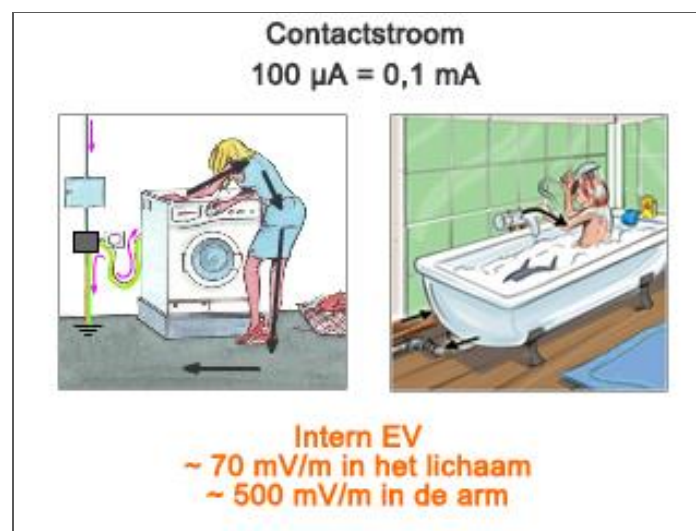


Sinds 1979, het jaar waarin de eerste epidemiologische studie magnetische velden van 60 Hz en leukemie bij kinderen met elkaar in verband bracht, zijn er vele studies uitgevoerd maar is men nog steeds niet tot een definitieve conclusie gekomen. In 2002, met de epidemiologische gegevens in het achterhoofd en zonder dat enig werkingsmechanisme aangetoond werd in laboratoria studies (bij dieren gedurende hun hele leven blootgesteld of bij cellen), classificeerde het International Agency for Research on Cancer magnetische velden van 50 Hz als Groep 2B, wat betekent dat ze mogelijk kankerverwekkend voor de mens kunnen zijn. Nu wordt dit verband nog steeds in vraag gesteld.

Gedurende enkele jaren onderzochten wetenschappers een aantrekkelijke hypothese gebaseerd op contactstromen. Dit was de doelstelling van het project uitgevoerd door de ingenieurs van de BBEMG tussen 2005 en 2011. Als een dergelijke hypothese zou kunnen bevestigd worden, zou het nemen van beschermingsmaatregelen eenvoudig zijn en enkel te baseren op aanbevelingen met betrekking tot elektrische installaties.

Wat zijn contactstromen?

Een contactstroom is een stroom die door het menselijke lichaam loopt tussen twee contactpunten die zich op verschillende potentialen bevinden (een machine en de vloer, een kraan en de vloer, een radiator en de vloer, enz....). Dit potentiaalverschil ligt a priori niet voor de hand, aangezien geen van deze objecten met een spanningsbron is verbonden (zie voorbeelden in figuur 1): contactstroom wil niet zeggen dat er echt contact is met actieve gedeelten (contact met delen onder spanning, elektrocutie).



Figuur 1 - Contactstromen

Bovendien zijn contactstromen ook geen geïnduceerde stromen, welke stromen zijn die door het menselijk lichaam kunnen vloeien als gevolg van de externe elektromagnetische velden, noch elektrostatische ontladingen.

Contactstromen houden verband met een potentiaalverschil dat "aanraakspanning" genoemd wordt.

→ *Laten we dit illustreren met twee voorbeelden:*

- Bij slijtage aan de isolatie van de bedrading van een oudere wasmachine, kan een lekstroom optreden. Dit is een zwakke stroom, die niet belet dat de machine schijnbaar normaal functioneert. Afhankelijk van de kwaliteit van de aarding van het frame van de wasmachine, zou het frame een potentiaal kunnen bereiken dat verschilt met dat van de grond: tussen de persoon die het frame aanraakt en de grond bestaat een potentiaalverschil, wat betekent dat er een stroom door het lichaam van de persoon zal vloeien.

De sterkte van de stroom die door het lichaam vloeit zal miniem zijn als de machine correct geaard is en als de schijnbare weerstand van de persoon hoog is (namelijk droge handen en schoenen die voor gedeeltelijke isolatie kunnen zorgen).

- Het geval van de badkuip is wat moeilijker te begrijpen!

De metalen leidingen en de badkuip moeten dezelfde potentiaal hebben om elektrische schokken te voorkomen. Dit gebeurt door de waterleidingen en/of de badkuip te aarden of door alle geleidende onderdelen met een beschermingsdraad te verbinden (equipotentiaalverbinding genoemd).

