

Een regelmatig terugkerende vraag bij het grote publiek is of het antenne signaal bij GSM gebruik **lichamelijke hinder of schade** kan berokkenen. Desinformatie die momenteel daaromtrent wordt verspreid, bereikt grote bevolkingsgroepen. Opvallend daarbij is dat GSM signalen eigenschappen worden toegedicht die er helemaal niet zijn. Een verspreide onzekerheid bij het publiek, die hiervan een gevolg is, heeft kennelijk te maken met het feit dat de signalen niet **zintuiglijk** kunnen worden waargenomen en slechts instrumenteel meetbaar zijn.

Een van die veelgestelde vragen is of GSM gebruik er oorzaak van is, of kan zijn, dat het hoofd en/of de hersenen worden opgewarmd ....

In discussies ter zake komt het er daarom op aan vergelijkingspunten te vinden uit het dagelijks leven, vergelijkingspunten waarmee iedereen vertrouwd is. Daglicht, zonlicht, kunstlicht ... **zijn bekend** als vormen van straling, en zijn precies daarom een geschikte **basis voor vergelijking**. Bovendien, fysisch gesproken, is licht nu eenmaal ook een **E.M. golfverschijnsel**, net zoals GSM signalen.

Net zoals licht verplaatsen ("transporteren") GSM signalen energie doorheen de ruimte. We stellen ons dit best voor in een XYZ assenstelsel, met bv. de **x-as als voorplantingsrichting**. De fysica leert dat in de Y- en Z- richtingen het transport gepaard gaat met een wisselend elektrisch, respectievelijk magnetisch veld.

De **intensiteit** van E.M. golven is - per definitie - het **transport van energie per m<sup>2</sup>** en per seconde en wordt daarom uitgedrukt in **Joule/sec.m<sup>2</sup> of in Watt/m<sup>2</sup>**. Als fysisch model voor het toelichten van GSM signalen en hun eigenschappen stellen we ons een **puntbron** voor (Fig. 1), een voorplantingsrichting (R) en een eenheids-oppervlak (1m<sup>2</sup>) loodrecht op die richting: de intensiteit van straling is dan de transport van energie in die richting, doorheen dat oppervlak en per seconde.

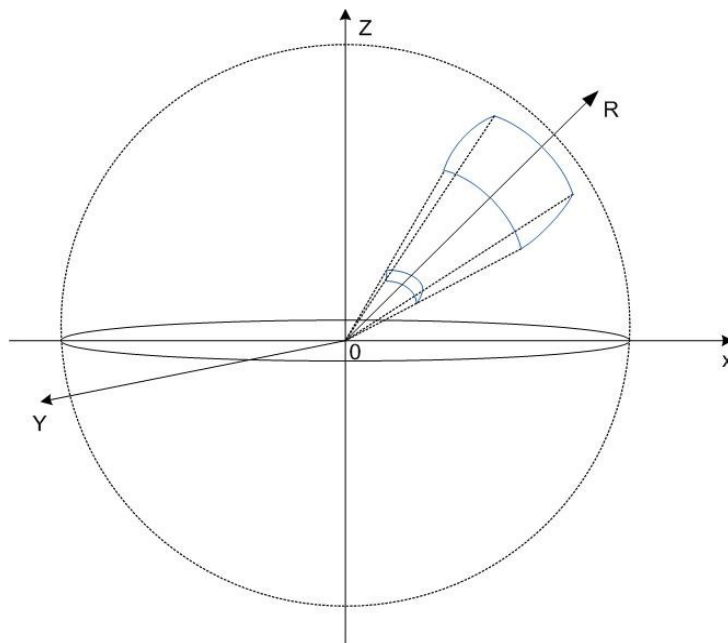


Fig. 1: Puntbron van signalen in het centrum van een bol oppervlak. De ruimte tussen de bron en het bol oppervlak bevat geen energie-bronnen of verbruikers zodat het volledige

antenne vermogen doorheen het omringende boloppervlak te voorschijn treedt. Dit energie behoud geldt o.m. ook voor blauw omlijnde deeloppervlakken.

