



Eindverslag (biënnaal 2006 - 2007)

Prenormatief en collectief onderzoeksproject

Overeenkomst CC CCN/PN/NPN-301 inzake actie voor prenormatief onderzoek i.s.m. Bureau voor Normalisatie (NBN)

Metten en evalueren van de blootstelling van lassers aan elektromagnetische velden in het kader van de nieuwe Europese EMF-richtlijn 2004/40/EC

Kurt Broeckx: Belgisch Instituut voor Lastechniek, Gent, België
Gilbert Decat, Leo Deckx, Guy Meynen: VITO, Mol, België
Marijn Casteels, Patrick Van Rymenant: De Nayer Instituut, Mechelen, België
Kjell Hanson Mild: Umeå university, Umeå, Sweden

29 februari 2008

Inhoud

1.	Inleiding	8
2.	WP1: Inventarisatie van de lasprocessen in België	10
3.	WP2: Literatuurstudie	11
3.1.	Algemene gevaren bij booglassen	11
3.1.1.	Elektriciteit	11
3.1.2.	Elektromagnetische velden	11
3.1.3.	UV-, IR- en thermische straling en zichtbaar licht	11
3.1.4.	Lasrook	12
3.1.5.	Vuur en spatten	12
3.1.6.	Geluid	12
3.1.7.	Ergonomie	12
3.2.	Elektromagnetische straling bij lassen	13
3.2.1.	Algemeen	13
3.2.2.	Gezondheidseffecten	15
3.2.3.	Mogelijke oplossingen	17
4.	WP3: Het meten van elektromagn. straling bij lassen	19
4.1.	Eigenschappen en grootheden van elektromagnetische velden	19
4.2.	Blootstellingsnormen en -richtlijnen	24
4.2.1.	Belgische regelgeving.....	24
4.2.2.	Internationale regelgeving	25
4.2.3.	Ontwerp van Koninklijk besluit in België	30
4.3.	Meetapparatuur en meetmethode	33
4.3.1.	Meetinstrumenten	33
4.3.2.	MEETPROTOCOL.....	37
5.	WP4: Metingen i.f.v. lasparameters.....	44
5.1.	Inleiding	44
5.2.	Meting van de lasparameters	46
5.2.1.	Inleiding.....	46
5.2.2.	Gemeten parameters bij weerstandlassen.....	59
5.3.	Meting van golfvorm en harmonischen	61
5.3.1.	Meting van golfvorm en harmonischen bij booglassen	61
5.3.2.	Meting van golfvorm en harmonischen bij weerstandlassen.....	68
5.4.	Opgemeten elektromagnetische velden	72
5.4.1.	Inleiding.....	72
5.4.2.	Opgemeten elektromagnetische velden bij booglassen	72
5.4.3.	Opgemeten elektromagnetische velden bij weerstandlassen.....	74
6.	WP5: Verwerking van de meetgegevens	77
6.1.	Inleiding	77
6.2.	Halfautomatisch lassen.....	78
6.3.	Lassen met beklede elektrode	79
6.4.	TIG-lassen	80
6.5.	In functie van het lichaam	81
6.6.	AWL 65 kVA 50Hz weerstandlasmachine.....	82
6.7.	ARO 180 kVA MFDC 1000Hz weerstandlasmachine.....	84
6.8.	Matuschek 32 kVA HFDC 20 kHz weerstandlasmachine.....	85
7.	WP6: Evaluatie van de meetgegevens	86
7.1.	Inleiding	86
7.2.	Halfautomatisch lassen.....	87

7.3.	Lassen met beklede elektrode	87
7.4.	TIG-lassen	88
7.5.	In functie van het lichaam	88
7.6.	AWL 65 kVA 50Hz weerstandlasmachine.....	89
7.7.	ARO 180 kVA MFDC 1000Hz weerstandlasmachine.....	90
7.8.	Matuschek 32 kVA HFDC 20 kHz weerstandlasmachine.....	90
8.	Conclusies	92
8.1.	Algemeen	92
8.2.	Enkele conclusies per lasproces	92
9.	WP7: Uitwerking van beschermingsmaatregelen	94
10.	WP8: Kennisverspreiding en sensibilisatie	94

Overzicht Figuren

Figuur 1	9
Figuur 2: verhouding tussen verschillende elektromagnetische velden.....	13
Figuur 3: magnetische veldsterkte in functie van verschillende.....	14
Figuur 4: magnetische veldsterkte in functie van de afstand	14
Figuur 5: elektrische veldsterkte	15
Figuur 6: dichtheid van het elektromagnetische veld.....	17
Figuur 7: reductie van het elektromagnetisch veld	18
Figuur 8: elektromagnetisch frequentiespectrum	19
Figuur 9: Stroomlussen in het lichaam bij verticaal invallend B-veld.....	39
Figuur 10: Stroomlussen in het lichaam bij horizontaal invallend B-veld	39
Figuur 11: meetopstelling (shunt + stroomklemmen).....	40
Figuur 12.....	41
Figuur 13.....	42
Figuur 14.....	42
Figuur 15: meetopstelling prEN 50444	43
Figuur 16.....	43
Figuur 17: meet- en evaluatieschema	45
Figuur 18: Stroom-spanningsverloop Kemppi pro 4200 kortsluitbooglassen	46
Figuur 19: Stroom-spanningsverloop ESAB LUD 450W kortsluitbooglassen	48
Figuur 20: stroom-spanningsverloop Kemppi pro 4200 sproeibooglassen.....	49
Figuur 21: stroom-spanningsverloop ESAB LUD 450W sproeibooglassen.....	50
Figuur 22: stroom-spanningsverloop Kemppi pro 4200 gepulseerd lage stroomparameters...	51
Figuur 23: stroom-spanningsverloop Kemppi pro 4200 gepulseerd hoge stroomparameters..	52
Figuur 24: stroom-spanningsverloop Fronius magic wave 2600 wisselstroom	53
Figuur 25: stroom-spanningsverloop Morelisse weldboy E401 wisselstroom	54
Figuur 26: stroom-spanningsverloop Fronius magic wave 2600 gelijkstroom.....	55
Figuur 27: stroom-spanningsverloop Fronius magic wave 2600 gelijkstroom.....	56
Figuur 28: stroom-spanningsverloop Fronius magic wave 2600 gepulseerd 100Hz.....	57
Figuur 29: stroom-spanningsverloop Fronius magic wave 2600 gepulseerd 1000Hz	58
Figuur 30: Stroomverloop AWL 65 kVA 50Hz (ingeschakeld vermogen 45%).....	59
Figuur 31: Stroomverloop ARO 180 kVA MFDC 1000 Hz (ingestelde stroom 8kA).....	59
Figuur 32: Stroomverloop Matuschek 32 kVA HFDC 20 kHz (ingestelde stroom 4 kA).....	60
Figuur 33: Golfvorm Kemppi pro 4200 kortsluitbooglassen	61
Figuur 34: Harmonischen Kemppi pro 4200 kortsluitbooglassen	61
Figuur 35: Golfvorm ESAB LUD 450W kortsluitbooglassen	62
Figuur 36: Harmonischen ESAB LUD 450W kortsluitbooglassen	62
Figuur 37: Golfvorm Kemppi pro 4200 gepulseerd lage stroomparameters.....	63
Figuur 38: Harmonischen Kemppi pro 4200 gepulseerd lage stroomparameters.....	63
Figuur 39: Golfvorm ESAB LUD 450W gepulseerd lage stroomparameters.....	63
Figuur 40: Harmonischen ESAB LUD 450W gepulseerd lage stroomparameters	64
Figuur 41: Golfvorm Kemppi pro 4200 gepulseerd hoge stroomparameters.....	64
Figuur 42: Harmonischen Kemppi pro 4200 gepulseerd hoge stroomparameters.....	64
Figuur 43: Golfvorm Fronius magic wave 2600 wisselstroom.....	65
Figuur 44: Harmonischen Fronius magic wave 2600 wisselstroom.....	65
Figuur 45: Golfvorm Morelisse weldboy E401 wisselstroom	66
Figuur 46: Harmonischen Morelisse weldboy E401 wisselstroom	66
Figuur 47: Golfvorm Fronius magic wave 2600 gelijkstroom.....	66
Figuur 48: Harmonischen Fronius magic wave 2600 gelijkstroom	67
Figuur 49: Golfvorm Fronius magic wave 2600 wisselstroom.....	67
Figuur 50: Harmonischen Fronius magic wave 2600 wisselstroom.....	67
Figuur 51: Golfvorm Fronius magic wave 2600 gepulseerd 1000Hz	68
Figuur 52: Harmonischen Fronius magic wave 2600 gepulseerd 1000Hz.....	68
Figuur 53: Golfvorm AWL 65 kVA 50Hz weerstandlasmachine (45% vermogen)	69
Figuur 54: Harmonischen AWL 65 kVA 50Hz weerstandlasmachine (45% vermogen)	69
Figuur 55: Golfvorm AWL 65 kVA 50Hz weerstandlasmachine (99% vermogen)	69

Figuur 56: Harmonischen AWL 65 kVA 50Hz weerstandlasmachine (99% vermogen)	70
Figuur 57: Golfvorm ARO 180 kVA MFDC 1000Hz weerstandlasmachine	70
Figuur 58: Harmonischen ARO 180 kVA MFDC 1000Hz weerstandlasmachine	71

Overzicht Tabellen

Tabel 1.....	10
Tabel 2: belangrijkste algemene eigenschappen	19
Tabel 3: fundamentele kenmerken per frequentiegebied.....	20
Tabel 4: nomenclatuur per frequentie en frequentieband	20
Tabel 5: samenvatting van frequentiebanden en toepassingsgebieden	21
Tabel 6: nomenclatuur van de letterbanden in het microgolfgebied	22
Tabel 7: ISM-frequenties	22
Tabel 8: kenmerken, symbolen, grootheden en eenheden van elektromagnetische velden	23
Tabel 9: Belgische blootstellingsnorm voor EMV-en tussen 10 MHz en 10 GHz.....	24
Tabel 10: ICNIRP-richtlijn (1994) voor blootstelling van het algemene publiek aan het statisch magnetisch veld	25
Tabel 11: grenswaarde voor blootstelling van de werknemers (effectieve waarde (rms) van onverstoord veld)	27
Tabel 12: Actiewaarden voor blootstelling van beroepsbevolking (effectieve waarde (rms) van onverstoord veld)	29
Tabel 13: Blootstellingslimieten voor dragers van pacemakers	32
Tabel 14: Specificaties van ETM-1 3-axis Hall magnetometer	33
Tabel 15: Specificaties van EMDEX LITE ELF Monitor.....	33
Tabel 16: Specificaties van Emdex II en Linda Wheel	34
Tabel 17: Specificaties van PMM 8053 meter.....	34
Tabel 18: Specificaties van sonde EHP50A	35
Tabel 19: Specificaties van PMM 8053 meter.....	35
Tabel 20: Scopemeter voor het bepalen van de golfvorm en de harmonischen	36
Tabel 21: Specificaties ELT-probe	37
Tabel 22: Lasparameters Kemppi pro 4200 kortsluitbooglassen	47
Tabel 23: Lasparameters ESAB LUD 450W kortsluitbooglassen.....	48
Tabel 24: lasparameters Kemppi pro 4200 sproeibooglassen.....	49
Tabel 25: lasparameters ESAB LUD 450W sproeibooglassen.....	50
Tabel 26: lasparameters Kemppi pro 4200 gepulseerd lage stroomparameters.....	51
Tabel 27: lasparameters Kemppi pro 4200 gepulseerd hoge stroomparameters.....	52
Tabel 28: lasparameters Fronius magic wave 2600 wisselstroom.....	53
Tabel 29: lasparameters Morelisse weldboy E401 wisselstroom	54
Tabel 30: lasparameters Fronius magic wave 2600 gelijkstroom.....	55
Tabel 31: lasparameters Fronius magic wave 2600 gelijkstroom.....	56
Tabel 32: Lasparameters Fronius magic wave 2600 gepulseerd 100Hz	57
Tabel 33: Lasparameters Fronius magic wave 2600 gepulseerd 1000Hz	58
Tabel 34: opgemeten elektromagnetische velden bij halfautomatisch lassen	72
Tabel 35: opgemeten elektromagnetische velden bij lassen met beklede elektrode	73
Tabel 36: opgemeten elektromagnetische velden bij TIG-lassen	73
Tabel 37: verdeling van de elektromagnetische velden over het lichaam van een lasser	74
Tabel 38: opgemeten elektromagnetische velden bij een 50 Hz weerstandlasmachine (Globaal [μ T]).....	74
Tabel 39: opgemeten elektromagnetische velden bij een 50 Hz weerstandlasmachine (Σ [t.o.v. 1]).....	74
5.4.3.2.1. Tabel 40: opgemeten elektromagnetische velden bij een 1000 Hz weerstandlasmachine (Globaal [μ T]).....	75
Tabel 41: opgemeten elektromagnetische velden bij een 1000 Hz weerstandlasmachine (Σ [t.o.v. 1]).....	75
Tabel 42: Opgemeten elektromagnetische velden bij een 20 kHz weerstandlasmachine.....	76
Tabel 43: Globaal elektromagnetisch veld bij halfautomatisch lassen	78
Tabel 44: Frequentieafhankelijk breedbandveld bij halfautomatisch lassen.....	79
Tabel 45: Globaal elektromagnetisch veld bij lassen met beklede elektrode	79
Tabel 46: Frequentieafhankelijk breedbandveld bij lassen met beklede elektrode	80
Tabel 47: Globaal elektromagnetisch veld bij TIG-lassen	80
Tabel 48: Frequentieafhankelijk breedbandveld bij TIG-lassen	81

Tabel 49: Globaal elektromagnetisch veld, verdeling over het lichaam van een lasser	81
Tabel 50: Frequentieafhankelijk breedbandveld, verdeling over het lichaam van een lasser ..	82
Tabel 51: Globaal elektromagnetisch veld bij een 50 Hz weerstandlasmachine	82
Tabel 52: Frequentieafhankelijk breedbandveld bij een 50 Hz weerstandlasmachine	83
Tabel 53: Globaal elektromagnetisch veld bij een 1000 Hz weerstandlasmachine.....	84
Tabel 54: Frequentieafhankelijk breedbandveld bij een 1000 Hz weerstandlasmachine.....	85
Tabel 55: Globaal elektromagnetisch veld bij een 20 kHz weerstandlasmachine.....	85
Tabel 56: Frequentieafhankelijk breedbandveld bij een 20 kHz weerstandlasmachine.....	85
Tabel 57: Geïnduceerde stroom bij halfautomatisch lassen	87
Tabel 58: Geïnduceerde stroom bij lassen met beklede elektrode	87
Tabel 59: Geïnduceerde stroom bij TIG-lassen	88
Tabel 60: Geïnduceerde stroom, verdeling over het lichaam van een lasser	88
Tabel 61: Geïnduceerde stroom bij een 50 Hz weerstandlasmachine (vertikale inval)	89
Tabel 62: Geïnduceerde stroom bij een 50 Hz weerstandlasmachine (horizontale inval).....	89
Tabel 63: Geïnduceerde stroom bij een 1000 Hz weerstandlasmachine (Vertikale inval)	90
Tabel 64: Geïnduceerde stroom bij een 1000 Hz weerstandlasmachine (Horizontale inval)....	90
Tabel 65: Geïnduceerde stroom bij een 20 kHz weerstandlasmachine (Vertikale inval)	90
Tabel 66: Geïnduceerde stroom bij een 20 kHz weerstandlasmachine (Horizontale inval).....	91
Tabel 67.....	95

1. Inleiding

Dit biënnaal (2006-2007) onderzoeksproject is een prenormatief project gesubsidieerd door F.O.D. Economie, KMO, Middenstand en Energie. De uitvoerende projectpartners zijn het Belgisch Instituut voor Lastechniek (BIL), de Vlaamse Instelling voor Technologische Ontwikkeling (VITO) en het VervolmakingsCentrum voor Lassers (VCL).