Zelfs op deze manier kunnen sommige onderdelen een licht verschillend potentiaal hebben om diverse redenen. Wat de badkuip betreft bijvoorbeeld, kan er een potentiaalverschil ontstaan tussen de watertoevoer (de kraan) en de afvoer. Bij een kind in bad dat met de kraan speelt kan er een contactstroom door het lichaam vloeien. Aangezien het kind naakt en nat is (lage impedantie), zal de stroom zelfs eenvoudiger door zijn/haar lichaam vloeien dan in het bovenstaand voorbeeld.

Opmerkingen: Leidingen in het minder geleidend pvc veroorzaken geen aanraakspanning in de badkuip.

De intensiteit van een contactstroom kan zwak zijn, zelfs onder het perceptieniveau van de mens (rond 0,5 mA).

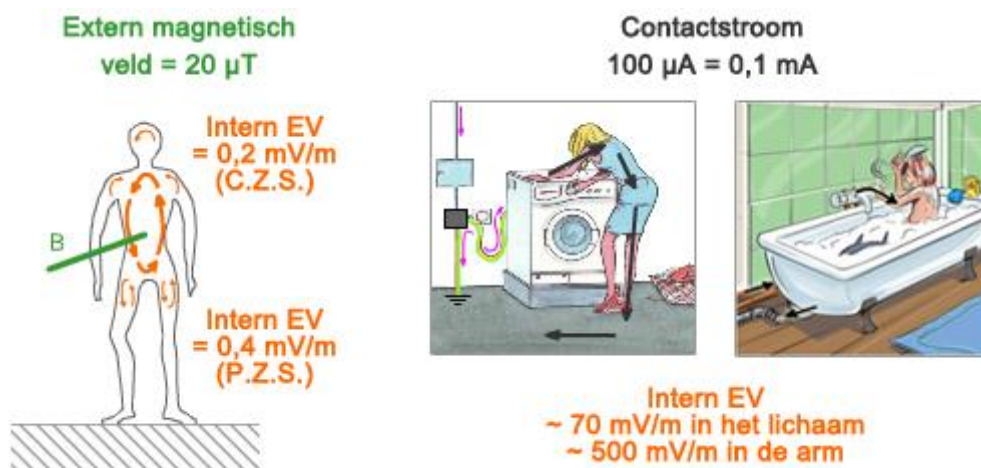
Om veiligheidsredenen in verband met het risico op elektrocutie is de elektrische bedrading in woningen beschermd tegen foutstromen wanneer deze 300 mA of zelfs 30 mA (badkamers) overschrijden, wat betekent dat tot 30 mA het differentieel het circuit niet zal onderbreken (bijv. voor een wasmachine). Een overschrijding van dit perceptieniveau zal de beveiliging niet dadelijk activeren. Merk op dat installaties beschermen tegen lagere stromen dan 30 mA een vergissing zou zijn: de installatie zou dan al te vaak onnodig uitgeschakeld worden.

Waarom contactstromen bestuderen?

Epidemiologische studies en meta-analyse brachten een klein, maar verhoogd risico op acute leukemie naar voren bij kinderen die blootgesteld worden aan magnetische velden met een gemiddelde waarde van meer dan 0,3-0,4 μT . Meerdere herhaalstudies waarbij gezocht werd naar tendensen en beïnvloedende factoren leverden geen definitieve conclusie op.

Externe magnetische velden zouden kunnen leiden tot effecten op het menselijk lichaam via geïnduceerde stromen welke kleine interne elektrische velden doen ontstaan (ruwe schatting van 0,2 mV/m bij een magnetische inductie van 20 μT , zie figuur 2).

Volgens de Wereldgezondheidsorganisatie (2007) zou 1 mV/m^1 (internal electric field) would be needed to potentially induce biological effects (not necessarily pathogenic). Therefore, external magnetic field could not alone explain the relation with childhood leukaemia.



Figuur 2

- ✓ **Zou een andere factor in verband met magnetische velden het verhoogde risico dat naar voren komt bij epidemiologische studies kunnen verklaren?**

Contactstromen zouden de missing link kunnen zijn. Deze hypothese wordt in de VS al 15 jaar bestudeerd.

- ✓ **Waarom focussen op contactstromen?**

Een hypothese is dat het verband aangetoond in epidemiologische studies, maar zonder een definitieve verklaring te vinden, zou kunnen veroorzaakt worden door een intermediaire factor. Contactstromen zijn een aannemelijke kandidaat om het verband tussen leukemie bij kinderen en residentiële magnetische velden. Dit werd onderstreept door een onderzoek van het Electric Power Research Institute (EPRI) dat een statistisch significant verband aantoonde tussen de aanraakspanningen en het magnetisch omgevingsveld in de buurt van hoogspanningslijnen. Met andere woorden, er werden hogere aanraakspanningen gemeten in huizen blootgesteld aan sterkere externe magnetische velden.

