componenten na demodulatie.

2.4.1 TNO studie en Zwitserse studie aangaande de effecten van gemoduleerde signalen

Recent werden twee studies uitgevoerd over het effect van GSM-UMTS velden op welzijn en diverse cognitieve functies: één in Nederland, TNO studie genaamd, (Zwamborn et al., 2003) en een andere in Zwitserland (Regel, 2006). Alleen deze twee studies werden bestudeerd gezien zij specifiek rekening houden met het gemoduleerde en gepulseerde karakter van de microgolven (Bijlage 6).

De resultaten van de TNO studie tonen aan dat er effecten op de perceptie van het welzijn en verschillende cognitieve functies optreden bij blootstelling van mensen aan golven van GSM en UMTS type. De Zwitserse studie toont geen effecten aan bij blootstelling van gezonde volwassenen aan UMTS type golven.

Er bestaan echter belangrijke verschillen tussen beide studies op vlak van:

- proefpersonen
- aantal proefpersonen (steekproefgrootte)
- leeftijd
- geweigerde deelnemers
- blootstelling
- interval tussen de verschillende blootstellingen
- lijsten van de gestelde vragen
- bestudeerde cognitieve functies
- gebruikte statistische analysemethode.

Tabel 3 toont deze verschillen.

Tabel 3: Vergelijking tussen de TNO studie en de Zwitserse studie.

EINDPUNT	TNO	Zwitserse studie	Commentaar
POPULATIE			
Proefpersonen	Groep 1 is samengesteld uit personen met gezondheidsklachten, die ze toeschreven aan hun gevoeligheid voor elektromagnetische velden, Groep 2 bestond uit mensen die dit soort klachten niet hadden.	Groep 1 was samengesteld uit personen die zichzelf omschreven als gevoelig voor elektromagnetische velden, met of zonder klachten. De andere groep waren mensen die zichzelf als niet "elektrogevoelig" beschouwden.	
Aantal	72	117	
Leeftijd	Tussen 18 en 75 jaar.	Tussen 20 en 60 jaar.	
Exclusiecriteria	Aandoeningen van het zenuwstelsel, epilepsie, claustrophobie, psychiatrische behandelingen binnen de zes maanden voor de aanvang van het onderzoek, psychoactieve medicatie binnen de twee weken ervoor, pacemaker, gehoorapparaat/implantaat.	Voorgaande hoofdwonden, neurologische of psychiatrische aandoeningen, regelmatig gebruik van narcotica of psychoactieve geneesmiddelen binnen de zes weken voor de aanvang, pacemaker, gehoorapparaat/implantaat, rokers, mensen met klachten als gevolg van chronische ziekte, zwangerschap, gemiddeld alcoholgebruik van meer dan 10 glazen per week, cafeïne gebruik van meer dan 450 mg cafeïne per dag (ongeveer 3 tassen), lange afstandsvlucht van meer dan drie tijdzones binnen een maand ervoor.	
			De blootgestelde populaties zijn nogal verschillend, de Zwitserse studie heeft een homogener samengestelde populatie.

EINDPUNT	TNO	Zwitserse studie	Commentaar
BLOOTSTELLING	Drie verschillende blootstellingen per persoon: 2 echte + 1 placebo	Drie verschillende blootstellingen per persoon: 2 echte + 1 placebo	
Echte blootstelling	Twee van de drie verschillende soorten signalen: GSM 900 MHz, GSM 1.800 MHz, UMTS 2.100 MHz, (evenredige distributie van elke combinatie: 36 personen per groep; elk signaal werd dus voor 24 personen gebruikt)	Geen blootstelling aan GSM. Blootstelling aan UMTS	
Effectieve veldsterkte	GSM: 0,7 V/m UMTS: 1 V/m	UMTS: 1 V/m en 10 V/m.	
Schijnblootstelling (placebo)	Elke proefpersoon werd ook aan een schijnblootstelling onderworpen.	Elke proefpersoon werd ook aan een schijnblootstelling onderworpen	
Duur	Blootstelling zo lang als nodig om de cognitieve functietests te voltooien, ongeveer 20-25 minuten.	Blootstellingsduur van ongeveer 45 minuten.	
Tijdsinterval tussen sessies	Voor elke proefpersoon vonden alle onderzoeken in één dag plaats. Tijdsinterval tussen twee sessies: ongeveer 20-25 minuten. Elke sessie kon 45 minuten na de start van de vorige sessie starten.	De auteurs oordeelden dat er in de TNO studie <i>carry-over</i> effecten konden plaatsvinden. Daarom werd gebruik gemaakt van een tijdsinterval van 1 week, voor elke persoon op ongeveer hetzelfde tijdstip van de dag.	
TEST			
Vragenlijst	Er werd een lijst gebruikt die een aangepaste versie was van een vragenreeks opgesteld om hoge bloeddruk te onderzoeken, waarbij effecten over langere termijn gemeten werden	De TNO-lijst werd gebruikt om een vergelijking te kunnen maken, evenals een andere vragenlijst.	
Cognitieve functies	Door TNO ontwikkelde Taskomat: vijf versch. computergestuurde geheugen- en reactietests: <ul style="list-style-type: none"> - reactietijd - Geheugen vergelijking - Visueel selectieve aandacht - Dubbele taak - Filtreren van irrelevante informatie. Deze testbatterij werd éénmaal per sessie afgenomen.	In de Zwitserse studie gebruikte tests: <ul style="list-style-type: none"> - Visueel selectieve aandacht - eenvoudige reactietijd test - twee keuzes reactietijd test - geheugentest Deze testbatterij werd tweemaal per sessie afgenomen.	