Op 30 april 2005 is er een nieuwe Europese richtlijn (EMF-richtlijn 2004/40/EC) verschenen. Deze richtlijn handelt over de minimaal te nemen veiligheids- en gezondheidsvoorschriften met betrekking tot de blootstelling van werknemers aan risico's te wijten aan elektromagnetische velden. De eventuele schadelijkheid van deze elektromagnetische velden wordt al jaren wetenschappelijk onderzocht. Zoals bij elke sociale richtlijn gaat het om minimumvoorschriften en hebben de Europese lidstaten de vrijheid om strengere normen op te leggen. De lidstaten hadden oorspronkelijk tot 30 april 2008 de tijd om de bepalingen van deze richtlijn in hun nationale wetgeving op te nemen, maar op het einde van 2007 is de implementatie van de richtlijn uitgesteld tot in 2012.

Elektromagnetische velden zijn een natuurlijk verschijnsel. Door het steeds stijgende gebruik van elektriciteit (elektrische stroom) in zowel huishoudelijke als industriële omgeving worden personen meer en meer blootgesteld aan kunstmatige bronnen van elektromagnetische velden. Zowel thuis als op het werk wordt iedereen blootgesteld aan een complexe mix van elektrische en magnetische velden met een grote verscheidenheid aan frequenties.

Elektromagnetische velden worden in functie van de frequentieband in verschillende types onderverdeeld: statische velden (DC), ELF-velden (Extra Low Frequency), RF-velden (Radio Frequency) en microgolfvelden (hoge frequenties). De elektromagnetische velden die opgewekt worden tijdens het lassen bestaan hoofdzakelijk uit ELF- en RF-velden.

De gevolgen van blootstelling van het menselijke lichaam of menselijke lichaamscellen aan elektromagnetische velden zijn voornamelijk afhankelijk van hun frequentie en intensiteit of sterkte. Bij lage frequenties gaan de velden door het lichaam heen. Bij radiofrequenties worden de velden deels geabsorbeerd en dringen ze slechts over een korte afstand in het weefsel. Laagfrequente velden beïnvloeden de verdeling van elektrische ladingen aan het oppervlak van geleidende weefsels en veroorzaken een elektrische stroom in het lichaam. De sterkte van deze geïnduceerde stroom is afhankelijk van de frequentie, de intensiteit van het externe veld en de grootte van de kringloop die de stroom volgt.

De mogelijke effecten van elektromagnetische velden leiden al jaren tot maatschappelijke zorg en discussies. Er zijn een aantal bekende en geaccepteerde nadelige effecten aangetoond van de velden (niet-ioniserende straling) op de gezondheid van de mens. Daarnaast bestaan nog vele vermoedens over andere nadelige effecten van deze velden, maar deze zijn nog niet éénduidig wetenschappelijk bewezen.

Algemeen kan gezegd worden dat personen die werken of verblijven in de nabijheid van installaties die gebruik maken van elektrische stroom met grote intensiteit, blootgesteld worden aan elektromagnetische velden met relatief hoge veldsterkten. Bij laswerkzaamheden worden relatief grote, al dan niet gepulseerde, stromen gebruikt. Lassen is een veelgebruikte en onmisbare activiteit in de algemene metaalverwerkende industrie, maar ook in andere sectoren, zoals bijvoorbeeld de chemische industrie (onderhoudswerken, ...).

De grootte van het opgewekte elektromagnetische veld tijdens het lassen is afhankelijk van de stroomsterkte en de frequentie van de lasstroom. Dit veld wordt opgewekt ter hoogte van de stroomvoerende kabels, de laselektroden en in mindere mate de transformator. Aangezien de elektrode en de stroomgeleider zich tijdens het lassen dichtbij (en in veel gevallen in contact met) het lichaam van de lasser bevinden, zullen vooral de romp, de hals en het hoofd van de lasser blootgesteld worden aan een sterk elektromagnetisch veld.

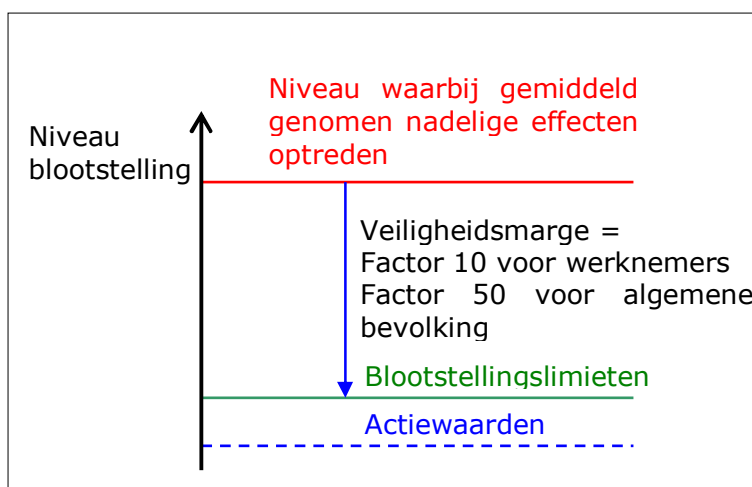
Europees gezien is men reeds enkele jaren bezig met het ontwikkelen van berekeningsmethoden om de grootte van elektromagnetische velden tengevolge van het lassen te evalueren. Een doorgedreven evaluatie van deze berekeningsmethoden met praktijkmetingen is noodzakelijk.

Het doel van het project is om de werkelijke blootstelling van de lasser (beroepsbevolking) aan elektromagnetische velden te evalueren in het kader van de Europese richtlijn. Tevens zullen de mogelijke problemen of moeilijkheden bij de implementatie van de nieuwe EMF-richtlijn onderzocht en in kaart gebracht worden specifiek voor bedrijven waar lasactiviteiten plaatsvinden. De resultaten van dit project moeten het voor de bedrijven mogelijk maken om een goede inschatting te maken in welke gevallen maatregelen genomen moeten worden om de werknemers te beschermen tegen elektromagnetische velden en te voldoen aan de nieuwe EMF-richtlijn. De resultaten van het project zullen dus kunnen verhinderen dat elk lasbedrijf op zich een dergelijke evaluatie moet uitvoeren. Op deze manier kunnen de financiële middelen van de lasbedrijven efficiënt ingezet en toegespitst worden op de mogelijke probleemgevallen.

De nieuwe richtlijn (EMF-Richtlijn 2004/40/EC) is gebaseerd op richtlijnen opgesteld door ICNIRP (International Commission for Non-Ionizing Radiation Protection). Ter bescherming van de werknemers gaat ICNIRP uit van basisrestricties waarbij een biologisch effect geïnduceerd wordt. Tijdens het lassen worden hoofdzakelijk ELF- en RF-velden gegenereerd. Blootstelling van de mens aan een ELF-veld van 100 mA/m^2 (basisrestrictie voor ELF-velden) veroorzaakt een effect op het zenuwstelsel van de mens. Een blootstelling aan een RF-veld met een SAR (Specific Absorption Rate) van 4 W/kg (basisrestrictie RF-straling) veroorzaakt een temperatuursverhoging van 1°C in het lichaam.

Om rekening te houden met wetenschappelijke onzekerheden heeft ICNIRP een veiligheidsfactor van 10 ingebouwd voor werknemers en 50 voor de algemene bevolking (zie Figuur 1). Deze waarden, die rekening houden met de respectievelijke veiligheidsfactoren, worden de blootstellingslimieten genoemd. Bij het overschrijden van deze blootstellingslimieten bestaat het vermoeden dat er nadelige gezondheidseffecten kunnen optreden.

Een blootstellingslimiet is bijvoorbeeld de hoeveelheid ingestraald vermogen per kg weefsel (SAR). Een dergelijke grootte is echter moeilijk te meten. Om dit probleem te verhelpen heeft men actiewaarden vastgelegd. Dit zijn meetbare waarden. Een voorbeeld is de elektromagnetische veldsterkte op de plaats van de blootstelling. Als de opgemeten of berekende waarden de actiewaarden overschrijden moet een evaluatie uitgevoerd worden om na te gaan of de blootstellingslimieten al dan niet overschreden worden.



Figuur 1

2. WP1: Inventarisatie van de lasprocessen in België

Om ervoor te zorgen dat de uitgevoerde testen representatief zijn voor de dagelijkse werksituaties werd aan de hand van een enquête een marktonderzoek uitgevoerd. De enquête werd gehouden bij een aantal grote bedrijven en heeft geleid tot een representatieve matrix (zie Tabel 1) die de basis vormt voor de uit te voeren proeven. De testmatrix bevat de volgende gegevens: lasprocessen, veel-gebruikte stroomsterktes, geschatte tijdsduur (uitgedrukt in %) dat een bepaalde stroomsterkte gebruikt wordt, type stroom (gelijkstroom, wisselstroom, gepulseerde stroom), geschatte tijdsduur (uitgedrukt in %) dat een bepaald type stroom wordt gebruikt, geschatte inschakelduur (percentage van de totale werktijd dat de lasboog werkelijk brandt), enz. Het in kaart brengen van de stroomsterkte en het type stroom per lasproces is noodzakelijk om representatieve proeven uit te voeren tijdens het project. De geschatte inschakelduur is onontbeerlijk om een goede inschatting te maken van de werkelijke blootstellingstijd van een lasser aan elektromagnetische velden.

Lasproces	ID ^a	Type stroom	% ^b	Stroomgrootte [A]	% ^c
MIG/MAG (131/135) Massieve draad	25	DC+	60	150 – 250	47
		Gepulseerd	40	250 – 350	43
				> 350	10
MIG/MAG (136/137) Gevulde draad	30	DC+	88	< 150	10
		DC-	12	150 – 250	57
				250 – 350	33
				> 350	1
Beklede elektrode (111)	20	DC+	71	50 – 100	25
		DC-	28	100 – 150	37
		AC	1	150 – 200	24
				> 200	13
TIG (141)	25	DC-	99	< 50	5
		AC	1	50 – 100	30
				100 – 150	50
				150 – 200	14
				> 200	1
^a ID : gemiddeld geschatte inschakelduur (tijd dat lasboog werkelijk brandt t.o.v. de totale werktijd uitgedrukt in %)					
^b gemiddeld geschat percentage [%] dat een bepaald type stroom wordt gebruikt					
^c gemiddeld geschat percentage [%] dat een bepaald stroomgroottegebied wordt gebruikt					

Tabel 1

3. WP2: Literatuurstudie

3.1. Algemene gevaren bij booglassen

De continue ontwikkeling van lasprocessen samen met het gebruik van nieuwe materialen kan niet losgekoppeld worden van studies die gaan over de effecten van deze nieuwe ontwikkelingen op het menselijke lichaam.¹ Het is noodzakelijk om de gevaren te identificeren zodanig dat preventiemaatregelen uitgewerkt kunnen worden.

Booglassers zijn werknemers die blootgesteld worden aan een groot aantal veiligheids- en gezondheidsproblemen, waaronder:

- Elektriciteit
- Elektromagnetische velden
- UV- straling, IR-straling en zichtbaar licht
- Thermische straling
- Lasrook
- Vuur en spatten
- Geluid
- Ergonomie

3.1.1. Elektriciteit

Het menselijk lichaam is zeer gevoelig voor stroom die door het lichaam vloeit. Stromen van slechts 10 à 20 mA kunnen reeds ernstige fysische gevolgen hebben. Het effect van een stroom is sterk afhankelijk van het type stroom (gelijkstroom versus wisselstroom), de tijdsduur, de frequentie en de weg die de stroom in het lichaam volgt. Zo zijn de gevaren bij wisselstroom veel groter dan bij gelijkstroom. Speciale aandacht moet besteed worden aan het lassen in nauwe en eventueel vochtige ruimtes.

3.1.2. Elektromagnetische velden

Alhoewel er in het verleden reeds heel wat onderzoek uitgevoerd is, blijft de vraag wat het effect is van elektromagnetische velden op de gezondheid van een mens nog steeds niet volledig beantwoord.

Net als bij de gevaren tengevolge van elektriciteit is het type stroom hier opnieuw van groot belang. Bij zuivere gelijkstroom is het effect van elektromagnetische straling bijvoorbeeld hoogstwaarschijnlijk verwaarloosbaar.

Deze paragraaf wordt uitvoerig uitgewerkt in §3.2.

3.1.3. UV-, IR- en thermische straling en zichtbaar licht

Een elektrische boog creëert een sterke straling in het golflengtegebied van ultraviolet (UV) straling, zichtbaar licht en infrarood (IR) straling.

UV is gevaarlijk voor de ogen. Het veroorzaakt lasogen (verbranding van het hoornvlies). Lasogen zijn een tijdelijk effect. Tevens is UV gevaarlijk voor de onbeschermdede huid, want het leidt tot verbranding van de huid (cfr. hevige zonnebrand).

Zichtbaar licht veroorzaakt tijdelijke verblinding.

IR daarentegen kan permanente schade veroorzaken aan het netvlies (retina) en de lens.

¹ Luca Costa, Risks for health in welding, 2001, Eurojoin 4

Deze problemen ten gevolge van straling (UV, zichtbaar en IR) kunnen voorkomen worden door een correct gebruik van persoonlijke beschermingsmiddelen (PBM's), namelijk:

- een lashelm met een donkerheidsgraad aangepast aan het uit te voeren werk
- geschikte laskledij
- lashandschoenen aangepast aan het lasproces en uit te voeren werk

Thermische straling door de warme gelaste stukken, maar ook door het voorwarmen van de te lassen stukken vormt een probleem voor de lasser. De warme stukken moeten zo goed mogelijk geïsoleerd worden zodanig dat het percentage thermische straling beperkt wordt. Aangepaste kledij voor de lasser (bvb. speciale geïsoleerde handschoenen) en voldoende ventilatie is in sommige werkomstandigheden (bvb. hoge voorwarmtemperaturen in nauwe ruimtes) onontbeerlijk.

3.1.4. Lasrook

Lasrook is een niet te onderschatten gezondheidsrisico. Reeds vele jaren wordt er onderzoek uitgevoerd naar het effect van lasrook op de gezondheid, maar ook onderzoek naar de ontwikkeling van toevoegmaterialen met een beperkte lasrookvorming. Zeswaardige Chroom, Lood, Nikkel, ijzeroxides, Mangaan, Zink, fluorides en dergelijke aanwezig in lasrook kunnen leiden tot verschillende negatieve effecten en zelfs tot ziektes.

De problemen ten gevolge van lasrook kunnen echter redelijk eenvoudig tot een minimum beperkt worden door het aanwenden van lasrookafzuiging, verse lucht toevoer in de lashelm, goede algemene ventilatie, enz.

3.1.5. Vuur en spatten

Lasspatten kunnen leiden tot brandwonden. Bij het lassen in positie of bij het lassen in nauwe ruimtes kunnen lasspatten zeer onaangenaam zijn. Spatten kunnen tevens brand veroorzaken. Preventie (brandbare stoffen niet opslaan in de buurt van laswerkzaamheden) en opleiding van de lassers (lasser bewust maken van de mogelijke gevolgen) is de meeste geschikte manier om dit te voorkomen.

3.1.6. Geluid

Lassen en zeker de aanverwante activiteiten (slijpen, branden, gutsen, ...) veroorzaken hoge geluidsniveaus (meestal uitgedrukt in dB).