Terug komend op licht als vergelijkingsmateriaal : de **intensiteit van zonnestraling**, (de z.g. "insolatie") in onze streken gemeten op een zomerse dag, bedraagt ong.  $1,4 \text{ KW/m}^2$ . Ter verduidelijking: zonnepanelen hebben een oppervlak van ong.  $1,6 \text{ m}^2$  en een rendement van 20 à 30 %. Dit verklaart dan ook de opbrengst ervan, meestal in de grootte-orde van 300 tot 400 W per paneel.

Wat mogelijke lichamelijke schade of hinder betreft ingevolge **opwarming door RF straling**, interesseert ons in feite enkel wat zich afspeelt op/in een beperkt deel van de hoofdhuid, meer bepaald op dat deel vlak naast het gehanteerde apparaat (Fig. 2). Een oppervlak **ter grootte van  $1 \text{ dm}^2$**  verdient daarom onze bijzondere aandacht. De eerder vermelde **insolatie** in onze streken van  $14 \text{ W/dm}^2$  zullen we daarbij verder gebruiken als basis voor vergelijking met GSM straling.

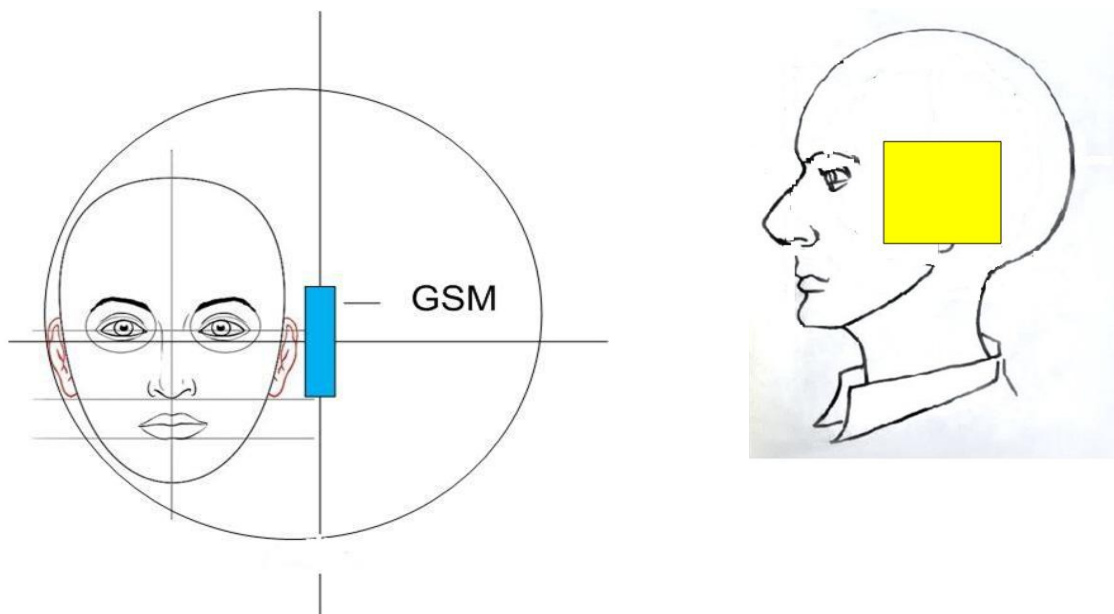


Fig. 2 : Aanvullende voorstelling bij het fysisch model (Fig.1) voor bepaling van de exposie van een deel van de hoofdhuid (geel gekleurd ) bij GSM gebruik.

Licht, op een zomerse dag, zoals bekend, is inderdaad in staat de temperatuur van de hoofdhuid enkele graden te doen oplopen. De intensiteit van het GSM antenne signaal blijkt echter **grootte orden lager** dan die van zonlicht, zoals we dadelijk aantonen.

Met het GSM toestel naast het hoofd wordt het **antenne vermogen** in alle richtingen gelijkmatig uitgestuurd: in vaktaal spreekt men daarom over een "isotrope" antenne of **puntbron**. In een **fysisch model** maken we daarom gebruik van een dergelijke puntbron (Fig.1) in het centrum van een sfeer: alle energie door de puntbron uitgestuurd doorloopt het medium binnen dat boloppervlak om zich vanop het oppervlak verder te verplaatsen in de omgevende ruimte.