Deze aanraakspanningen kunnen een elektrisch veld van enkele mV/m in het beenmerg van het kind opwekken ² (voor een realistische contactstroomwaarde van enkele microampère), zonder overgevoelige reactie van het kind.

Voorafgaand aan het onderzoek naar het verband tussen externe magnetische velden en contactstromen, onderzochten Amerikaanse onderzoekers bovendien de frequentie waarmee kinderen

¹ Gebaseerd op de huidige bewijslast lijken drempelwaarden rond $10\text{-}100 \text{ mV/m}$ meer waarschijnlijk (WHO, 2007)

² Er wordt verondersteld dat acute lymfatische leukemie zijn oorsprong kan vinden in het beenmerg, de plaats waar hematopoëse (de vorming van onderdelen van bloedcellen) plaatsvindt in de kindertijd.

in contact staan met de kraan wanneer ze een bad nemen (figuur 2). Het gedrag van kinderen is consistent, met frequente blootstelling.

Deze contactstroomhypothese werd getest door de BBEMG-leden.

Contactstromen in Belgische woningen

Het BBEMG-onderzoeksprogramma met betrekking tot contactstromen verliep in twee fasen. Eerst voerden onderzoekers een meetcampagne uit in Belgische huizen om de lokale magnetische velden te meten en de contactstroomniveaus te evalueren. Vervolgens werd met behulp van de verkregen resultaten het mogelijke verband tussen de contactstromen en het omgevend magnetisch veld geanalyseerd.

✓ Is er een verband tussen de nabijheid van bovengrondse lijnen en contactstroomwaarden in Belgische huizen?

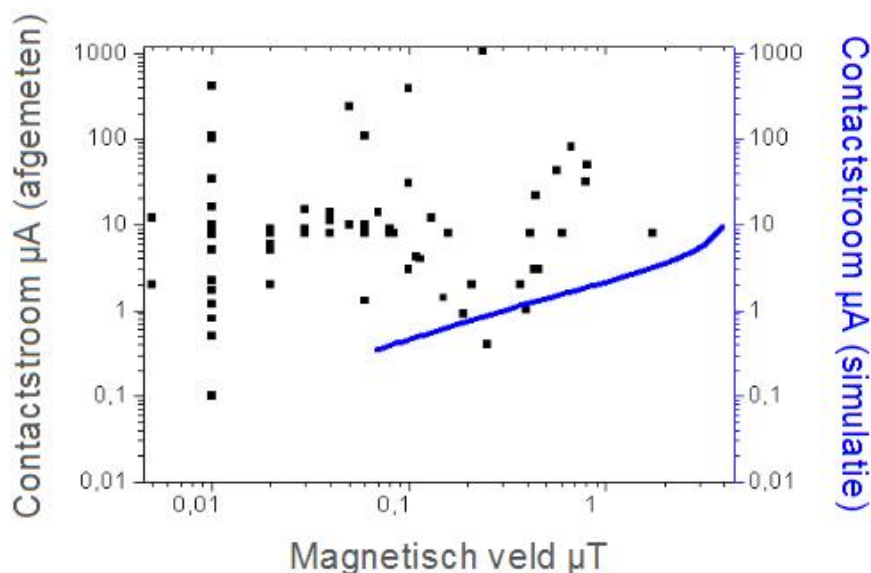
Gedurende 5 jaar werden in ongeveer 150 huizen in België magnetische velden en contactstromen gemeten, bij 10% bleek het magnetisch veld sterker dan $0,4 \mu\text{T}$ te zijn (de huizen werden specifiek geselecteerd op hun ligging zo dicht mogelijk bij hoogspanningslijnen). De mediaanwaarde van de magnetische veldmetingen was $0,02 \mu\text{T}$.

De contactstromen werden gemeten in de badkuip, in de douche en in de buurt van elektrische toestellen zoals een wasmachine.

Het niveau van de contactstromen gemeten in de badkamer gaat van 1 tot $1000 \mu\text{A}$. De mediaan contactstroom is $8 \mu\text{A}$. Twintig procent van de huizen heeft contactstromen hoger dan $10 \mu\text{A}$ en 5% daarvan heeft contactstromen hoger dan $100 \mu\text{A}$.