Het toepassen van voorzorgsmaatregelen is aan te raden, o.a.:

- persoonlijke oorbescherming
- afschermen van geluiddruchtige ruimtes
- gebruik van geluidsarme machines
- minimaliseren van de hoeveelheid slijpwerk

3.1.7. Ergonomie

Problemen qua ergonomie zijn bij laswerkzaamheden bijna steeds aanwezig. Denk maar aan het lassen in de laspositie PE (boven het hoofd). Vanuit ergonomisch standpunt zou een dergelijke positie steeds vermeden moeten worden, maar in de praktijk is dit veelal niet realiseerbaar. Daarom is het aan te raden om zoveel mogelijk hulpmiddelen te gebruiken, zoals bijvoorbeeld het toepassen van een balansarm die het kabelpakket bij MAG-lassen draagt. Een dergelijke balansarm vermindert sterk het gewicht van de toorts die de lasser in zijn hand heeft en verhoogt bijgevolg de ergonomie van de lasser. Een ander veel gebruikte oplossing om de ergonomie te verbeteren is gebruik maken van een positioneertafel. Op die manier kan het werkstuk zo gedraaid worden dat de lassen in de meest ergonomische positie

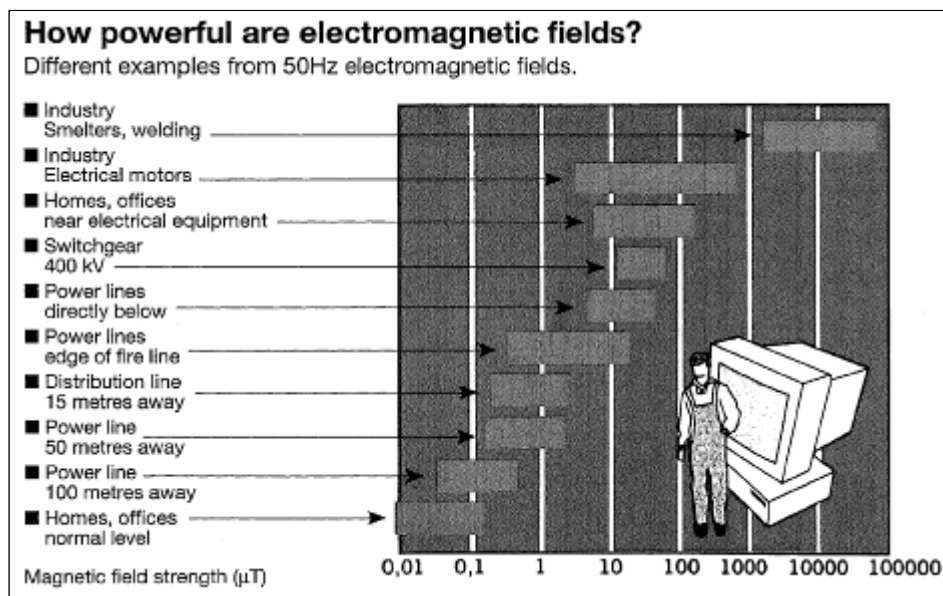
(vb: PA, PB-positie) gelast kan worden. Een bijkomend voordeel is dat door het verhogen van de ergonomie meestal ook de kwaliteit van de lassen sterk verbeterd wordt.

3.2. Elektromagnetische straling bij lassen

3.2.1. Algemeen

Zoals in paragraaf 0 besproken worden lassers blootgesteld aan verschillende gezondheidsproblemen. Een heel aantal van die gevaren zijn reeds goed gekend, maar de impact van elektromagnetische straling bij lassen is nog niet éénduidig bekend en beschreven. De invloed van elektromagnetische straling op het menselijk lichaam wordt reeds jaren in verschillende onderzoeksprojecten bestudeerd. De resultaten van deze projecten vertonen in veel gevallen tegenstrijdigheden en zijn zeer moeilijk te interpreteren en te extrapoleren.

Elektromagnetische velden omvatten elektrische en/of magnetische velden. Spanning is het verschil in elektrisch potentieel tussen twee punten. Deze spanning creëert een elektrisch veld tussen deze twee punten. De intensiteit van dit veld wordt uitgedrukt in volts per meter (V/m). Wanneer er een stroom door een geleider vloeit wordt er een magnetisch veld opgewekt. De dichtheid van de magnetische flux wordt uitgedrukt in Tesla (T). In lucht of in andere niet-magnetische voorwerpen is de fluxdichtheid zo laag dat meestal "μT" als eenheid wordt gebruikt. Wisselspanning en wisselstroom creëren wisselvelden. Dergelijke velden kunnen energie, bijvoorbeeld onder de vorm van elektrische stromen, induceren in de omgeving. De grootte van deze energie is recht evenredig met de intensiteit en de frequentie van het veld. Het elektromagnetisch veld rond een laskabel is meestal relatief groot omdat er bij lassen gebruik wordt gemaakt van grote stromen met velerlei frequenties. Figuur 2 geeft de verhouding weer tussen de elektromagnetisch velden gecreëerd bij lassen en dezelfde type velden bij andere toepassingen.



Figuur 2: verhouding tussen verschillende elektromagnetische velden²

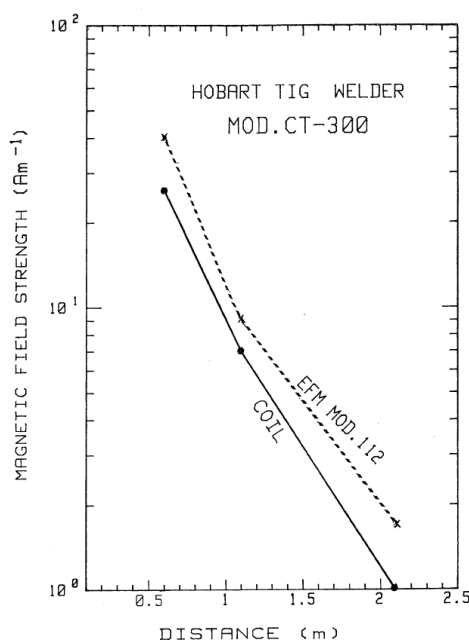
Bij lassen is één van de stroomvoerende kabels meestal in de onmiddellijke omgeving van de lasser en in veel gevallen zelfs in contact met het lichaam. Figuur 3 toont in functie verschillende lichaamsdelen en verschillende stroombronnen de magnetische veldsterkte (gemiddelde waarden bij de frequentie van het sterkste veld) waaraan de lasser wordt blootgesteld. De opgemeten waarden verschillen sterk per stroombron en per lichaamsdeel en

² Prof. K. Weman, Health hazards caused by electro-magnetic fields during welding., 1994, Svetsaren volume 48 p 14-16.

liggen tussen enkele μT tot een paar honderd μT . Dergelijke velden zijn veel groter dan de velden die opgemeten worden in huishoudelijke omgeving. Het veld neemt sterk af in functie van de afstand (zie Figuur 4) Figuur 5 geeft in functie van verschillende stroombronnen en verschillende lichaamsdelen de elektrische veldsterkte (gemiddelde waarden) waaraan de lasser wordt blootgesteld. Het elektrisch veld is relatief zwak en is bij lassen hoogstwaarschijnlijk ondergeschikt aan het magnetisch veld.

Model	Current A	Head		Chest		Waist		Gonads		Hand		Leg	
		Am^{-1}	μT	Am^{-1}	μT	Am^{-1}	μT	Am^{-1}	μT	Am^{-1}	μT	Am^{-1}	μT
Airco AC/DC Heliwelder	300	0.3	0.4	4	5	7	9	17	21	7	9	4	5
Canox AC Arc Welder	100	45	56	65	82	-	-	120	151	50	63	95	119
Canox AC Arc Welder	140	95	119	210	264	-	-	230	289	90	113	-	-
Canox Arc Welder	130	2	2	2	2	1	1	2	2	3	4	-	-
Canox Mig Welder	300	-	-	-	-	5	6	-	-	-	-	-	-
Canox Mig Welder	450	6	7	8	10	15	19	20	25	18	23	-	-
Canox Spot Welder Portable	36	60	75	150	188	350	440	500	628	800	1005	200	251
Canox Spot Welder	575	60	75	70	88	150	188	100	126	-	-	-	-
Canox Arc Welder	125	75	94	90	113	350	440	350	440	300	377	150	188
Canox Arc Welder	90	20	25	70	88	100	126	100	126	100	126	90	113
Elektra-Beckum Mig Welder	20	5	6	6	7	6	7	6	7	7	9	-	-
Hobart H.F. Tig Welder	120	160	201	180	226	-	-	110	138	120	151	110	138
Hobart H.F. Tig Welder	50	75	94	110	138	-	-	120	151	60	75	100	126
Lincoln Tig Arc Welder AC	375	80	100	100	126	250	314	250	314	250	314	250	314
Lincoln Tig Arc Welder DC	-	-	75	12	15	30	38	60	75	100	126	40	50
Linde (Union Carbide) Welder	240	60	75	65	82	120	151	290	364	-	-	300	377
Linde (Union Carbide) Welder	185	40	50	100	126	200	251	150	188	-	-	100	126
Liquid Carbonic Stick Welder	180	40	50	90	113	200	251	180	226	120	151	-	-
Miller (Canox) Bancroft Welder	500	160	200	70	88	100	126	80	100	-	-	45	56
Miller Inert Tig AC/DC Gas Welder	320	13	16	40	50	-	-	60	75	100	126	-	-
Miller Portable Spot Welder	15	-	-	-	-	0.4	0.5	-	-	-	-	-	-
Thermal Dynamics Cutting System	400	3	4	3.4	4	4.8	6	6.5	8	6.5	8	7.9	10

Figuur 3: magnetische veldsterkte in functie van verschillende lichaamsdelen en verschillende stroombronnen³



Figuur 4: magnetische veldsterkte in functie van de afstand³

³ M.A. Stuchly and D.W. Lecuyer, Exposure to electromagnetic fields in arc welding, 1989, health physics volume 56 n° 3 p 297-302

MODEL	Current (A)	Head (Vm^{-1})	Chest (Vm^{-1})	Waist (Vm^{-1})	Gonads (Vm^{-1})	Hand (Vm^{-1})	Leg (Vm^{-1})
Airco AC/DC Heliwelder	300	5	5	8	4	10	10
Canox Arc Welder	140	30	30	-	80	20	30
Canox Arc Welder	130	20	20	30	20	20	20
Canox Spot Welder	36	-	-	-	2	-	-
Hobart H.F. Tig Welder	120	42	45	-	42	39	39
Linde Tig Arc Welder AC	240	20	5	40	30	-	-
Linde Tig Arc Welder DC	185	6	5	5	-	20	180
Miller Portable Spot Welder	-	-	15	-	-	-	-
Miller Tig Welder AC/DC Gas	320	300	300	-	300	-	-

Figuur 5: elektrische veldsterkte³

3.2.2. Gezondheidseffecten

Ten gevolge van industriële en technische ontwikkelingen worden meer en meer mensen blootgesteld aan verschillende types van elektromagnetische velden met een lage frequentie (ELF: Extra Low Frequency).

Overgevoeligheid voor elektrische stromen is een symptoom dat voorkomt bij zowel werken voor een computer als bij algemene elektrische toepassingen. In sommige gevallen kan dit leiden tot huidproblemen. Er zijn verscheidene wetenschappelijke studies uitgevoerd, maar geen enkele kon een éénduidig verband aantonen.

Meer alarmerend zijn de verschillende rapporten waarin sprake is van een verband tussen elektromagnetische straling en leukemie en hersentumors. Eén van de genoemde risicogroepen in deze rapporten zijn "lassers". Aangezien bij booglassen gebruik wordt gemaakt van grote stromen worden lassers blootgesteld aan velden met een hoge intensiteit. Lasapparatuur staat meestal in de directe omgeving van de lasser en laskabels maken vaak direct contact met het lichaam van de lasser. Rond de laskabels bedraagt het magnetisch veld meestal meer dan $200\mu T$. Ten opzichte van de waarden gemeten in een kantooromgeving ($< 1\mu T$) is dit groot. Ter vergelijking is het interessant om te vermelden dat het statisch magnetisch aantrekkingsveld van de aarde ongeveer $50\mu T$ bedraagt.

Elektromagnetische velden kunnen moleculaire structuren veranderen en kunnen een belangrijke rol spelen in verschillende fysiologische processen en in de verandering van het metabolisme van een persoon.⁴ Bepaalde biologische effecten worden veroorzaakt door ELF-elektromagnetische velden, maar of deze effecten schadelijk zijn voor de mens of andere organismen blijft controversieel. Er is zeer weinig literatuur over het effect van elektromagnetische straling op biologische systemen. Er zijn echter wel reeds een groot aantal onderzoeken uitgevoerd, maar de resultaten zijn in de meeste gevallen niet reproduceerbaar.

Elektromagnetische velden opgewekt bij het lassen zouden een invloed kunnen hebben op sommige pacemakers.⁵

Halfautomatische lassen (MIG/MAG) is het meest gebruikte lasproces in de industrie. Dit lasproces maakt theoretisch gebruik van gelijkstroom. Zuivere gelijkstroom heeft hoogstwaarschijnlijk veel minder effect op de gezondheid van een werknemer dan wisselstroom. Echter bijvoorbeeld bij halfautomatisch lassen is de lasstroom geen zuivere gelijkstroom. Bovenop de gelijkstroom is meestal een wisselstroomcomponent gesuperponeerd. Een dergelijke stroom is per definitie nog steeds gelijkstroom, want de stroom gaat niet door nul. Om de gezondheidsrisico's te evalueren moet de

⁴ S.K. Prasad and Suchita Vyas, Health problems among workers of iron welding machines: an effect of electromagnetic fields, 1999 The British library – The world's knowledge

⁵ IIS/IIW-1485-98 – Commission VIII "Health and Safety", Health hazards from exposure to electromagnetic fields in welding, 1999, Welding in the world volume 43 n°3

wisselstroomcomponent gescheiden worden van de gelijkstroomcomponent. Ook de frequentie van deze wisselstroomcomponent is van groot belang.

De wisselstroomcomponent bij halfautomatisch lassen vindt zijn oorsprong in:

- Bij kortsluitbooglassen smelt de draad af doordat er contact gemaakt wordt met het smeltbad (kortsluiting). Dit resulteert in sterke variaties van stroom en spanning. Bij kortsluiting is de spanning theoretisch nul en de stroom maximaal (kortsluitstroom). Na het afsmelten van de druppel is de spanning maximaal en de stroom gelijk aan de ingestelde lasstroom (gelijkstroomcomponent). Dit alles resulteert in scherpe variaties (typische frequenties tussen 50 en 200 Hz) in stroom en spanning.
- Bij het gepulseerd lassen varieert (typische frequenties tussen 50 en 200 Hz) de lasstroom tussen een ingestelde basisstroom en een ingestelde piekstroom. Meestal wordt de stroombron zo afgeregeld dat er per puls één druppel afsmelt.
- Stroombronnen die gebruik maken van thyristoren en transistoren om de lasstroom te regelen veroorzaken een rimpel op de gelijkstroomcomponent. Thyristor gestuurde stroombronnen veroorzaken variaties in de stroom met een frequentie tussen 150 en 300 Hz. Bij inverter gestuurde stroombronnen kunnen deze variaties oplopen tot zelfs 100 kHz.

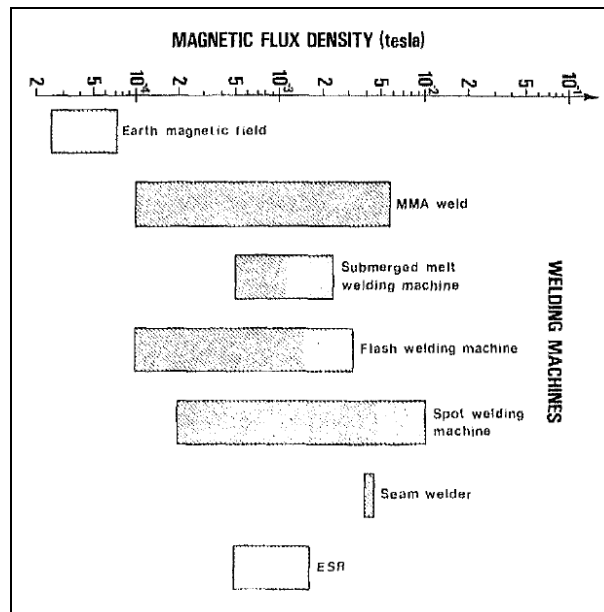
Gelijkstroom wordt naast halfautomatisch lassen ook zeer veel gebruikt bij TIG-lassen en lassen met de beklede elektrode.

Wisselstroom wordt het meest bij TIG-lassen en bij het lassen met beklede elektrode toegepast. De wisselstroom is meestal sinusvormig, maar in de praktijk worden ook blokvormige stromen gebruikt. Een blokvormig stroomsignaal heeft als voordeel dat de nuldoorgang zeer snel gebeurt. Dit komt de stabiliteit van de lasboog ten goede, want dit voorkomt doving van de boog.

Bij weerstandslassen wordt gebruik gemaakt van zeer grote stromen, tot bijvoorbeeld 10kA. Meestal wordt er wisselstroom gebruikt, maar toepassing van gelijkstroom is ook mogelijk. Weerstandslassen kan ELF-magnetische velden opwekken die nog veel hoger kunnen zijn dan die opgewekt bij booglassen.⁶

Figuur 6 toont de verhouding tussen de elektromagnetische velden afkomstig van verschillende lasprocessen, o.a. lassen met beklede elektrode: SMAW, onder poederdek lassen (SAW), weerstandslassen: spot welding, enz. Deze figuur toont tevens de grote spreiding qua dichtheid bij een aantal lasprocessen. De oorzaak van deze spreiding is de grootte en de frequentie van de stroom.