De straling die op het **onderzocht oppervlak** (Fig. 2, **geel gekleurd**). terecht komt, wordt in vaktaal de **exposie** genoemd. Hier zijn we dus geïnteresseerd aan de exposie van  $1 \text{ dm}^2$  van het zij oppervlak van het hoofd, het z.g. "test-oppervlak".

Met het hoofd in de **ene helft van de voornoemde sfeer**, ziet men in dat slechts een fractie (grootte orde 30 %) van het **uitgestuurde vermogen** (binnen die hemisfeer) op het

test-oppervlak kan terecht komen, omwille van ontsnappingsmogelijkheden voor straling via de ruimte tussen het GSM apparaat en de wang.

De exposie van het test-oppervlak laat zich nauwkeurig bepalen in een **meetopstelling** met het fantoom verwijderd en een lichtbron in het centrum van de sfeer (Fig. 1) geplaatst, op grond van de verhouding van oppervlak **van de schaduw van het test-oppervlak** tot het totale oppervlak van de buitenmantel van deze hemisfeer. Deze verhouding is – zoals verwacht – sterk afhankelijk van de afstand van het test-oppervlak tot de lichtbron. Een getalwaarde van 30 %, zoals hierboven vermeld, blijkt representatief.

Een verdere beperking van de exposie bij GSM gebruik heeft te maken met het volgende. Het GSM **zendvermogen** blijft in de loop van de communicatie **niet constant**. De eerste seconde(n) worden benut voor het kiezen van de meest nabije antenne-mast, voor de identificatie van de gesprekspartners en voor keuze van de werk-frequentie (“protocol”, “handshaking,” “frequency hopping”). Daarna wordt het zendvermogen **teruggebracht** van het initiële **1,5 à 2W** tot ongeveer **0,4W**. **Dit vermogen blijft** meestal voldoende voor een communicatie zonder onderbrekingen.

Verder in de loop van de communicatie wordt het spraak-signaal **gedigitaliseerd** en **gecomprimeerd** op tijdsschaal, tot ongeveer **12%** of **1/8** van de oorspronkelijke tijdsduur (“TDMA”). Pas daarna wordt het signaal als een serie data via de antenne uitgezonden. Dit comprimeren van het signaal (te vergelijken met het “zippen” van tekst files) **vermindert de zendtijd** en bijgevolg ook de **tijdsgemiddelde exposie**.

Bij dat “processen” van het signaal zijn dus in het totaal **vier effecten** betrokken die het antenne vermogen en dus ook de exposie beperken, te weten:

1. Reductie van het initieel antenne vermogen van ong. **2W tot 0,4 W** (GSM protocol).
2. Beperking van het afgestraald vermogen tot de **richting** naar het hoofd toe, i.e. tot **50%**, ingevolge het functioneren van de GSM antenne als puntbron.
3. Reductie van dat afgestraald vermogen tot het effectieve deel (**ong. 30%**) dat op **1 dm<sup>2</sup> van de hoofdhuid** terechtkomt..
4. Reductie van het **tijd gemiddeld** vermogen ingevolge “ signaal-compressie” tot **ong. 12%** of **1/8e** van de initiële tijdsduur.

**Deze vier effecten** verminderen drastisch de **gemiddelde intensiteit** van het antennesignaal en dus de exposie van de hoofdhuid, meer bepaald tot **(0,4 x 0,5 x 0,3 x 0,12) Watt** of tot ong. **7 mW per dm<sup>2</sup>**. Met het GSM apparaat op enige afstand van de gebruiker daalt die intensiteit nog verder met een **factor 4 telkenmale de afstand verdubbelt**.

**Conclusie:** de tijdsgemiddelde exposie van onze hoofdhuid aan EM straling is – louter energetisch – ongeveer **2.000** maal kleiner bij GSM gebruik dan bij blootstelling aan zonlicht in zomerse omstandigheden: **vergelijk 14 W/dm<sup>2</sup> met 7 mW/dm<sup>2</sup>**. Van enige merkbare) opwarming van de hoofdhuid bij GSM gebruik kan dus geen sprake zijn.