EINDPUNT	TNO	Zwitserse studie	Commentaar
STATISTISCHE ANALYSE	<p>ANOVA (<i>Analysis Of Variance</i>): alle variabelen worden meegenomen: blootstelling (placebo, GSM900, GSM1.800, UMTS), groep (met en zonder klachten), sessie (eerste, tweede, derde), volgorde (18 verschillende volgordes mogelijk) plaats proefpersoon in volgorde (36 personen in elk van de twee groepen), voor- of namiddag.</p> <p>ANOVA veronderstelt een normaalverdeling. Gezien dit niet altijd het geval was, werden ook andere methodes gebruikt om de data te analyseren (Wilcoxon, mediaantoets).</p>	<p>De analyse werd afzonderlijk voor de twee groepen uitgevoerd, door middel van <i>linea-mixed</i> modellen. De variabelen zijn: blootstelling (placebo, 1 V/m, 10 V/m) en tijd (week 1, 2, 3).</p> <p>De testserie voor blootstelling werd eveneens als variabele voor de analyse van de cognitieve functies meegenomen. Extreme resultaten (groter dan 4x de mediane afwijking) werden niet in rekening genomen.</p> <p>Wanneer de data niet normaal verdeeld bleken te zijn, werd de Wilcoxon test gebruikt.</p>	
COGNITIVE RESULTS	<p>Relatie tussen blootstelling aan UMTS en welzijn</p> <p>Veranderingen bij diverse cognitieve functies zowel bij blootstelling aan GSM als aan UMTS</p>	<p>In geen van beide groepen werd een effect op de reactiesnelheid gemeten. Noch werd er een effect op de precisie bij het uitvoeren van een test waargenomen in één van beide groepen.</p>	

Tot besluit kan men stellen dat beide studies erg verschillend zijn en beide in aanmerking moeten worden genomen aangezien de criteria voor de keuze van de studiepopulatie uiteenlopen:

- de Zwitserse studie concentreert zich op een homogener samengestelde populatie van gezonde volwassenen die weinig blootgesteld worden aan externe factoren en benadert nauwkeuriger het specifieke effect van een kortdurende maar herhaalde UMTS blootstelling,
- de TNO studie beschouwt een bredere populatie (minder homogeen) en houdt bij voorbaat rekening met een blootstelling die de realiteit meer benadert, maar sluit de mogelijke effecten ten gevolge van de herhaalde sessies niet uit.

Er moet op gewezen worden dat de waarden van de uitgezonden velden in beide gevallen aanzienlijk lager liggen dan de ICNIRP-aanbevelingen.

2.4.2 Effecten op de bloed-hersens barrière

De bloed-hersens barrière is een selectief permeabele membraan die de hersenen van zoogdieren beschermt tegen mogelijk gevaarlijke stoffen die in het bloed kunnen aanwezig zijn.