⁶ N. Hakansson, C. Stenlund, P. Gustavsson, D. Johansen, B. Floderus, Arc and resistance welding and tumours of the endocrine glands: a Swedish case-control study with focus on extremely low frequency magnetic fields, 2005, occupational environment medical



Figuur 6: dichtheid van het elektromagnetische veld bij verschillende lasprocessen

3.2.3. Mogelijke oplossingen

De invloed van de sterkte en type van het elektromagnetisch veld op het menselijke lichaam is nog steeds niet volledig duidelijk. Onderzoek naar deze invloed wordt in verschillende landen uitgevoerd. Sommige publicaties stellen zelfs dat de invloed van elektromagnetische velden op de gezondheid van de lasser ondergeschikt is aan de invloed van bijvoorbeeld lasrook. Echter met de publicatie van de nieuwe Europese richtlijn komt er een einde aan deze discussie, want deze richtlijn beperkt de intensiteit van het elektromagnetisch waaraan de lasser wordt blootgesteld. Hieronder worden een aantal maatregelen opgesomd die toegepast kunnen worden om het elektromagnetisch veld ten gevolge van lassen te beperken.

Stroombronnen worden door de verschillende fabrikanten zo gebouwd dat ze voldoen aan de internationale EMC-regelgeving (ElectroMagnetic Compatibility). Deze regelgeving legt de elektrische interferentie met andere elektrische toestellen aan banden, maar geeft geen richtlijnen om het elektromagnetisch veld te beperken. In veel gevallen zouden kleine ingrepen kunnen leiden tot een sterke vermindering van het geproduceerde elektromagnetisch veld.

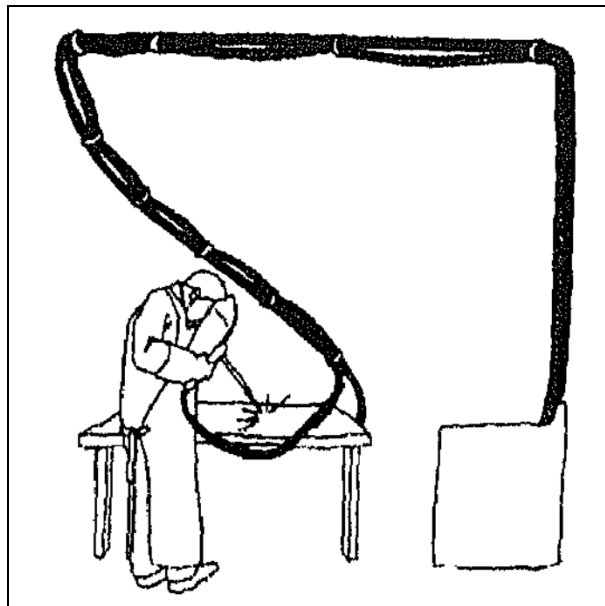
De laatste jaren is de ontwikkeling van stroombronnen steeds gefocust geweest op het verhogen van de stabiliteit van de lasboog, de instelbaarheid van de stroombron, enz. Er werd bijna geen aandacht geschonken aan het beperken van de intensiteit van het geproduceerde elektromagnetisch veld. Dit veld zou beperkt kunnen worden door de gesuperponeerde wisselstroomcomponent te beperken. Tot op heden werd deze component enkel gefilterd als dit van belang was voor de verbetering van de boogkarakteristiek.

Indien de laskabel en de massakabel zoveel mogelijk samengebonden zouden worden dan heffen de magnetische velden zich grotendeels op omdat de richting van de stroom in de laskabel en de massakabel tegengesteld is (zie Figuur 7). Op deze manier kan het gecreëerde veld geminimaliseerd worden. Het volledig samenhouden van massa- en laskabel is in de meeste gevallen niet volledig realiseerbaar, maar tracht te vermijden dat het lichaam van de lasser zich tussen beide kabel bevindt. Als minimale voorzorg moeten de kabels aan één zijde van het lichaam gepositioneerd worden.

Tracht de afstand tussen het lichaam van de lasser en de stroombron/laskabels zo groot mogelijk te maken. Dit is theoretisch een zeer goede oplossing aangezien de veldsterkte afneemt met de afstand. De afstand met de stroombron vergroten is meestal in de praktijk te

realiseren, maar in de meeste gevallen maakt de laskabel contact met het lichaam van de lasser. Het is zeker en vast sterk af te raden om de laskabels rond het lichaam te draaien. In de praktijk leggen lassers regelmatig de laskabel over hun schouders. Dit verhoogt de ergonomie van de lasser, want de lasser moet op die manier de zware kabel niet volledig met zijn arm optillen. Het grote nadeel is echter dat de laskabel op die manier zeker in direct contact is met het lichaam en dit vooral op een zeer ongunstige plaats, namelijk de ruggegraat.

Zoals eerder besproken (cfr. §3.1) is het redelijk eenvoudig om een lasser te beschermen tegen bijvoorbeeld lasrook door het gebruik van persoonlijke beschermingsmiddelen (bijvoorbeeld een lashelm met toevoer van verse lucht). Het beschermen van een lasser door middel van PBM's is niet eenvoudig en hoogstwaarschijnlijk niet werkbaar in de praktijk.



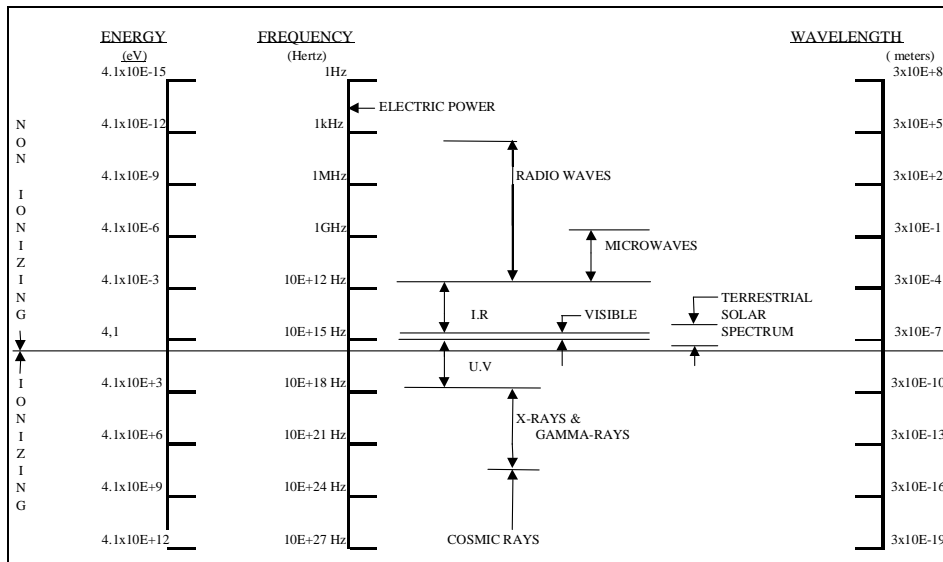
Figuur 7: reductie van het elektromagnetisch veld ⁷

⁷ Pekkari B. Growing concern about health, safety and environment in welding., 2000, Welding in the world volume 44

4. WP3: Het meten van elektromagn. straling bij lassen

4.1. Eigenschappen en grootheden van elektromagnetische velden

Figuur 8 toont het elektromagnetische frequentiespectrum volgens hetwelk de verschillende soorten elektromagnetische velden ingedeeld worden.



Figuur 8: elektromagnetisch frequentiespectrum

Samenvattend kan gesteld worden dat in het kader van de gezondheidsfysica het elektromagnetische spectrum op basis van de fotonenergie verdeeld wordt in twee brede stralingsgebieden, nl. ioniserende (fotonenergie $12,4 \text{ eV} \approx 1,987 \cdot 10^{-18} \text{ J}$) en niet-ioniserende straling (NIS). Zonder op de ioniserende straling verder in te gaan is het vermeldenswaardig dat ultraviolette straling (UV), bij een frequentie van 3 Petahertz ($1 \text{ PHz} = 10^{15} \text{ Hz}$), de overgang vormt tussen ioniserende en niet-ioniserende straling. Ofschoon UV-C deel uitmaakt van het ioniserende spectrum wordt het in de praktijk niet als deel van dit spectrum beschouwd omdat golflengtes kleiner dan 295 nm (10^{-6} mm) in de bovenste lagen van de atmosfeer geabsorbeerd (uitgefilterd) worden en omdat er daarenboven maar enkele UV-bronnen (sommige lasersoorten) zijn die bij ioniserende golflengtes werken. De belangrijkste algemene fysische eigenschappen van NIS worden in Tabel 2 samengevat.

Golflengtes (λ)	100 nm tot 300 000 km
Frequenties (f)	3,0 PHz tot 1 Hz
Fotonenergie (Joule)	$1,987 \cdot 10^{-18} \text{ J} - 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ J}$

Tabel 2: belangrijkste algemene eigenschappen van niet-ioniserende straling

Tabel 3 geeft de fundamentele kenmerken van elektromagnetische straling per frequentiegebied. Extreme lage frequentiegolven (ELF), radiofrequentiegolven (RF) en microgolven (MG) hebben een relatief lange golflengte (λ) die afneemt met toenemende frequentie, een lage frequentie (f) en een lage fotonenergie (eV of J). Hetgeen vaak verwarrend overkomt is dat de indeling van het NIS-spectrum op twee conventies gebaseerd is: de ene conventie beschouwt de microgolven als een subset van het RF-spectrum en de andere als twee onafhankelijke golfsoorten.

Uitgaande van deze kenmerken heeft men aan de MG, RF en ELF verschillende frequentiebanden (zie ook Tabel 3) toegekend die vaak betrekking hebben op de toepassingsgebieden. Tabel 4 geeft de nomenclatuur weer per frequentie en frequentieband.

Gebied	Golflengte	Frequentie	Fotonenergie
Microgolven	1 mm - 1 m	300 GHz - 300 MHz	1,2 - 0,0012 meV
Radiogolven	1 m - 100 km	300 MHz - 3 kHz	1200 - 0,12 neV
ELF	1000 - 10 000 km	300 - 30 kHz	1,2 - 0,12 peV

meV: milli-elektronvolt, neV: nano-eV (1 n = 10⁻⁶ eV), peV: pico-eV (1 p = 10⁻⁹ eV)

Tabel 3: fundamentele kenmerken per frequentiegebied

Frequentie	Frequentieband	Afkorting
0 Hz	Statische velden	
0 - 30 Hz	Sub-extremely low frequency	SELF
30 - 300 Hz	Extremely low frequency (extreem lage frequentie)	ELF
300 - 3000 Hz	Voice frequency (stemfrequentie)	VF
3 - 30 kHz	Very low frequency (heel lage frequentie)	VLF
30 - 300 kHz	Low frequency (lage frequentie)	LF
300 - 3000 kHz	Medium frequency (middenfrequentie)	MF
3 - 30 MHz	High frequency (hoge frequentie)	HF
30 - 300 MHz	Very high frequency (heel hoge frequentie)	VHF
300 - 3000 MHz	Ultra high frequency (ultra hoge frequentie)	UHF
3 - 30 GHz	Super high frequency (super hoge frequentie)	SHF
30 - 300 GHz	Extremely high frequency	EHF

Tabel 4: nomenclatuur per frequentie en frequentieband

In Tabel 5 worden de belangrijkste toepassingsgebieden aan deze frequentiebanden gekoppeld.

Frequentie	Golflengte	Frequentieband	Toepassing
0 Hz	∞	Statische velden	<ul style="list-style-type: none"> - Statische oplading en ontlading - DC* vermogengeneratoren - NMR (nucleaire magnetische resonantie) - MRI (magnetic resonance imaging of beeldvorming door magnetische resonantie) - Elektrolyseprocessen
1 Hz	300 000 km	Extremely low frequency (ELF)	<ul style="list-style-type: none"> - Systemen voor productie en transport van elektriciteit - Elektrische treinen - Lasuitrusting - Inductieovens - Elektrische industriële, medische, wetenschappelijke en huishoudelijke machines en apparaten
300 Hz	1000 km		
3 kHz	100 km		
30 kHz	10 km		
100 kHz	3 km		
3 MHz	100 m	Radiofrequenties (RF) en microgolven	<ul style="list-style-type: none"> - Inductieverwarmers - Anti-diefstalsystemen
30 MHz	10 m		- RF-verhitters
300 MHz	1 m		<ul style="list-style-type: none"> - FM-radio - Televisie
3 GHz	10 cm		<ul style="list-style-type: none"> - Mobiele telefoons en basis-station - Huishoudelijke en industriële microgolfovens - UMTS - Wireless LAN (wi-fi)
30 GHz	1 cm		- Radar
300 GHz	1 mm		- Radar

* DC = direct current

Tabel 5: samenvatting van frequentiebanden en toepassingsgebieden

Bij industriële en radartoepassingen worden de frequentiebanden nog onderverdeeld in letterbanden (Tabel 6). Ofschoon deze indeling vaak toegepast wordt is ze niet universeel aanvaard.

Letterband	Frequentiegebied (GHz)
L	1 100 – 1 700
LS	1 700 – 2 600
S	2 600 – 3 950
C	3 950 – 5 850
XN	5 850 – 8 200
X	8 200 – 12 400
Ku	12 400 – 18 000
K	18 000 – 26 500
Ka	26 500 – 40 000

Tabel 6: nomenclatuur van de letterbanden in het microgolfgebied

Naast deze letterbanden worden ook specifieke frequenties toegekend voor industriële (industrial), wetenschappelijke (scientific) and medische (medical) [ISM] toepassingen.

In Tabel 7 worden de ISM-banden van de 'Federal Communication Commission (FCC – US) samengevat die aangevuld werden met enkele Europese frequenties. De ISM-frequenties zijn voorbehouden voor andere gebruiken dan communicatie.

13,56 MHz ± 6,78 kHz
27,12 MHz ± 160 kHz
40,68 MHz ± 20 kHz
433 MHz (hyperthermie Europa)
896 MHz ± 10 MHz (UK)
915 MHz ± 25 MHz
2 450 MHz ± 50 MHz
5 800 MHz ± 75 MHz
24 125 MHz ± 125 MHz

Tabel 7: ISM-frequenties

Op enkele uitzonderingen na (b.v. het maximaal uitgezonden vermogen van de 2450 Hz huishoudelijke microgolfoven is vastgelegd op 10 mW) mag bij de ISM-frequenties onbeperkt uitgezonden worden. Bijgevolg kunnen in de onmiddellijke omgeving van dergelijke bronnen sterke RF-velden waargenomen worden.

Door gebruik te maken van deze frequenties kunnen ontelbare apparaten en toestellen, die in onze samenleving aanwezig zijn, zwakke tot sterke RF/microgolven uitzenden.

Enkele belangrijke voorbeelden hiervan zijn automatische deuropeners voor winkels (10 mW), alarm- en inbraakbeveiligingen (10 – 100 mW), radars voor verkeerscontrole (10 - 100 mW), straalverbindingen (10 tot 10 kW), WLAN, enz.

Tot slot van dit hoofdstuk geeft Tabel 8 een overzicht van de meest relevante grootheden en eenheden van de elektromagnetische velden.

Kenmerk	Symbol	Grootheid	Eenheid
Frequentie	f	Hertz	Hz
Golflengte	λ	Meter	M
Elektrisch veld	E	Volt per meter	V/m of Vm^{-1}
Magnetisch veld	H	Ampère per meter	A/m of Am^{-1}
Magnetische fluxdichtheid	B	Tesla	T
Vermogendichtheid	S	Watt per vierkante meter	W/m^2 of Wm^{-2}
Stroomdichtheid	J	Ampère per vierkante meter	A/m^2 of Am^{-2}
Specifiek absorptietempo (Specific absorption rate)	SAR (SAR)	Watt per kilogram	W/kg
Geleidbaarheid	σ	Siemens per meter	S/m
Elektrische weerstand	R	Ohm	Ω
Permeabiliteit	μ	Henry per meter	H/m of Hm^{-1}
Permeabiliteit in luchtledige	μ_0	$\mu_0 = 1,26 \times 10^{-6}$ H/m	
Permittiviteit	ϵ	Farad per meter	F/m of Fm^{-1}
Permittiviteit in luchtledige	ϵ_0	$\epsilon_0 = 8,854 2 \cdot 10^{-12}$ F/m	
Lichtsnelheid in luchtledige	c	$c = 2,997 9 \cdot 10^8$ m/s	

Tabel 8: kenmerken, symbolen, grootheden en eenheden van elektromagnetische velden

4.2. Blootstellingsnormen en -richtlijnen

Om op basis van de meetresultaten conclusies te trekken en aanbevelingen te formuleren met betrekking tot de eventuele bescherming van lassers tegen de blootstelling aan specifieke elektromagnetische velden wordt in deze paragraaf een overzicht gegeven van de bestaande normen en/of richtlijnen.