Noteer dat zelfs bij **binnenshuis** GSM gebruik of in een **voertuig**, i.e. waarbij het antennevermogen mogelijks niet werd gereduceerd tot ong. 0.4 W maar hoe dan ook beperkt blijft tot 2W, de exposie minder dan **(7 mW/dm<sup>2</sup> x 5)** of **35 mW/dm<sup>2</sup>** bedraagt. Vergelijk deze intensiteit met deze van **14 W/dm<sup>2</sup>** bij **exposie aan zonlicht**. De vorige

conclusie blijft dus ook hier geldig.

Tot zover hebben we enkel de exposie aan EM golven besproken bij gebruik van draagbare GSM apparatuur. Het stralingspatroon van antennes op mast is echter verschillend van dat bij draagbare GSM apparaten: antennes bij draagbare toestellen zijn rond stralers, deze op mast zijn richt-antennes. Het functioneren van die richt-antennes is best te begrijpen op grond van een voorbeeld, opnieuw uit de wereld van licht voortplanting

Een 50 W verlichtingslamp, ("bol lamp", rond straler), volstaat nauwelijks voor het verlichten van een woonkamer. Zodra echter die zelfde lamp voor een parabolische spiegel is geplaatst, blijkt ze geschikt voor verlichting van bv. een wegdek over een afstand van een paar honderd meters. Een richtantenne, net zoals een parabolische spiegel, voegt geen vermogen toe maar bundelt het zendvermogen in één richting.

Op een GSM antennemast zijn doorgaans drie à vier richtantennes geplaatst, die de vier windrichtingen bestrijken. Slechts één van die vier antennes is op een gegeven ogenblik in gebruik voor communicatie met een draagbaar toestel. De antennes zijn licht hellend geplaatst zodat de as van de stralen bundel pas op ongeveer 1 km afstand van de mast de bodem bereikt. Daar is de intensiteit van straling sterk gedaald. Dit is ook het geval dicht bij de zendmast, waar men zich in feite buiten de stralingsbundel bevindt.

GSM operatoren beschikken over een net van antenne masten die onderling nooit meer dan enkele km van elkaar verwijderd staan. Dit laat toe bij de aanvang van een communicatie met die mast en die antenne in verbinding te treden die het meest stabiele verbinding garandeert ("handshaking"). Dit gebeurt algemeen op basis van een sterke meting van het ontvangstsignaal (RSSI).

Bij een mobiele verbinding komt het aldus voor dat met meerdere masten verbinding wordt gemaakt. Dit gebeurt uiteraard ook wanneer hindernissen de verbinding bemoeilijken. Bij toenemende van de afstand tot de zendmast verloopt de signaalsterkte hierdoor op zeer onvoorspelbare wijze.

De afzwakking ("path loss") van signalen in verloop van de afstand tot een zendmast kan worden berekend op basis van een fysisch /mathematisch model, het "FRIIS model". Dit rekenmodel is evenwel enkel geldig in z.g. "vrije veld omstandigheden", m.a.w. bij afwezigheid van hindernissen en/of reflecties. De berekeningen leveren dan ook uitstekende resultaten dienstig voor lucht- en ruimtevaart communicatie, maar zijn slechts beperkt bruikbaar voor het berekenen van de GSM signaalsterkte stedelijk milieu.

**Uit metingen van signaalsterkte** bij toenemende afstand tot de zendmast is gebleken dat in verloop van de afstand langs wegen en in agglomeraties afzwakking van het signaal door hindernissen en de versterking ingevolge reflecties ("constructieve interferentie" ...) elkaar dikwijls compenseren. In die omstandigheden blijkt de intensiteit van het GSM signaal kwadratisch af te nemen met de afstand tot de zendmast, net zoals bij een puntbron in "vrije veld" omstandigheden.

In een ander aantal gelijkaardige experimenten bleek de verzwakking sneller toe te nemen, meer bepaald met de derde macht van de afstand.