Een dertigtal experimentele studies op dieren, die effecten op de bloed-hersensbarrière ten gevolge van blootstelling aan microgolven melden, werden gereviewed in 2001 (Lin et al., 2001). Deze studies produceerden in ongeveer de helft van de gevallen positieve resultaten en de helft negatieve resultaten. De eerste onderzoeken toonden variaties in permeabiliteit aan bij hoge SAR waarden. Echter, meer recente rapporten die de overdracht van serumalbumine evalueerden, suggereren dat de blootstelling aan microgolven de permeabiliteit van de barrière kan wijzigen bij veel lagere SAR waarden, bijvoorbeeld bij de maximale waarde toegelaten voor GSM's, zijnde 1,6 W/kg, en ook bij zeer lage niveaus, zoals 0,016 W/kg.

Hieruit volgt de aanneembare vraag: "Zouden albumine en andere toxische moleculen zich kunnen opstapelen in de hersencellen bij herhaald gebruik van GSM's?" (Lin et al., 2001).

Overigens stelt zich in de literatuur reeds een twintigtal jaar de vraag van de frequentievensters en vermogensvensters. Wat betreft de frequentievensters, gaat het om biologische effecten die waargenomen worden bij gemoduleerde draaggolven met welbepaalde, zeer lage frequenties zoals 8, 16, 24 et 50 Hz. Wat betreft vermogensvensters gaat het om biologische effecten die gemeten werden bij welbepaalde vermogens maar niet bij lagere of hogere waarden. In een samenvatting van de resultaten van een studie van de Universiteit van Lund, Zweden, over het effect op de permeabiliteit van de bloed-hersensbarrière en de groei van tumoren bij ratten die onderworpen werden aan 915 MHz, continu of gemoduleerd aan 4, 8, 16, 50 en 217 Hz, worden door de auteurs volgende resultaten gegeven:

- toename van de permeabiliteit van de bloed-hersensbarrière voor albumine,
- geen indicatie voor de groei van hersentumoren,
- toegenomen albuminetransmissie bij een SAR kleiner dan 1 mW/kg – dit wil zeggen een vermogensdensiteit van 2,5 mW/cm² – ten opzichte van deze bij hogere SAR waarden.

De auteurs leiden hieruit af dat het mogelijk is dat het meest uitgesproken effect op de bloed-hersensbarrière zich niet afspeelt in de bovenste lagen van de hersenen maar wel op enkele centimeters diepte (Salford et al., 2003).

2.4.3 Demodulatie en de toepassing ervan op biologische systemen

Men kan gemakkelijk aantonen dat de minimale voorwaarde voor modulatie, erin bestaat over een **niet-lineaire component** te beschikken (Bijlage 7). Dat is te wijten aan het feit dat de stroom die door een lineaire component loopt evenredig is met de spanning op de polen ervan. Hetzelfde geldt niet voor een niet-lineaire component: de stroom schommelt niet evenredig met de spanning. De waarde van de component is m.a.w. niet onafhankelijk van de toegepaste spanning: die schommelt met de waarde ervan.

De berekening toont aan dat, indien de spanning de som is van spanningen met verschillende frequenties, de stroom zal bestaan uit componenten die de lineaire combinaties van beide frequenties zijn. Theoretisch gezien wordt er aldus door demodulatie een oneindig aantal frequenties gegenereerd. Men gaat dan over tot een **filtering** door middel van lineaire componenten die meestal weerstanden en capaciteiten (zullen) zijn, teneinde enkel de interessante frequentieband te behouden, en die ofwel rond de continuïteit ofwel rond een bijzondere frequentie te centreren. Er moet opgemerkt worden dat het herstellen van een signaal, het detecteren van een signaal en het demoduleren van een gemoduleerde golf drie verschillende bewerkingen zijn.

Men kan zich derhalve afvragen of niet-lineariteiten in de biologische componenten van het menselijk lichaam aanwezig zijn en of dat lichaam dus een interne demodulatie kan uitvoeren, met name wat de componenten met extreem lage frequentie in het basisbandsignaal betreft.

Men weet dat het onmiddellijke effect van microgolven die in het menselijk lichaam doordringen, zich in de oppervlakkige lagen ervan **door een huideffect** voordoen. Dat effect wordt gekwantificeerd door de **indringdiepte**. Die schommelt omgekeerd evenredig met de vierkantswortel van de frequentie. Die ligt dus hoger bij een lagere frequentie en lager bij een hogere frequentie. Bij 915 MHz, de eerste GSM-frequentie, is de gemiddelde indringdiepte ongeveer 1,5 cm. Op driemaal de huiddiepte binnen een materiaal, en met name het menselijk lichaam, bedraagt de vermogensdichtheid van de golf nog maar 1 % van de waarde ervan aan de grens lucht-huid.