Ofschoon geen Belgische wetgeving bestaat i.v.m. de beroepsmatige blootstelling aan het magnetisch veld in het ELF gebied waaraan de lasser blootgesteld wordt, wordt volledigheidshalve en tevens louter informatief ook een overzicht gegeven van de bestaande regelgeving met betrekking tot de elektromagnetische velden in het algemeen.

4.2.1. Belgische regelgeving

Voor wat de algemene regelgeving in België voor elektromagnetische velden betreft, is het belangrijk te vermelden dat:

- er geen blootstellingsnorm of -richtlijn bestaat voor het statisch elektrisch of magnetisch veld.
- er geen blootstellingsnorm of -richtlijn bestaat voor het ELF magnetisch veld.
- er een norm bestaat voor het ELF elektrisch veld [⁸], de maximale blootstellingswaarde van 5 kV/m waaraan het algemene publiek gedurende 24 uur per dag mag blootgesteld worden is dezelfde als deze die door ICNIRP (1998) aanbevolen wordt.
- een blootstellingsnorm bestaat voor zendmasten die elektromagnetische velden (EMV-en) uitzenden tussen 10 MHz en 10 GHz die gepubliceerd werd bij KB van 10/08/2005 [⁹]. Tabel 9 toont de maximale waarden voor de enkelvoudige frequenties waaraan de algemene bevolking volgens de Belgische norm doorlopend over het gehele lichaam mag blootgesteld worden.

Frequentie	Vermogendichtheid (S in W/m ²)	Elektrisch veld (E in V/m)
10 MHz tot 400 MHz	0,5	13,7
400 MHz tot 2 GHz	f/800	0,686.f ^{1/2}
2 GHz tot 10 GHz	2,5	30,7

* f wordt uitgedrukt in MHz

Tabel 9: Belgische blootstellingsnorm voor EMV-en tussen 10 MHz en 10 GHz

Voor de samengestelde frequentievelden geldt de volgende Belgische norm:

$$\sum_{10MHz}^{10GHz} \left(\frac{E^2_i}{E^2_{i-ref}} \right) < 1 \quad \text{Formule 1}$$

met :

E^2_i = gemeten veldsterkte bij een frequentie i

E^2_{i-ref} = referentiewaarde van de norm bij een overeenkomstige frequentie i

⁸ Ministerieel besluit van 07 mei 1987 (B.S. van 14 mei 1987) gewijzigd bij M.B. van 20 april 1988 (B.S. van 06 mei 1988).

⁹ KB 10 augustus 2005. Koninklijk besluit houdende de normering van zendmasten voor elektromagnetische golven tussen 10 MHz en 10 GHz. Belgisch Staatsblad N. 2005 2394 (C-2005/22777) van 22 september 2005, Ed. 2, pp.41189 – 41193.

- er sedert 11 juni 2004 een kwaliteitsnorm voor het binnenmilieu bestaat die bepaalt dat het ELF magnetisch inductieveld in de woning niet groter mag zijn dan 0,2 μT : Besluit van de Vlaamse Regering houdende maatregelen tot bestrijding van de gezondheidsrisico's door verontreiniging van het binnenmilieu [¹⁰].
- de IEC-norm 335-2-25 (1988) voor de lekstraling van huishoudelijke microgolfovens geldt als Belgische en Europese norm [¹¹]

Bij gebrek aan adequate regelgeving in ons land inzake de beroepsmatige blootstelling aan het ELF magnetisch veld is men voor aanbevelingen ter bescherming van de lasser en de werknemers in het algemeen aangewezen op de internationale wetgeving ter zake.

4.2.2. Internationale regelgeving

4.2.2.1. Aanbeveling en richtlijn van de Europese Raad

De "EC Council Recommendation (1999)" omvat alleen de normen die van kracht zijn voor de algemene bevolking [¹²] en niet van toepassing op de meetresultaten van deze studie.

4.2.2.2. ICNIRP-richtlijn (1994) betreffende het statisch magnetisch veld (B-veld)

Tabel 10 geeft een overzicht van het maximaal magnetisch veld waaraan dragers en niet-dragers van pacemakers volgens ICNIRP (1994) mogen blootgesteld worden [¹³]. De richtlijn beveelt aan dat doorlopende blootstelling voor het algemene publiek niet groter mag zijn dan 40 mT.

Blootstelling	B-veld (mT)
Gehele lichaamsblootstelling van dragers en niet-dragers van pacemakers of andere elektronische implantaten (continue blootstelling)	200

Tabel 10: ICNIRP-richtlijn (1994) voor blootstelling van het algemene publiek aan het statisch magnetisch veld

Een bijkomende beschouwing die ICNIRP(1994) maakt, is dat dragers van pacemakers of ferromagnetische en andere elektronische implantaten niet beschermd worden door de referentiewaarden die in Tabel 10 weergegeven worden. Omdat deze implantaten volgens ICNIRP niet aangetast worden door een magnetisch veld dat zwakker is dan 0,5 mT, wordt aanbevolen dat dragers van dergelijke implantaten het best locaties vermijden waar de veldsterkte hoger ligt dan 0,5 mT. Draggers van ferromagnetische implantaten of andere elektrische implantaten dan pacemakers kunnen aangetast worden door B-velden boven een

¹⁰ Vlaamse Regering (2004), Kwaliteitsnorm voor het binnenmilieu i.v.m. het ELF magnetisch veld (11 juni 2004: Besluit van de Vlaamse Regering houdende maatregelen tot bestrijding van de gezondheidsrisico's door verontreiniging van het binnenmilieu. B.S. 19.10.2004 p. 72555).

¹¹ IEC-norm 335-2-25 (1988) voor de lekstraling van huishoudelijke microgolfovens

¹² EC Council Recommendation (1999), COUNCIL RECOMMENDATION of 12 July 1999 on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz) (1999/519/EC).

¹³ ICNIRP (1994), Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields. Health Physics January 1994, Vol. 66, Nr 4, pp

paar millitesla (mT). Indien het B-veld sterker is dan 3 mT moeten volgens ICNIRP (1994) voorzorgsmaatregelen genomen worden tegen kwetsuren die kunnen veroorzaakt worden door vliegende projectielen. Demagnetisatie van uurwerken, kredietkaarten, magneetbanden, computerschijven, enz. kan optreden vanaf een veldsterkte van 1 mT.

4.2.2.3. ICNIRP-richtlijn (1998) betreffende elektromagnetische velden tussen 0 Hz en 300 GHz

De referentieniveaus die in de ICNIRP-richtlijnen van 1998 [¹⁴] aanbevolen worden ter bescherming van de beroepsbevolking tegen tijdsvariërende (AC) elektrische en magnetische velden in het frequentiegebied van 0 Hz tot 300 GHz vormen de basisrichtlijn van de Europese richtlijn 2004/40/EC die in de volgende paragraaf besproken wordt.

4.2.2.4. Europese richtlijn van april 2004: Directive 2004/40/EC on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from electromagnetic fields

De interpretatie en bijgevolg de besluiten en de aanbevelingen die uit dit rapport zullen beschreven worden zijn enerzijds gebaseerd op de vergelijking van de meetresultaten met de actiewaarden van de richtlijn 2004/40/EC waarvan de waarden overeenstemmen met die van de ICNIRP (1998) richtlijn. Indien de actiewaarden bij een bepaalde frequentie overschreden wordt wordt berekend of de geïnduceerde stroom conform is met de grenswaarde voor blootstelling die overeenkomt met de vooropgestelde basisrestricties van ICNIRP (1998).

4.2.2.4.1. Grenswaarden voor blootstelling

Dit zijn restricties op de blootstelling aan tijdsafhankelijke elektrische, magnetische en elektromagnetische velden, die direct gebaseerd zijn op bewezen gezondheidseffecten en biologische overwegingen. Afhankelijk van de veldfrequentie worden de volgende fysische grootheden gebruikt om de restricties te specificeren: de magnetische fluxdichtheid (B), de stroomdichtheid (J), het specifieke energie absorptietempo (SAT) en de vermogendichtheid (S). B en J kunnen gemeten worden. De andere grootheden worden berekend. Afhankelijk van de frequentie worden de onderstaande fysische grootheden (dosimetrische/exposimetrische grootheden) gebruikt om de basisrestricties (BS) voor elektromagnetische velden te specificeren:

- $0 < f < 1$ Hz worden de basisrestricties gegeven voor B en J voor tijdsafhankelijke velden tot 1 Hz, teneinde gevolgen voor het cardiovasculaire systeem en het centrale zenuwstelsel te voorkomen;
- $1 \text{ Hz} < f < 10 \text{ MHz}$ worden de basisrestricties gegeven voor J om gevolgen voor functies van het zenuwstelsel te voorkomen;
- $100 \text{ kHz} < f < 10 \text{ GHz}$ worden de basisrestricties gegeven voor het SAT om globale thermische belasting van het lichaam en excessieve plaatselijke verwarming van weefsel te voorkomen. In het gebied van 100 kHz tot 10 MHz worden restricties voor zowel J als SAT gegeven
- $10 \text{ GHz} < f < 300 \text{ GHz}$ worden de basisrestricties gegeven voor S om verwarming van weefsel aan of bij het lichaamsoppervlak te voorkomen.

¹⁴ ICNIRP (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, 1998. <http://www.icnirp.de/documents/emfgdl.pdf>.

Tabel 11 geeft de referentieniveaus die in Europese richtlijn aanbevolen worden ter bescherming van de beroepsbevolking tegen tijdsvariërende (AC) elektrische en magnetische velden in het frequentiegebied van 0 Hz tot 300 GHz [15].

Frequentiegebied	J (A/m ²) voor hoofd en romp	Lichaams-SAR (W/kg)	Plaatselijke SAR (hoofd en romp) (W/kg)	Plaatselijke SAR (extremiteiten) (W/kg)	Vermogendichtheid (W/m ²)
Tot 1 Hz	40				
1 - 4 Hz	40/f				
4 - 1 000 Hz	10				
1 - 1 00 kHz	f/100				
1 00 kHz - 10 MHz	f/100	0	10	20	
10 MHz - 10 GHz		0	10	20	
10 GHz - 300 GHz					50

- J = stroomdichtheid; SAR: specific absorption rate of SAT (specifiek absorptie tempo)

Tabel 11: grenswaarde voor blootstelling van de werknemers (effectieve waarde (rms) van onverstoord veld)

Opmerkingen bij Tabel 11:

- f is de frequentie in hertz
- de grenswaarden voor blootstelling voor de stroomdichtheid zijn bedoeld om te beschermen tegen acute blootstellingseffecten op weefsel van het centraal zenuwstelsel in hoofd en romp. De grenswaarden voor blootstelling in het frequentiegebied 1 Hz tot 10 MHz zijn gebaseerd op vastgestelde schadelijke effecten op het centrale zenuwstelsel. Dergelijke acute effecten treden in wezen onmiddellijk op en er zijn geen wetenschappelijke redenen om de grenswaarden voor blootstellingen van korte duur te wijzigen. Aangezien de grenswaarden voor blootstelling betrekking hebben op schadelijke effecten op het centrale zenuwstelsel, kunnen evenwel hogere stroomdichtheden in ander lichaamsweefsel dan het centrale zenuwstelsel onder dezelfde blootstellingomstandigheden worden toegestaan.
- vanwege de elektrische inhomogeniteit van het lichaam dienen de waarden van de stroomdichtheid te worden berekend als gemiddelden over een doorsnee van 1 cm² loodrecht op de stroomrichting.
- voor frequenties tot 100 kHz kunnen de piekwaarden voor de stroomdichtheid worden verkregen door de rmswaarden met $(2)^{1/2}$ te vermenigvuldigen.
- voor frequenties tot 100 kHz en voor gepulseerde magnetische velden kan de maximale stroomdichtheid als gevolg van de pulsen worden berekend uit de stijg-/valtijden en de maximale veranderingsnelheid van de magnetische fluxdichtheid. De inductiestroomdichtheid kan dan worden vergeleken met de bijbehorende grenswaarde voor blootstelling. Voor pulsen met een duur van t_p dient de equivalent frequentie die in de grenswaarden moet worden toegepast, te worden berekend als $f = 1/(2t_p)$.
- alle SAR-waarden moeten worden berekend als gemiddelden over een periode van zes minuten.
- de plaatselijke SAR-middelingsmassa is 10 g aangrenzend weefsel; het aldus verkregen maximale SAR dient de waarde te zijn die voor de raming van de blootstelling wordt gebruikt. Met deze 10 g weefsel wordt een massa van 10 g aangrenzend weefsel met vrijwel homogene elektrische eigenschappen bedoeld. Hierbij valt op te merken dat een massa aangrenzend weefsel te gebruiken is in de computerdosimetrie, maar moeilijkheden kan opleveren bij directe fysieke metingen. Er kan een eenvoudige

¹⁵ Directive 2004/40/EC on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from Electromagnetic fields

geometrische vorm zoals een kubusvormige weefselmassa worden gebruikt, op voorwaarde dat de berekende dosimetrische hoeveelheden waarden hebben die ten opzichte van de blootstellingrichtsnoeren aan de veilige kant zijn.

- voor gepulseerde blootstellingen in het frequentiegebied van 0,3 tot 10 GHz en voor plaatselijke blootstelling van het hoofd, ter vermijding en beperking van effecten op het gehoor die veroorzaakt worden door thermo-elastische uitzetting, wordt een aanvullende grenswaarde aanbevolen. De SA mag niet meer dan 10 mJ/kg gemiddeld over 10 g weefsel bedragen.
- vermogensdichtheden moeten worden gemiddeld over 20 cm² van het blootgestelde oppervlak en over een willekeurige periode van 68/f^{1,05} minuten (f in GHz), ter compensatie van de geleidelijk kortere penetratiediepte naarmate de frequentie stijgt. Ruimtelijke maximale vermogensdichtheden, herleid tot een gemiddelde over 1 cm², mogen niet meer bedragen dan 20 maal de waarde van 50 W/m².
- met betrekking tot gepulseerde of transiënte elektromagnetische velden, of in het algemeen gelijktijdige blootstelling aan velden van verschillende frequentie moeten passende evaluatie-, metings- en/of berekeningsmethoden worden toegepast, die het mogelijk maken de kenmerken van de golfvormen en de aard van de biologische wisselwerking te analyseren, met inachtneming van de geharmoniseerde Europese normen van het Europees Comité voor elektrotechnische normalisatie

4.2.2.4.2. Actiewaarden

Terwijl grenswaarde voor blootstelling (geïnduceerde stroom, SAR etc.) rekengrootheden zijn die moeilijk te meten zijn, zijn actiewaarden of referentieniveaus (volgens de ICNIRP (1998) nomenclatuur), zoals elektrische veldsterkte (E), de magnetische veldsterkte (H), de magnetische fluxdichtheid (B), de vermogendichtheid (S) en de elektrische stroom in de extremiteiten, meetbare grootheden. In het kader van de blootstellingsevaluatie worden ze gebruikt om te bepalen of de basisrestricties al dan niet zouden kunnen overschreden worden.

Tabel 12 geeft een overzicht van de actiewaarden (0 Hz – 300 GHz) waaraan de werknemers doorlopend mogen blootgesteld worden.