GSM operatoren baseren zich daarom op veldsterkte metingen om de toegelaten intensiteit/veldsterkte niet te overschrijden. De meeste zendmasten in Vlaanderen

hanteren een vermogen dat niet hoger is dan **30W**, en een veldsterkte die **2 V/m** niet overschrijdt. Redenen daarvoor worden dadelijk verduidelijkt.

Nota: in de fysica toont men aan dat er een éénduidig verband bestaat tussen de veldsterkte en de intensiteit van E.M. straling (**Poynting vector**), **beiden gemeten op één plaats**.

Met een gemeten veldsterkte ( $E_0$ ) is de overeenkomstige intensiteit ( $I$ ) **eenvoudig te berekenen**, en o.m. te vergelijken met deze bij gebruik van draagbare GSM toestellen: in de overgrote meerderheid der gevallen blijken die intensiteiten van een **zelfde grootte-orde**.

Ter verduidelijking: Het verband tussen de stralingsintensiteit ( $I$ ) en de gemeten veldsterkte ( $E$ ), steeds volgens Poynting, luidt:

$$I = \frac{1}{2} \cdot c \cdot \epsilon_0 \cdot E_0^2$$

waar  $c$  : lichtsnelheid ( $3 \cdot 10^8$  m/sec.);  $\epsilon_0$  : dielektrische constante van lucht ( $8,85 \cdot 10^{-12}$  F/m);  $E_0$  : veldsterkte **amplitude**, in V/m.

Noteer dat de gemeten veldsterkte ( $E$ ) een “**effectieve**” waarde is. Ingevoerd in bovenstaande vergelijking levert dit alles voor een veldsterkte van  $2 \text{ V}_e/\text{m}$  :

$$I = \frac{1}{2} \times 3 \cdot 10^8 \times 8,85 \cdot 10^{-12} \times 4 \times 2 = 1,062 \cdot 10^{-2} \text{ Watt/m}^2$$

Vergelijking van dit resultaat met de hoger vermelde norm toont dus aan dat de straling afkomstig van antennes op mast met een intensiteit in de grootte orde  $10^{-4}$  W/dm, de expositie/blootstelling aan zonlicht ( $14\text{W/dm}^2$ ) en de thermische effecten daarvan zeker niet overschrijdt.

Tot zover hebben we enkel **warmte-effecten van GSM signalen** besproken. In discussies omtrent stralingseffecten verdient ook een tweede aspect onze aandacht: het is bekend dat bepaalde types van straling in staat zijn **zg. chemische defecten te veroorzaken in menselijk/dierlijk weefsel**.

Bij nader toezien blijken die defecten **enkel te kunnen optreden** met E.M. straling van **zeer korte golflengte**, zoals bv. met UV licht, met X-stralen en met  $\gamma$  stralen van radioactieve oorsprong.

Een bekend voorbeeld is de **verkleuring van de opperhuid** onder invloed van UV licht (UV-C met golflengten van 200 à 300 nanometer). Dergelijke effecten zijn onbestaand bij GSM signalen daar de golflengte ervan zich steeds in het centimeter bereik situeert, ook met de meest recente 5G technologie: maximale frequentie ong. 26 GHz,  $\lambda = 1,15$  cm.

Nota: Dit alles heeft te maken met het fysisch gegeven dat **energie transport bij licht** en EM straling niet plaats vindt als een continue stroming, maar als een transport van **energie pakketjes, de zg. fotonen**, waarvan de energie inhoud bepaald is door de frequentie/golflengte van de straling.

Zo zijn er fotonen van een **minimale energie inhoud** nodig om bv. de **C – C en/of C – H** of andere moleculaire bindingen te verbreken, in menselijk/dierlijk weefsel. De

drempelwaarden (i.e. de zeer korte golflengten die daarvoor vereist zijn) zijn precies bekend op grond van fysisch/chemisch onderzoek. Weefselschade veroorzaakt door GSM signalen blijkt daarom a priori uitgesloten.

Tenslotte vermelden we dat E.M. straling afkomstig van GSM en/of aanverwante apparatuur totaal **geen uitstaans heeft** met de z.g. “deeltjes-straling” (i.e. alpha-, bèta-, neutronen straling) bekend in de wereld van nucleaire/kernfysische processen.

=====