De oppervlaktelaag van het menselijk lichaam is niet homogeen: huid, spier, bot en vet. De diëlektrische constante – reëel gedeelte van de complexe relatieve permittiviteit – is voor die verschillende bestanddelen zeer verschillend. De reden ervan is dat hun watergehalte zeer verschillend is. Men mag (immers) niet uit het oog verliezen dat het denkbeeldige gedeelte van de complexe relatieve permittiviteit voor die verschillende bestanddelen ook zeer verschillend is. Dat denkbeeldige gedeelte is dus in feite de elektrische geleidbaarheid van de verschillende bestanddelen en veroorzaakt de absorptie. De golf die het menselijk lichaam binnendringt, stuit dus op lagen van verschillende geleidbaarheid. Dat laminaire aspect van de oppervlaktelagen van het menselijk lichaam ligt aan de basis van het **niet-homogene karakter** ervan. Het brengt geen eventuele niet-lineariteit tot uiting.

Opdat er van niet-lineariteit sprake zou zijn, moeten bepaalde bestanddelen van de oppervlaktelaag een **geleidbaarheid hebben die verandert met de sterkte van de velden**. Er zijn twee soorten niet-lineariteiten: aan de ene kant deze afkomstig van de scheidingsoppervlaktes tussen de verschillende lagen waar de limietvoorwaarden voor het veld, namelijk voor de ladingdichtheden en dus voor stromen, niet meer vervuld kunnen worden. Aan de andere kant zijn er nog niet-lineariteiten afkomstig van de samenstellende lagen zelf: huid, spier, bot en vet.

In de literatuur vindt men geen indicaties van voorwaarden voor niet-lineaire grenswaarden. Wel worden er indicaties vermeld betreffende de niet-lineariteit van biologische weefsels, bijvoorbeeld een halfgeleidermodel van de huid.

3. CONCLUSIE

De HGR heeft zich beperkt in zijn werk tot de optiek van de door de Minister gestelde vraag aangaande het gepulseerde en gemoduleerd karakter van de straling. Hij heeft zich meer specifiek gebogen over de mogelijke verschillen die worden waargenomen bij blootstelling aan numeriek gemoduleerde golven, gebruikt voor moderne communicatiesystemen en analoog gemoduleerde golven.

De RF-velden met modulerende eigenschappen die door alle soorten antennes zoals voor macrocellen (zendmasten), microcellen, en picocellen, geproduceerd worden en waaraan de algemene bevolking kan blootgesteld worden, zijn zwak ten opzichte van de nationale en internationale blootstellingsnormen. Deze velden zijn ook substantieel zwakker dan de RF-velden die door kleine draagbare (*handheld*) toestellen geproduceerd worden. Er werd vastgesteld dat er geen bewijsmateriaal bestaat dat deze golven een effect op de gezondheid veroorzaken maar er bestaan een aantal aanwijzingen die aanzetten tot voorzorg. Deze kwestie zal zeer aandachtig verder opgevolgd moeten worden.