	E-veld (V/m)	H-veld (A/m)	B-veld (μ T)	S_{eq} (W/m ²)	I_c (mA)	Extremititeiten I_c (mA)
Tot 1 Hz	-	$4 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^5$	-	1,0	
1 – 8 Hz	20	$4 \cdot 10^4/f^2$	$2 \cdot 10^5/f^2$	20	1,0	
8 – 25 Hz	20	5000/f	$2,5 \cdot 10^4/f$	20	1,0	
0,025 – 0,82 kHz	500/f	20/f	25/f	-	1,0	
0,82 – 2,5 kHz	610	24,4	30,7-	-	1,0	
2,5 – 65 kHz	610	24,4	30,7-	-	0,4/f	
65 – 100 kHz	610	1600/f	2000/f	0,61	0,4/f	
0,1 – 1 MHz	610	1,6/f	2/f		40	
1 – 10 MHz	610/f	1,6/f	20/f		40	
10 – 110 MHz	61	0,16	0,2	10	40	100
110 – 400 MHz	61	0,16	0,2	10		
400 – 2000 MHz	$3f^{1/2}$	$0,008 f^{1/2}$	$0,01f^{1/2}$	f/40		
2 – 300 GHz	137	0,36	0,45	50		

E: elektrisch veld; H: magnetisch veld; B: magnetische fluxdichtheid;
 S_{eq} : equivalente vermogen- dichtheid van vlakke golf; I_c = contactstroom

Tabel 12: Actiewaarden voor blootstelling van beroepsbevolking (effectieve waarde (rms) van onverstoord veld)

Opmerkingen bij Tabel 12:

- f is de frequentie die wordt aangewend in de onderverdelingen van de kolom frequentiegebied
- voor frequenties tussen 100 kHz en 10 GHz moeten E en B berekend worden als gemiddelden over een periode van zes minuten
- voor frequenties boven 10 GHz moeten S_{eq} , E, H en B berekend worden als gemiddelden over een periode van $68/f, 05$ minuten (f in GHz).
- voor frequenties tot 100 kHz kunnen de piekactiewaarden voor de veldsterkten worden verkregen door de rmswaarde met $(2)^{1/2}$ te vermenigvuldigen. Voor pulsen met een duur van tp dient de equivalente frequentie die met betrekking tot de actiewaarden moet worden toegepast, te worden berekend als $f = 1/(2tp)$.
- voor frequenties tussen 100 kHz en 10 MHz worden de piekactiewaarden voor de veldsterkten berekend door de desbetreffende rms-waarden te vermenigvuldigen met 10, waarin $a = (0,665 \log (f/10) + 0,176)$, f in Hz.
- voor frequenties tussen 10 MHz en 300 GHz worden de piekactiewaarden berekend door de desbetreffende rms-waarden te vermenigvuldigen met 32 wat de veldsterkten betreft en met 1 000 wat de equivalente vermogensdichtheid van de vlakke golf betreft.
- met betrekking tot gepulseerde of transiënte elektromagnetische velden, of in het algemeen met betrekking tot gelijktijdige blootstelling aan velden van verschillende frequentie moeten passende evaluatie-, metings- en/of berekeningsmethoden worden toegepast, die het mogelijk maken de kenmerken van de golfvormen en de aard van de biologische wisselwerking te analyseren, met inachtneming van de geharmoniseerde Europese normen van het Europees Comité voor elektrotechnische normalisatie.
- wat de piekwaarden van gepulseerde gemoduleerde elektromagnetische velden betreft, wordt tevens voorgesteld om voor draaggolven van meer dan 10 MHz de S_{eq} als gemiddeld over de pulsbreedte niet meer te laten bedragen dan 1 000 maal de S_{eq}

actiewaarden of de veldsterkten niet groter te laten zijn dan 32 maal de actiewaarden voor de draagolven.

De interpretatie van de meetresultaten die in het kader van dit onderzoek bekomen worden zullen getoetst worden aan de waarden die respectievelijk in Tabel 11 en Tabel 12 zijn samengevat.

4.2.3. Ontwerp van Koninklijk besluit in België

Momenteel werkt men aan een ontwerp van Koninklijk Besluit betreffende de bescherming van de gezondheid en de veiligheid van de werknemers tegen de risico's verbonden aan de blootstelling aan elektromagnetische velden op de arbeidsplaats

Dit besluit en zijn bijlage zijn de omzetting in Belgisch recht van de richtlijn 2004/40/EG van het Europees Parlement en de Raad van 29 april 2004 betreffende de minimumvoorschriften inzake gezondheid en veiligheid met betrekking tot de blootstelling van werknemers aan de risico's van fysische agentia (elektromagnetische velden) (18^{de} bijzondere richtlijn in de zin van artikel 16, lid 1, van Richtlijn 89/391/EEG). De actiewaarden en de grenswaarden voor blootstelling van dit ontwerp zijn dezelfde als die van de Eu richtlijn 2004/40/EC.

4.2.3.1. Problematiek rond de 0,4 µT blootstelling

Iedereen, overheid, wetenschappers, belangengroepen en "last but not least" het algemene publiek is tegenwoordig bekommerd om de associatie die zou kunnen bestaan tussen een langdurige blootstelling aan een 50 Hz magnetisch veld van 0,4 µT en kinderleukemie. Wat volgt zet deze bezorgdheid in zijn juiste context.

In 1979 kwamen Wertheimer and Leeper [¹⁶] tot het besluit dat kinderen die in de nabijheid van hoogspanningslijnen wonen, en aldus langdurig blootgesteld worden aan het 50 Hz ELF magnetische veld, een verhoogde kans op leukemie hebben. Hierop volgde een groot aantal laboratoriumstudies en epidemiologische onderzoeken naar het mogelijke verband tussen de blootstelling aan het 50 Hz magnetisch veld en kinderleukemie enerzijds en kanker en andere gezondheids- en bio-effecten in het algemeen anderzijds. Het belangrijkste onderzoeksonderwerp van vandaag is nog steeds de 0,4 µT problematiek die voornamelijk ontstond uit de epidemiologische "pooled analyses" van Ahlbom et al. (2000) [¹⁷] and Greenland et al. (2000) [¹⁸]. Deze auteurs toonden aan dat het relatief risico op leukemie bij kinderen tussen 0 en 15 jaar die aan een 50 Hz magnetisch veld blootgesteld worden dat gelijk of groter is dan gemiddeld 0,4 µT tweemaal groter is dan bij kinderen die aan minder dan 0,4 µT blootgesteld worden. Concreet betekent het relatief risico van 2 (rr = 2) dat jaarlijks 1 tot drie gevallen van kinderleukemie per 100 000 kinderen, die gemiddeld aan 0,4 µT blootgesteld worden, bijkomen. Ter vergelijking kunnen we aanhalen dat het relatief risico van rokers op longkanker vijftien (rr = 15) bedraagt.

Voor wat het risico in Vlaanderen betreft, werd berekend dat langdurige blootstellingen van kinderen tussen 0 en 15 jaar, die wonen binnen de 0,4 µT contouren van hoogspanningslijnen, om de 2 jaar 1 bijkomend geval van kinderleukemie oplevert [¹⁹].

¹⁶ Wertheimer N. and Leeper E. (1979), Electrical wiring configurations and childhood cancer. Am. J. Epidemiol. 1979; 109(3):273-84.

¹⁷ Ahlbom A, Day N, Feychting M. et al (2000), A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia. Br. J. Cancer 2000; 83(5):692-8

¹⁸ Greenland S, Sheppard AR, Kaune WT, Poole C, Kelsh MA. (2000). A pooled analysis of magnetic fields, wire codes, and childhood leukemia. Epidemiology 2000; 11(6):624-34.

¹⁹ Decat G., Peeters E., Smolders R., (2003), Tijdsreeks en GIS-model om de blootstelling van de bevolking aan het 50 Hz magnetisch veld gegenereerd door bovengrondse hoogspanningslijnen in kaart te brengen. VMM, MIRA/2003/05. November 2003, p. 1 – 55.

(<http://www.vmm.be/servlet/be.coi.gw.servlet.MainServlet/standard?toDo=open&id=3102&&>)

De resultaten van de epidemiologische studies hebben niet alleen het debat rond deze problematiek versterkt, maar zij vormden tevens de grondslag voor het "International Agency for Research on Cancer (IARC)" om in 2002 de 50 Hz elektromagnetische velden als "mogelijk kankerverwekkend" te klasseren [²⁰].

Om alle verwarring en misverstanden te vermijden, wordt er echter op gewezen dat 0,4 μT geen drempelwaarde is van een blootstellingsnorm of -richtlijn. Het is een zogenaamde epidemiologische scheidingswaarde (epidemiological cut-off point) waarmee in de statistiek een onderscheid wordt gemaakt tussen een controlegroep waarvan de individuele blootstelling kleiner is dan 0,4 μT en een blootgestelde groep waarvan de blootstelling groter is dan 0,4 μT .

Aangezien dit rapport geen betrekking heeft op langdurige residentiële blootstellingen van kinderen aan het 50 Hz magnetisch veld van o.a. hoogspanningslijnen, zullen noch de besluiten noch de aanbevelingen gebaseerd zijn op de vergelijking van de meetresultaten met deze 0,4 μT waarde. Het hoofdstuk is immers louter informatief en de 0,4 μT problematiek zal in het verdere verloop van dit rapport niet meer aangehaald worden.

4.2.3.2. Interferentie met pacemakers

Omdat pacemakers, ferromagnetische of andere elektronische implantaten gevoelig zijn voor elektromagnetische velden (EMV-en) kan hun normale werking erdoor verstoord worden.

De aandacht van de interferentieproblematiek tussen EMV-en en elektronische implantaten is hoofdzakelijk toegespitst op de storingen die hoofdzakelijk bij oudere pacemakersmodellen kunnen optreden. Sinds 1992 dragen meer dan 1,5 miljoen mensen een pacemaker en jaarlijks neemt dit aantal met ongeveer 100.000 eenheden toe [²¹].

Onder normale omstandigheden wordt de hartslag geregeld door de sinoatriale knoop die de natuurlijke pacemaker is die zich bovenin de rechter hartkamer bevindt. Bij disfunctie ervan wordt een kunstmatige pacemaker geïmplanteerd die gelijkaardige pulsen opwekt als de natuurlijke pulsen. Ofschoon er twee soorten pacemakers bestaan - (1) niet-synchrone of autonome pacemakers en (2) sensing, non-comparative of demand pacemaker - wordt het laatste type het meest gebruikt.

EMV-en kunnen op twee verschillende manieren met een pacemaker interfereren:

1. directe invloed op de circuits in de pacemakers
2. indirecte invloed door inductie van stroompjes in de katheterdraad

Er werd aangetoond dat vooral EMV-en met een frequentie lager dan 200 MHz een indirecte invloed hebben op pacemakers. De katheterdraad werkt als antenne en veroorzaakt stroompjes in de pacemaker die de werking ervan kunnen verstoren. Het aanbrengen van filters kan deze storingen voorkomen.

Volgens de IRPA/INIRC richtlijnen van 1990 [²²], die tevens verwijzen naar UNEP/WHO/IRPA van 1987 [²³] zou de interferentiedrempel van het 50 Hz ELF magnetische veld met pacemakers tussen 100 μT en 200 μT liggen. IRPA merkt op dat de kans zeer klein is dat een

²⁰ IARC (2002), Non-ionizing radiation, part1: static and extremely low-frequency (ELF) electric and magnetic fields. IARC Monogr. Eval. Carcinog. Risks. Hum 80:1-429.

²¹ Gezondheidsraad Nederland: Commissie Radiofrequente straling (1997). Radiofrequente elektromagnetische velden (300 Hz - 300 GHz). Bijlag E: Elektromagnetische interferentie van pacemakers, pp. 97 - 99.

²² IRPA/INIRC International Non-ionizing Radiation Committee of the International Radiation Protection Association Guidelines (1990) Interim Guidelines on Limits of Exposure to 50/60 Hz Electric and Magnetic Fields. Health Physics Vol. 58, Nr 1 January 1990.

²³ UNEP/WHO/IRPA (1987) United Nations Environment Program /World Health Organization/International Radiation Protection Association. Environmental Health criteria 69. Magnetic fields. Geneva: World Health Organization: 1987

magnetisch veld kleiner dan deze drempel de functie van pacemakers kan storen. Met meer moderne pacemakers wordt de kans op interferentie steeds kleiner.

Voor wat het 50 Hz elektrisch veld betreft, werd beneden de 2,5 kV/m geen interferentie met pacemakers in de literatuur beschreven [24]

In de Duitse voornorm DIN VDE 0848 [25] worden RF-blootstellingsnormen geformuleerd die betrekking hebben op pacemakers die voor 1990 gemaakt werden. Sinds 15 januari 1996 is de Europese norm EN 50061/A1 "Veiligheid van geïmplanteerde pacemakers" [26] van kracht. Alle pacemakers die na deze datum geïmplanteerd zijn, moeten aan deze norm voldoen. De grenswaarden van beide normen worden in Tabel 13 vermeld.

Frequentie (MHz)	Blootstellingslimiet (V/m)	
	Voornorm DIN VDE	EN50061/A
0,5	26,4	587
1	19,7	587
2	14,3	587
10	8,8	470
20	5,0	235
30	1,2	156

Tabel 13: Blootstellingslimieten voor dragers van pacemakers

De CENELEC werkgroep TC106X/DE0025/NP [27] ontwikkelde een reeks documenten ter bescherming van dragers van medische implantaten in het frequentiegebied van 0 Hz – 300 GHz. In deze documenten worden de formules gegeven om te berekenen of de gemeten piekvelden een drempelwaarde overschrijden waardoor interferentie kan optreden tussen het elektrisch en magnetisch veld en verschillende soorten pacemakers. De interferentiedrempel is afhankelijk van het frequentiegebied van het gemeten veld.

²⁴ Moss A.J. and Cartensen E. (1985) Evaluation of the effect of the electric field on implanted cardiac pacemakers. Palo Alto. CA: Electric Power Research Institute EPRI-EA 3917: 1985.

²⁵ Deutsche Elektrotechnische Kommission im DIN und VDE (DKE) (1991). Sicherheit in elektromagnetischen Feldern. Schutz von Personen im Frequenzbereich von 30 kHz bis 300 GHz. Entwurf VDE 0848 Teil 2 1991.

²⁶ CENELEC (1995). European Committee for Electrotechnical Standardization. Safety of implantable cardiac pacemakers. Brussels: CENELEC, 1995 (European standard EN 50061-/A1)

²⁷ TC106X/DE0025/NP. Safety in electric, magnetic and electromagnetic fields Part 3-1: Protection of persons with active implantable medical devices in the frequency range from 0 Hz to 300 GHz

4.3. Meetapparatuur en meetmethode

4.3.1. Meetinstrumenten

In deze rubriek worden de technische specificaties samengevat van de apparaten die gebruikt worden om golfvorm, frequenties, harmonischen en veldsterkte te meten.