Ook in de buurt van elektrische toestellen werden contactstromen gemeten. In dit geval heeft minder dan 50% van de huizen contactstromen die sterker zijn dan $20 \mu\text{A}$ en 15% daarvan heeft contactstromen hoger dan $100 \mu\text{A}$.

Er werd geen verband gevonden tussen magnetische velden in huizen en contactstroomwaarden (figuur 3). In sommige huizen, zelfs bij erg zwakke magnetische velden ($0,01 \mu\text{T}$) werden significante contactstromen gemeten.



Figuur 3 - Contactstroom versus magnetisch omgevingsveld. De punten duiden de waarden gemeten bij de steekproef in de Belgische huizen. De ononderbroken lijn geeft de gesimuleerde waarde weer van de contactstromen die enkel veroorzaakt worden door een magnetisch omgevingsveld (Amerikaanse hypothese)

De ononderbroken lijn in figuur 3 kan beschouwd worden als het deel van de contactstromen dat enkel door het extern magnetisch veld geïnduceerd wordt. Het magnetisch omgevingsveld alleen kan de gemeten waarden van de contactstromen in de steekproef bij Belgische huizen dus niet verklaren.

Deze resultaten stemmen niet overeen het onderzoek in de VS. Na analyse van verschillende parameters veronderstellen de Belgische onderzoekers dat capacitieve lekstromen de meest waarschijnlijke oorzaak van contactstromen in Belgische huizen zouden zijn.

- ✓ **Zouden capacitieve lekstromen een afdoende verklaring kunnen zijn voor contactstromen in Belgische huizen?**

We hebben het al over lekstromen gehad met het voorbeeld van de wasmachine. Dit zijn **weerstandlekstromen**.

Capacitieve lekstromen bestaan continu aangezien ze ontstaan door het capacitieve effect tussen eender welke kabel en een referentiepotaalzone. Aangezien de meeste elektrische binnenhuisbekabelingen geen metalen afscherming hebben, kunnen capacitieve stromen zich ontwikkelen in de aardingsdraad, evenals in eender welke metalen leidingen zoals die voor water en gas.

Voor het onderzoek van capacitieve lekstromen is het belangrijk te begrijpen dat het metselwerk waarin een kabel ingebed zit, als een goede geleider kan beschouwd kan worden die stroom naar andere kabels of leidingen kan overdragen.

De capacitieve lekstromen van typische elektrische kabels gebruikt in Belgische huizen bij 230 V (tussen fase- en nuldraden) liggen tussen 3 en 13 $\mu\text{A}/\text{m}$. Aangezien huizen meestal honderden meters van dergelijke elektrische kabels bevatten, kunnen deze lekstromen inderdaad aanleiding geven tot aanzienlijke spanningsverschillen tussen metalen leidingen in hun nabijheid.

Onderzoekers voerden verschillende metingen uit om deze hypothese te testen. Ze kwamen tot de

conclusie dat contactstromen in België **eerder te wijten zijn aan een capacitief effect dan aan de aanwezigheid van een extern magnetisch veld.**

✓ **Hoe het verschil begrijpen tussen de oorsprong van contactstromen in Belgische huizen en in de Verenigde Staten?**

Twee technische factoren kunnen dit verschil uitleggen: enerzijds de kenmerken van capacitieve lekstromen, anderzijds de invloed van het aardingssysteem.

Het belangrijkste spanningsniveau in Amerikaanse woningen is 110 V (bij 60 Hz) terwijl het in België 230 V (bij 50 Hz) is. Aangezien capacitieve lekstromen toenemen met een hogere spanning, vallen er in België hogere capacitieve lekstromen te verwachten, wat leidt tot potentieel hogere contactstromen.

Anderzijds is het aardingssysteem in de VS meer vatbaar voor het optreden van aanraakspanningen geïnduceerd in leidingen en kabels door de 60 Hz magnetische velden van het elektriciteitsnetwerk.

Conclusie

In de VS was de contactstroomhypothese een interessante theorie voor het invullen van de missing link. In België maar laat deze hypothese ons niet toe om externe magnetische velden en leukemie bij kinderen met elkaar in verband te brengen.

Merk op dat Amerikaanse onderzoekers in 2011 de resultaten publiceerden van een epidemiologisch onderzoek dat het verband tussen blootstelling aan aanraakspanning en leukemie bij kinderen in Californië onderzocht. De auteurs concludeerden dat bij deze populatie er geen bewijs was van een verband tussen leukemie bij kinderen en blootstelling aan aanraakspanning of magnetische velden, en dat er een zwakke correlatie was tussen de gemeten contactstromen en magnetische velden. Contactstromen zouden dus ook in de VS niet de missing link zijn!