4. REFERENTIES

- Aldinucci C, Palmi M, Sgaragli G, Benocci A, Meini A, Pessina F, Pessina GP. The effect of pulsed electromagnetic fields on the physiologic behaviour of a human astrocytoma cell line. *Biochimica et Biophysica Acta* 2000; 1499:101-8.
- BIPT – Belgisch Instituut voor Postdiensten en Telecommunicatie. Gsm-metingen: samenvatting. www.bipt.be.
- Cardis E, Richardson L, Deltour I, Armstrong B, Feychting M, Johansen C et al. The INTERPHONE study: design, epidemiological methods and description of the study population. *Eur J Epidemiol* 2007; 22:647-64.
- Delimaris J, Tsilimigaki S, Messini-Nicolaki N, Ziros E, Piperakis SM. Effects of pulsed electric fields on DNA of human lymphocytes. *Cell Biol Toxicol* 2006; 22:409-15.
- EEA – European Environment Agency. Late lessons from early warnings: the precautionary principle 1896-2000. *Environmental Issue Report* 2002; 22.
- Friedman J, Kraus S, Hauptman Y, Sciff Y, Seger R. Mechanism of short-term ERK activation by electromagnetic fields at mobile phone frequencies. *Biochem J* 2007; 405:559-68
- Gandhi GA. Genetic damage in mobile phone users: some preliminary findings. *Indian J Human Genetics* 2005; 11:99-104
- ICNIRP International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Physics Society* 1998.
- Hardell L, Hansson Mild K, Carlberg M, Söderqvist F. Tumour risk associated with use of cellular telephones or cordless desktop telephones. *World Journal of Surgical Oncology* 2006; 4:74-83.
- Hepworth SJ, Schoemaker MJ, Muir KR, Swerdlow AJ, Van Tongeren MJA, Mc Kinney PA. Mobile phone use and risk of glioma in adults: case-control study. *BMJ* 2006; 332:883-7.
- HGR 8103. Advies van de Hoge Gezondheidsraad met betrekking tot het ontwerp van Koninklijk Besluit houdende de normering van zendmasten voor elektromagnetische golven tussen 10 MHz en 10 GHz, 13 april 2005.
- KB. Koninklijk Besluit houdende de normering van zendmasten voor elektromagnetische golven tussen 10 MHz en 10 GHz, 10 augustus 2005.
- Lai H, Singh NP. Acute exposure to a 60 Hz magnetic field increased DNA strand breaks in rat brain cells. *Bioelectromagnetics* 1997; 18:156-65.
- Lin JC. The Blood-Brain Barrier, Cancer, Cell Phones, and Microwave Radiation. *IEEE Microwave Magazine* 2001; 2(4):26-30.
- OFEV. Office fédérale de l'environnement Suisse. Hochfrequente Strahlung und Gesundheit. Bewertung von wissenschaftlichen Studien im Niedrigdosisbereich. 2. aktualisierte Aufl. 2007.
- Regel SJ, Negovetic S, M. Rösli M, Berdinas V, Schuderer J, Huss A, Lott U, Kuster N, Acherman P. UMTS Base Station-Like Exposure, Well Being and Cognitive Performance. *Environ. Health Perspec.* 2006; 114,1270-75.
- Salford LG, Brun AE, Eberhardt JL, Malmgren L, Persson BRR. Nerve cell damage in mammalian brain after exposure to microwaves from GSM mobile phones. *Environmental health perspectives* 2003; 111:881-3.
- SCENHIR. Possible effects of elektromagnetic fields (EMF) on human health. 21 march 2007
- Söderqvist F, Hardell L, Carlberg M, Hansson Mild K. Ownership and use of wireless telephones: a population-based study of Swedish children aged 7-14 years. *BMC Public Health* 2007; 7:105-13.
- Valentini E, Curcio G, Moroni F, Ferrara M, De Gennaro L, Bertini M. Neurophysiological effects of mobile phone electromagnetic fields on humans: a comprehensive review. *Bioelectromagnetics* 2007; 28:415-32.

- Van Loock W. Veiligheid en Gezondheid van niet-ioniserende elektromagnetische velden en straling. Academia Press 2007. ISBN 978 90 382 1169 5
- Xu Z & Chen G. Evidence for effects on gene and protein expression. Bioinitiative report, Section 5. <http://www.bioinitiative.org>
- Zwamborn AP, Vossen SH, van Leersum BJ, Ouwens MA, Mäkel WN. Effects of global communication system radiofrequency on well being and cognitive functions of human subjects with and without subjective complaints, *TNO Physics and Electronics Laboratory*, The Hague, FEL-03-C148, 2003, 89.

5. BIJLAGEN

Bijlage 1: Les composantes à très basses fréquences dans les systèmes de radiocommunication. Stockbroeckx B. [mei 2007].

Bijlage 2: Exposure of the general public to the indoor RF-radiation of picocells in train stations and an airport and to the outdoor RF-radiation of microcells in shopping streets. Decat G. [18 mei 2007].

Bijlage 3: Elektrisch veld van DECT basisstation en handset, VITO. Decat G., Deckx L. [november 2007].

Bijlage 4: RF-straling van antennes van het ASTRID-Netwerk. Decat G. [16 mei 2007].

Bijlage 5: Comparison of TNO Study and Swiss Study on Well-Being. Vander Vorst A. [6 maart 2007].

Bijlage 6: Biological effects of modulated microwave radiation: the microwave hearing effect. Adang D. [12 april 2007].

Bijlage 7: Conditions for demodulating a microwave signal: Application to human body. Vander Vorst A. [september 2007].