4.3.1.1. Meetinstrument voor het meten van het statisch veld

METROLAB Instruments SA	
Ranges	1 - 9.99 mT, 199.9 mT, 1999 mT "DC full scale"
Resolution	0.01 mT, 0.1 mT, 1 mT
Accuracy	± 2% of reading or ± 3 digits
Temperature coefficient of the gain	± 0.05 % /°C (from 25 °C)
Measurement mode	3-axis or one axis, i.e. Bz or Bx, By
Interface	RS 232c

Tabel 14: Specificaties van ETM-1 3-axis Hall magnetometer

4.3.1.2. Meetinstrumenten voor het meten van ELF-velden (extreme low frequency)

EMDEX LITE ELF Monitor (Enertech Consultans)
Frequency response: 16 2/3 Hz tot 1000 Hz en 40 - 1000 Hz; flat response ± 30 %
Magnetic sensor: 3 orthogonal coils
Magnetic field range: 0,0 - 70 µT (700 mG)
Typical measurement accuracy @ calibrated frequency of 50/60 Hz (27°C): 0,1 - 700 mG: ± 8 %
Measurement method: True RMS measurement
Maximum sample rate: 4 seconds

Tabel 15: Specificaties van EMDEX LITE ELF Monitor

EMDEX II in combinatie met LINDA* Wheel	
Sensor	3- orthogonally oriented magnetic field sensor coil
Sample intervals	Maximum: 1 sample / 1.5 sec. Minimum: 1 sample / 327 sec.
Frequency bandwidth	Broadband: 40 – 800 Hz Harmonic: 100 – 800 Hz
Frequency respons	Broadband: total variation of $\pm 30\%$ over entire range Harmonic: 100 Hz + 10 % to - 45 % 120 Hz + 25 % to - 30 % 150 Hz + 25 % to - 0 % 180 – 800 Hz + 25 % to - 0 %
Low frequency field rejection	10 Hz signal: 1000 to 1 2 Hz signal: 10^6 to 1
Total Harmonic Distortion	Measurement of THD down to 3 % distortion
Measurement accuracy Calibration frequency 50 / 60 Hz	Resultant broadband magnetic field: Standard: High Field: 0,1 – 3000 mG 4 – 120 000 mG Typical: $\pm 3\%$ Worst case: $\pm 10\%$ 0,1 – 300 μ T 0.4 – 120 000 μ T Typical: $\pm 3\%$ Worst case: $\pm 10\%$ Equivalent electric field: Typical accuracy: $\pm 5\%$ plus sensor accuracy Worst case accuracy: $\pm 15\%$ plus sensor accuracy
Measurement method	True RMS measurement
Temperature errors	Readings will vary in more than $\pm 2\%$ per 10 °C change of temperature in the range of 0 °C to 50 °C
* Linear data acquisition system	

Tabel 16: Specificaties van Emdex II en Linda Wheel

PMM 8053 portable field strength meter	
Frequency range	5 Hz – 18 GHz
Dynamic range	>100 dB
Operation range	E-field: 0.03 V/m to 100 kV/m H-field: 10 nT tot 10 mT
Resolution	0.01 tot 100 V/m / 0.1 nT to 0.1 mT
Sensitivity	0.1 to 1 V/m / 10 nT to 0.1 mT
Sample rate	1, 10, 100 sec. every 6 minutes
Units	V/m, kV/m, μ W/cm ² , mW/cm ² , W/m ² , A/m, nT, mT

Tabel 17: Specificaties van PMM 8053 meter

PMM probe: electric and magnetic field analyzer EHP50A		
	Electric field	Magnetic field
Frequency range	5 Hz tot 100 kHz	
Level range	0,1 V/m – 100 kV/m	10 nT – 10 mT
Dynamic	>120 dB	
Resolution	0,001 V/m	1 nT
Sensibility	0,1 V/m	10 nT
Absolute error	± 0,8 dB (@ 50 Hz and 1 kV/m)	± 0,8 dB (@ 50 Hz and 0,1 mT)
Flatness (40 Hz – 10 kHz)	± 0,5 dB	± 0,5 dB
Isotropy	± 1 dB	
Electric field rejection		> 20 dB
Magnetic field rejection	> 20 dB	
Calibration	Internal into E ² prom	
Temperature error	0,05 dB / °C	

Tabel 18: Specificaties van sonde EHP50A

4.3.1.3. Meetinstrumenten voor het meten van de IF (intermediate frequency) en RF (Radio frequency) velden

PMM 8053 portable field strength meter		
Frequency range	5 Hz – 18 GHz	
Dynamic range	>100 dB	
Operation range	E-field: 0,03 V/m to 100 kV/m	H-field: 10 nT tot 10 mT
Resolution	0.01 to 100 V/m / 0,1 nT to 0,1 mT	
Sensitivity	0,1 to 1 V/m / 10 nT to 0,1 mT	
Sample rate	1, 10, 100 sec. every 6 minutes	
Units	V/m, kV/m, $\mu\text{W}/\text{cm}^2$, mW/cm^2 , W/m^2 , A/m, nT, mT	

Tabel 19: Specificaties van PMM 8053 meter

Dit is een elektromagnetische multimeter waaraan de respectievelijke meetsondes kunnen gekoppeld worden voor:

- het smalbandig (spectrumanalyse) meten van ELF (tabel B5)
- het smal- (tabel B5) en breedbandig (tabel B7) meten van IF-velden
- het breedbandig meten van RF (tabellen B7, B8, B9)

	190C Color ScopeMeter Series		190I ScopeMeter Series		
	Fluke 199C	Fluke 196C	Fluke 199B	Fluke 196B	Fluke 192B
Bandwidth	200 MHz	100 MHz	200 MHz	100 MHz	60 MHz
Max real time sample rate	2.5 GS/s	1 GS/s	2.5 GS/s	1 GS/s	800 MS/s
Max equivalent time sample rate	-	-	-	-	-
Display	144 mm full color LCD		144 mm monochrome LCD		
Digital persistence	Yes, gives analog oscilloscope like waveform decay (user selectable)		-		
Envelope mode	Yes		Yes		
Waveform compare	Visual reference and automatic 'Pass / Fail' testing		Visual reference		
FFT analysis	Windowing: Auto, Hamming, Hanning or none		-		
Max record length in Scope Mode:	3000 points per input channel				
in ScopeRecord mode:	27,000 points per input or more (5 ms/div to 2 min/div)				
Number of inputs	2 plus external / DMM input, all isolated from each other and from ground				
Number of digitizers	2				
Independently floating isolated inputs	Up to 1000 V between inputs, references and ground				
Input sensitivity	2 mV/div to 100 V/div		5 mV/div. to 100 V/div		
Glitch capture	Up to 3 ns using pulse width triggering; 50 ns peak detect at 5 ms/div to 1 min/div				
Timebase range in Scope mode	5 ns/div to 2 min/div				10 ns/div to 2 min/div
Trigger types	Connect-and-View™, Free Run, Single Shot, Edge, Delay, Video Frame, Video Line Selectable pulse width and external N-Cycle, Dual Slope				
Scope measurements	7 cursor measurements, 30 automatic measurements				
	+ Automatic Vrms and watts measurement on cursor limited part of waveform		-		
Waveform mathematics	A + B, A - B, A x B, A versus B (X-Y-mode, giving Lissajous diagrams)				
	+ Frequency Spectrum (FFT)		-		
ScopeRecord trigger modes	Start on trigger, stop on trigger, stop in absence of trigger signal				
Capture last 100 screens	Automatic, with replay capability				
Dual input TrendPlot	Yes, with cursors and zoom				
Memory for screens and set-ups	10 screens with set-up; 5 more memories are made available upon registration of the ScopeMeter				
Memory for recordings	Two, each can store 100 scope screens, a ScopeRecord or a TrendPlot				
True-rms multimeter	5000 counts, Volts, Amps, Ohms, Continuity, Diode, Temp				
Safety certified (EN61010-1)	1000 V CAT II / 600 V CAT III (instrument and included accessories)				
Battery (installed)	4 hr Ni-MH BP190				
Line Power	Adapter / battery-charger included				
Size	25 x 16.9 x 6.4 mm (10.1 x 6.7 x 2.5 in)				
Weight	2 kg (4.4 lb)				
PC and Printer Interface	Using optional optically isolated RS-232 adapter/cable				

Tabel 20: Scopemeter voor het bepalen van de golfvorm en de harmonischen

ELT - 400 with 100 cm ² probe	
Frequentie range (-3 dB)	1 Hz to 400 kHz, 10 Hz to 400 kHz, 30 Hz to 400 kHz
Antenna type	Magnetic (B) field
Sensor type	Isotropic coil 100 cm ²
Damage level	RMS 160 Mt The damage level reduces linearly with increasing frequency above 77,5 Hz
	Peak 226 mT The damage level reduces linearly with increasing frequency above 620 Hz The damage level (peak) applies for pulse duration ≤16,6 ms and duty ≤1/64
Measurement uncertainty	± 4 % (50 Hz to 120 Hz)
Mounting Thread	¼ - 20UNC-2B (standard tread)
EXPOSURE STD. MODE	
Exposure evaluation	Comparison with standard (see Ordering Information)
MODE	ICNIRP BGV B11 EN 500366
RANGE	LOW HIGH LOW HIGH LOW HIGH
Overload limit	160 % 1600 % 160 % 1600 % 160 % 1600 %
Noise level , typical	1 % 5 % 0,4 % 2 % 0,4 % 2 %
Resolution (RANGE , LOW)	0.001 %
Detection, selectable	Automatic recording to selected standard, or RMS (averaging time 1 s) or Peak
Display mode, selectable	Instantaneous or Max Hold

FIELD STRENGTH MODE						
Frequency response	Flat					
MODE	320 μ T		8 mT		80 mT	
RANGE	LOW	HIGH	LOW	HIGH	LOW	HIGH
Overload limit	32 μ T	320 μ T	800 μ T	8 mT	8 mT	80 mT
Noise level , typical	60 nT	320 nT	1 μ T	8 μ T	10 μ T	80 μ T
Resolution (RANGE , LOW)	1 nT					
Detection, selectable	RMS (averaging time 1 s) , or peak Value					
Display mode, selectable	Instantaneous or Max Hold					
OUTPUT						
Analog scope output	Three channel (X-Y-Z)					
Analog output level	The open-circuit analog output voltage = 800 mV when the field strength value corresponds to the overload limit (sensitivity = 800 mV / overload limit) (ELT -400 output impedance= 50 Ω , load impedance \geq 10 k Ω)					
Interface (Remote control and readout)	RS-232 (19200 baud, 8n1,XON/XOFF), 3-wire, 2,5 mm stereo jack					
GENERAL SPECIFICATIONS						
Operating temperature range	-10 $^{\circ}$ C + 50 $^{\circ}$ C					
Operating humidity range	< 95 % (30 $^{\circ}$ C) or 29 g/m3, non-condensing					
Weight, typical	910 g (with probe)					
Dimensions, typical	180*100*55 mm (without probe) / 290 * 125 \varnothing mm (probe)					
Display type	LCD with backlight, refresh rate 4 times per second					
Battery	NiMH batteries (4* Mignon, AA), exchangeable					
	Operating life, typical	12 h				
	Charger unit	100 to 240 V AC / 47Hz to 63 Hz, Fits all AC line connectors				
	Charger time, typical	2 h				
Calibration Interval , recommended		24 months				

Tabel 21: Specificaties ELT-probe

4.3.2. MEETPROTOCOL

Het protocol dat hier voorgesteld wordt zal hoofdzakelijk betrekking hebben op het magnetisch inductieveld (B-veld) en in mindere mate op het elektrisch veld (E-veld). Dit omdat de grootte van het B-veld sterk kan schommelen i.f.v. de stroomlast, moeilijk af te schermen of te blokkeren is en volgens de literatuur de risicobepalende component is van de elektromagnetische golf. De blootstelling die veroorzaakt wordt door het E-veld, dat afhankelijk is van de spanning, is in het algemeen zwak omdat het gemakkelijk door gelijk welke hindernis of behuizing verzwakt of compleet geblokkeerd wordt. Zeker voor wat het werkmilieu aangaat wordt het E-veld niet als de risicobepalende golfcomponent beschouwd.

Het meetprotocol is gebaseerd op de methode van de "Good measurement practice (GMP) in the exposure assessment of occupational ELF (extreme low frequency) electromagnetic fields" [28], de problemen die tegengekomen worden bij het inschatten van de blootstelling van werknemers aan ELF-velden [29] en de onzekerheden die ermee gepaard gaan [30]. Daar deze documenten op hun beurt de CENELEC-normen als uitgangspunt nemen, is het huidige protocol ook op deze normen gebaseerd.

²⁸ Decat G. (2007). Good measurement practice (GMP) in the exposure assessment of occupational ELF electromagnetic fields. Proceedings: Current Trends in Health & Safety Risk Assessment of Work-Related Exposure to EMFs. WHO/ICNIRP/EMF-NET Joint Workshop, Milan, Italy, 14-16 February 2007.

²⁹ Mild K.H. (2007). Encountered problems in ELF exposure assessment of highly exposed groups. Proceedings: Current Trends in Health & Safety Risk Assessment of Work-Related Exposure to EMFs. WHO/ICNIRP/EMF-NET Joint Workshop, Milan, Italy, 14-16 February 2007.

³⁰ Hamnerius Y. (2007). Uncertainties in assessment of worker exposure of low frequency electric and magnetic fields. Proceedings: Current Trends in Health & Safety Risk Assessment of Work-Related Exposure to EMFs. WHO/ICNIRP/EMF-NET Joint Workshop, Milan, Italy, 14-16 February 2007.

4.3.2.1. Doel

Het protocol moet zodanig ontworpen zijn dat representatieve meetresultaten opgeleverd worden waaruit besluiten en aanbevelingen kunnen geformuleerd worden die moeten leiden tot de meest veilige lasprocedures met betrekking tot de blootstelling van de lasser aan de elektromagnetische velden die door de lasapparatuur geproduceerd wordt. Dit houdt in dat de meetresultaten vergeleken worden met de actiewaarden van de richtlijn 2004/40/EC. Worden deze waarden niet overschreden dan zijn de resultaten conform met de richtlijn en moeten geen bijkomende acties ondernomen worden. Worden de actiewaarden echter wel overschreden wordt, moet berekend worden of de geïnduceerde stroomdichtheid in het hoofd en de romp de grenswaarde voor blootstelling van 10 A/m^2 (zie Tabel 11) al dan niet overschrijdt. In dit laatste geval gebeurt de meest eenvoudige berekening van de stroomdichtheid volgens:

$$J = \pi R f \sigma B \quad \text{Formule 2}$$

met :

- J = de stroomdichtheid in A/m^2
- $\pi = 3,1416$
- R = straal van de in het lichaam geïnduceerde stroomlus in meter (m)
- f = effectieve werkingsfrequentie van het gebruikte lasprocedé
- σ = gemiddelde geleidbaarheid van biologisch materiaal gelijk aan $0,2 \text{ S/m}$
- B = hoogst gemeten magnetisch inductieveld van tesla (T) ($1 \text{ T} = 10^6 \mu\text{T}$)

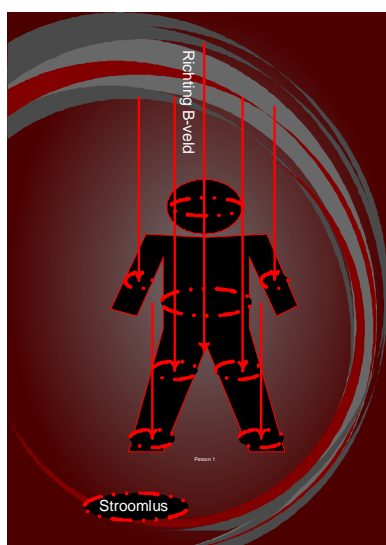
Hierbij wordt uitgegaan van twee 'worst case' rekenscenario's:

- geïnduceerde stroomdichtheid bij verticaal invallend B-veld
- geïnduceerde stroomdichtheid bij horizontaal invallend B-veld

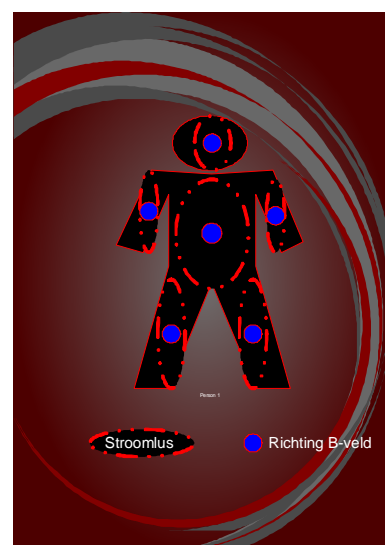
- Rekenscenario 1: stroomdichtheid in hoofd en romp bij verticaal invallend magnetisch inductieveld (B-veld)

Figuur 9 toont schematisch het verloop van het verticaal invallend B-veld. Hierbij wordt veronderstelt dat:

- de grootte van het B-veld alleen door verticale componenten bepaald wordt
- de blootstelling van de lasser slechts volgens een verticale as gebeurt
- het B-veld homogeen verdeeld is en in alle lichaamsdelen



(bron: Decat, 2007)



(bron: Decat, 2007)

Figuur 9: Stroomlussen in het lichaam bij verticaal invallend B-veld

Figuur 10: Stroomlussen in het lichaam bij horizontaal invallend B-veld

- Rekenscenario 2: stroomdichtheid bij horizontaal invallend B-veld

Figuur 10 toont schematisch het verloop van het horizontaal invallend B-veld. Hierbij wordt verondersteld dat:

- de grootte van het B-veld alleen door horizontale component bepaald wordt
- de blootstelling slechts volgens een horizontale as gebeurt
- het B-veld homogeen verdeeld is in alle lichaamsdelen

Noteer dat elke berekening van de geïnduceerde stroomdichtheid een onzekerheid van $\pm 50\%$ [³⁰;³¹] kan inhouden.

4.3.2.2. Soorten metingen

Bij het opstellen van een allesomvattend meetprotocol moet men rekening houden met de soorten meetgegevens die kunnen verzameld worden om de blootstelling zo realistisch mogelijk in te schatten.

Als gevolg van de verbetering en de uitbreiding van de meetapparatuur is het tegenwoordig mogelijk om zowel de plaats- als de persoonsgebonden blootstelling aan het B-veld te meten en/of te registreren.