Dat weerhoudt ons niet om rekening te houden met contactstromen. Aangezien stromen die door ons lichaam lopen overeenstemmen met vrij hoge interne elektrische velden, is het zinvol om onze elektrische installaties te controleren. Ingenieurs bij BBEMG merkten dat veel private elektrische bedrading niet voldoet aan de wettelijke normen en aanleiding kan geven tot hoge contactstromen. Er wordt aanbevolen om de **conformiteit van de bedrading in huis** te controleren, met bijzondere aandacht voor de kwaliteit van de aarding en de aanwezigheid van een equipotentiaalverbinding tussen metalen leidingen (water en gas), radiatoren en de aarding, en de afstand tussen kabels en leidingen.

Contactstromen hangen af van de lichaamsimpedantie, bij eenzelfde potentiaalverschil kunnen ze groter zijn bij een naakte en natte persoon dan bij een droge persoon die schoenen draagt. Daarom is het belangrijk om in het bijzonder voor vochtige ruimtes (in de eerste plaats de badkamer) aan te dringen op de installatie van gepaste differentieelschakelaars.

Er dient opgemerkt te worden dat bij een goed ontworpen en goed onderhouden bekabeling in huis de contactstroomintensiteit meestal heel zwak is. Gezien de modernisering van de huishoudelijke installaties, in het bijzonder het gebruik van **pvc-waterleidingen**, wordt er verwacht dat de aanraakspanning zal dalen. Tenslotte kunnen aanraakspanningen, zoals de naam suggereert, voorkomen in geval van aanraking van een geleidend frame van een elektrisch toestel. Dit betekent dat mensen niet voortdurend blootgesteld worden aan deze stroom.

Referenties

BBEMG report 2005-2009: Contact current, sensitivity to electricity & 50Hz electric and magnetic fields. Available online at http://www.bbemg.ulg.ac.be/files/BBEMG_2005_2009_final_Report_TDEE_ACE.pdf.

BBEMG report 2010-2011: Contact currents and biological effects on human beings. Available online at http://www.bbemg.ulg.ac.be/files/BBEMG_2010_2011_Report_TDEE_ACE.pdf.

Does M., Scélo G., Metayer C., Selvin S., Kavet R., Buffler P. Exposure to electrical contact currents and the risk of childhood leukemia. *Radiat Res.* 2011 Mar;175(3):390-6.
(Details in EMF-Portal: http://www.emf-portal.de/viewer.php?aid=18824&sid=c048bd57489ecc0f1730e394ae30b550&sform=8&pag_idx=0&le)

International Commission On Non- Ionizing Radiation Protection (2010). ICNIRP guidelines for limiting exposure to time- varying electric and magnetic fields (1 Hz – 100 kHz). *Health Physics*, 99(6):818- 836.
(Full text at: <http://www.icnirp.de/documents/LFgdl.pdf>)

Kavet R. Contact current hypothesis: summary of results to date. *Bioelectromagnetics*. 2005;Suppl 7:S75-85.
(Abstract in PubMed: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16037960?dopt=Abstract>)

Kavet, R., Zaffanella, L.E., Daigle, J.P., Ebi, K.L. The possible role of contact current in cancer risk associated with residential magnetic fields, *Bioelectromagnetics*, Vol 21, pp. 538-553, 2000.
(Abstract in PubMed: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11015118>)

Kavet, R., Zaffanella, L.E., Pearson, R.L., Dallapiazza, J. Association of Residential Magnetic Fields With Contact Voltage. *Bioelectromagnetics*, Vol. 25, pp. 530-536, 2004.
(Abstract in PubMed: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15376240>)

LeBien, T.W. Fates of human B-cell precursors. *Blood*. 2000 Jul 1;96(1):9-23.
(Abstract in PubMed: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10891425>)

Lilien, J. L., Dular, P., Sabariego, R. V., Beauvois, V. , Barbier, P. P. , Lorphèvre, R. Effects of extremely low frequency electromagnetic fields on human beings – An electrical engineer viewpoint. *Revue E tijdschrift*, n° 3, pp. 34-50, 2008.
(Full text at: http://orbi.ulg.ac.be/bitstream/2268/17297/1/effects_ELF_SRBE_nov2008.pdf)

World Health Organisation (WHO). Extremely low frequency fields. *Environmental Health Criteria N° 238*. WHO Library (519 pages), 2007.