4.3.2.2.1. Plaats- en persoonsgebonden blootstelling

Met plaatsgebonden blootstelling (ook vaak stationaire blootstelling of exposimetrie genoemd) wordt de blootstelling bedoeld die in de werkplaats heerst en die kan schommelen volgens de spannings- en stroomparameters van de bron(nen) en die afneemt met de afstand tot de bron. De persoonsgebonden blootstelling is de blootstelling die geregistreerd wordt op het lichaam van de werknemer waar die zich ook mag bevinden.

De grootte van beide blootstellingsvormen kunnen vooral naargelang de mobiliteit van de werknemer sterk van elkaar verschillen. Indien de werknemer zich slechts kortstondig in de nabijheid van een hoge blootstellingsbron bevindt en daarbuiten veel in een zone verblijft met een lage veldbelasting zal de persoonsgebonden blootstelling veel kleiner zijn dan de plaatsgebonden. Persoonsgebonden blootstelling lijkt interessant te worden indien de blootstelling geklasseerd wordt volgens inhoud van de job i.p.v. volgens kenmerken van de bron.

4.3.2.3. Laboratorium- en *in situ* metingen

In het allesomvattend meetprotocol moet ook afgewogen worden of laboratoriummetingen die onder gecontroleerde omstandigheden uitgevoerd worden een meerwaarde geeft aan de verklaring van het '*in situ*' resultaat dat in de fabriek bekomen wordt. Meestal moeten *in situ* metingen onder moeilijke omstandigheden uitgevoerd zodat men vaak geen controle heeft over de factoren die de sterkte of de omvang van de blootstelling beïnvloeden. Laboratoriummetingen daarentegen kunnen onder ideale omstandigheden uitgevoerd worden waarbij men de instelling van de testbron zelf bepaalt. Men heeft de elektrische parameters (spanning, stroom) in de hand en kan de golfkarakteristieken (golfvorm, frequentie en harmonischen) van de bron onder gecontroleerde omstandigheden bepalen. De

³¹ CENELEC standard prEn 50444 (2006). Basic standard for the evaluation of human exposure to electromagnetic fields from equipment for arc welding and allied processes. European Standard Draft prEn 50444 (Sept. 2006).

afstand/veldsterkte relatie kan bepaald worden en de meest gunstige en ongunstige blootstellingsvormen kunnen gesimuleerd worden. Variabiliteit, onzekerheid en de reproduceerbaarheid van de resultaten kunnen bepaald worden door middel van een representatief aantal repetitieve metingen en bovendien zijn de meetinstrumenten op punt gesteld om het 'in situ' programma aan te vatten.

4.3.2.4. Laboratoriummetingen voor het testen van de blootstelling van de lasser t.o.v. de actiewaarde van de richtlijn 2004/40/EC

4.3.2.4.1. Karakterisering van golfvorm en harmonischen

Deze metingen beginnen met de selectie en de inspectie van de lasuitrusting en de instelling van de lasparameters. Daarna worden een reeks verkennende metingen uitgevoerd voor het karakteriseren van de golfvorm met de oscilloscoop en het bepalen van de harmonischen. De registratie van de harmonischen gebeurt gelijktijdig met oscilloscoop en spectrumanalyser en het resultaat van beide meters wordt met elkaar vergeleken. Het is van belang dat beide meters dezelfde harmonischen registreren en weergeven. Indien dit het geval niet is wordt de oorzaak hiervan onderzocht en worden de metingen herhaald tot de resultaten met elkaar overeenstemmen.



Figuur 11: meetopstelling (shunt + stroomklemmen)

Figuur 11 geeft een overzicht van de meetopstelling (shunt + stroomklemmen) voor het bepalen van de golfvorm van de stroom die tijdens een lastoepassing gegenereerd wordt.

4.3.2.4.2. Testen van conformiteit met actiewaarde van de richtlijn

Deze meetmethode die hiervoor gebruikt wordt is gebaseerd op de respectievelijke DRAFT CENELEC-normen prEn 50444 [31], prEN50413 [32], prEN50499 [33].

³² CENELEC standard pr EN 50413 (2005), Basic standard on measurement and calculation procedures for human exposure to electric and magnetic and electromagnetic fields (0 Hz – 300 GHz). Final draft pr EN 50413.

De volgende annex A van de prEN 50444 geeft de methode die gevolgd werd om de conformiteitstesten uit te voeren.

prEN 50444:2006	- 26 -
Annex A (normative)	
Assessment parameters	
A.1 Welding equipment	
A.1.1 Output current mode(s)	
The welding power source shall be tested in all basic output current modes, as far as applicable. The basic output current modes are d.c. standard, d.c. pulsed and a.c. mode.	
A.1.2 Output current setting(s)	
The output current amplitude shall be set to the rated maximum welding current I_{max} .	
The worst-case output current wave-shape (highest rate of change of output current, highest a.c.-frequency, starting of the arc, etc.) shall be used, as far as possible in combination with maximum current amplitude with the exception of pulsed MIG / MAG power sources which shall be tested as given below.	
MIG / MAG welding power sources capable of operating in pulsed mode with pre-programmed settings (synergic) shall additionally be evaluated as programmed without user manipulation using the program for	
Table A.1 – Typical parameters for tests with pulsed output current	
Program parameter	Program data
Material to be welded	AlMg5
Wire diameter	1,2 mm
Wire feed speed	6 m min ⁻¹
Shielding gas	Argon
or closest equivalent.	
If the MIG / MAG power source provides no pre-programmed values, a practically applicable setting giving the highest pulse-current amplitude, a maximum difference between pulse and background current and the shortest pulse time shall be used.	
A.1.3 Operation mode of ancillary equipment	
Ancillary equipment shall be tested in the operation mode where the highest emissions are to be expected (e.g. maximum speed for wire feeders). It is not necessary to load such equipment with welding current as the field produced by the welding current is evaluated separately.	
A.1.4 Output current ripple	
The current ripple shall be considered as an a.c. component if the peak to peak value exceeds 10 A. Below that value no relevant field exposure is to be expected.	
NOTE: For a justification and calculation example see Annex E.	

Figuur 12

³³ CENELEC standard prEN 50499 (2006), Determination of workers exposure to electromagnetic fields. European Standard Draft prEN 50499 (October 2006)

A.2 Load

A conventional load as specified in EN 60974-1 shall be used for the evaluation. For evaluation of welding cable emissions it is not necessary to set the load to the value corresponding to conventional load voltages (specified in EN 60974-1), as long as there is no influence on the selected waveform of the welding current. The load shall be connected to the welding power source by two welding cables of appropriate cross-section and a length of 5 m.

NOTE Influence on the welding current waveform could occur when short-circuit protection circuits, special control routines or other functions are implemented in the welding power source under test.

A.3 Evaluation positions and distances

A.3.1 Measurement of emissions from equipment

A.3.1.1 At operator distance

For welding power sources and ancillary equipment, measurements shall be made at a distance of 50 cm from all surfaces of the enclosure. The worst case position shall be determined and included in the assessment report.

NOTE the distance specified above is the minimum recommended operator position during welding.

In the vicinity of the cable outlets or sockets the measurement shall be made at a distance of at least 50 cm from the surface of the welding cables connected, which should be routed in a way to reduce the influence on the measurement.

A.3.1.2 Field gradient at other distances

In addition to A.3.1.1, the magnetic field at distances of 1 and 2 m from the surfaces of the welding power source and ancillary equipment shall be evaluated. Measurements shall be made in a horizontal plane in 4 directions, one perpendicular to the front panel and the others separated by 90° segments, with the origin at the centre of the equipment.

The magnetic field at these points may be of interest for consideration of summation effects, with other field sources or other welding systems in a common environment. Furthermore, these points of investigation shall be the ones to be considered when evaluating welding power sources and ancillary equipment for professional use (i.e. complying with occupational exposure limits) against general public limit values in case of proximity to public areas.

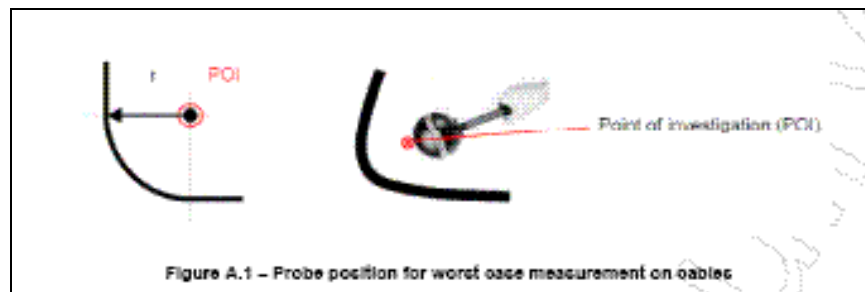
A.3.2 Evaluation of emissions from the welding cables

A.3.2.1 At operator distance

A.3.2.1.1 Measurement

The highest exposure level is usually to be expected at close distance to the welding cable, torch or electrode holder. For measurement the point of investigation for maximum exposure evaluation due to cables should be at the centre of a quarter-circle with a radius $r = 20$ cm, see Figure A.1.

Figuur 13



Figuur 14



Figuur 15: meetopstelling prEN 50444

Figuur 15 geeft een beeld van de meetopstelling die door de CENELEC norm prEN 50444 voor het testen van de conformiteit van het B-veld met de actiewaarde van de richtlijn 2004/40/EC.



Figuur 16

geeft een beeld van een van de lastoestellen van het VCL die voor de conformiteitstesten gebruikt werden.

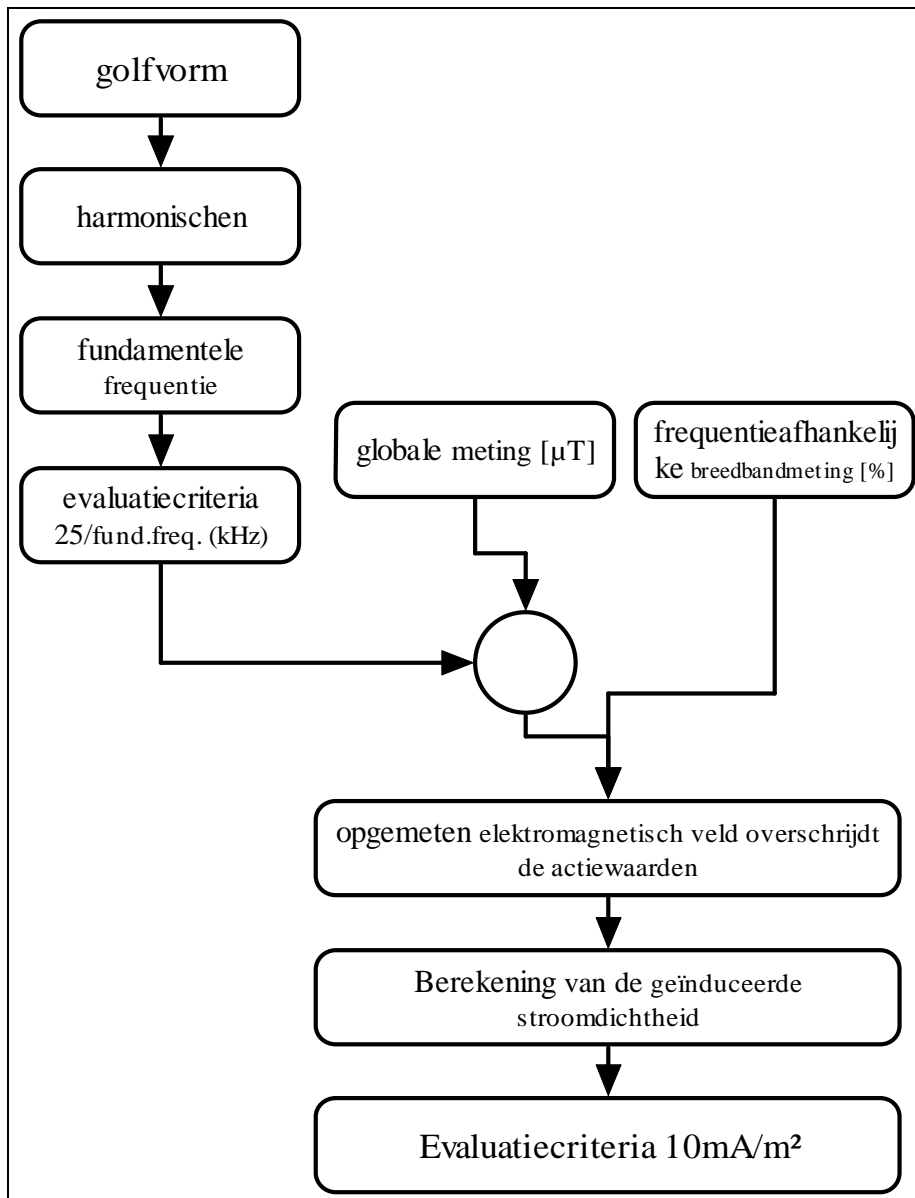
5. WP4: Metingen i.f.v. lasparameters

5.1. Inleiding

Einde 2006 en eerste helft 2007 werden zeer veel preliminaire proeven uitgevoerd om de meetmethode en meetprocedure op punt te stellen. Al deze preliminaire proeven hebben geleid tot de volgende meetvolgorde:

- Eerst en vooral werd de golfvorm van de stroom bepaald door middel van een FLUKE-scope.
- Op basis van de golfvorm kunnen de harmonischen bepaald worden.
- Uit deze Harmonischen kan de fundamentele frequentie bepaald worden. De fundamentele frequentie is die harmonische die het sterkst naar voor komt (100%). De fundamentele frequentie is zeer belangrijk aangezien de toelaatbare waarde van een elektromagnetisch veld frequentieafhankelijk is. De toelaatbare waarde (actiewaarde) is namelijk gelijk aan 25 gedeeld door de fundamentele frequentie in "kHz".
- Opmerking: In sommige gevallen (bijvoorbeeld: halfautomatisch sproeihooglassen) was het niet mogelijk om een duidelijke golfvorm en bijgevolg ook niet de harmonischen te bepalen. De evaluatie (overschrijding van de norm of niet) wordt in die gevallen gebaseerd op de breedbandmeting met de ELT-probe.
- Na de golfvorm en de bijbehorende harmonischen wordt het elektromagnetisch veld en de lasparameters opgemeten.
- Het elektromagnetisch veld werd steeds op twee manieren gemeten.
- De eerste manier is een globale meting (μT). Deze globale meting wordt geëvalueerd ten opzichte van de actiewaarden. De actiewaarde is gelijk aan 25 gedeeld door de fundamentele frequentie in kHz. Als de golfvorm niet bepaald kon worden en bijgevolg ook niet de fundamentele harmonische, dan is deze methode niet bruikbaar voor evaluatie.
- Een tweede manier om het elektromagnetisch veld te meten is een breedbandmeting met een ELT-probe. Deze meting is gebaseerd op de sommatiemethode. Dit wil zeggen dat er tijdens de meting onmiddellijk rekening gehouden wordt met de verschillende opgemeten frequentieafhankelijke elektromagnetische velden. Deze meting geeft een percentage ten opzichte van de toelaatbare waarden.
- Indien uit één van de beide evaluatiemanieren blijkt dat de toelaatbare waarden overschrijden zijn, moet de geïnduceerde stroomdichtheid berekend worden. Tijdens dit project werden de geïnduceerde stromen berekend aan de hand van de eenvoudige berekeningmethode. De geïnduceerde stroom is afhankelijk van de grootte van de stroomlus die in het lichaam gevormd kan worden. De grootte van de stroomlus is afhankelijk van de invalshoek van het elektromagnetisch veld en van de grootte van de lasser of lasoperator. De geïnduceerde stroomdichtheid mag niet groter zijn dan $10\text{mA}/\text{m}^2$.
- De lasparameters bij hooglassen werden door middel van twee gecalibreerde toestellen (ALX en HKS) opgemeten. De lasparameters bij weerstandlassen werden door middel van één gecalibreerd toestel (DEWETRON) opgemeten. Het opmeten van de lasparameters is noodzakelijk om een goede referentie te hebben naar de parameters in de praktijk.

Figuur 17 geeft schematisch de meet- en evaluatievolgorde weer.



Figuur 17: meet- en evaluatieschema

5.2. Meting van de lasparameters

5.2.1. Inleiding

Het doel van dit project is om elektromagnetische velden bij het boog- en weerstandlassen op te meten en te evalueren in het kader van de nieuwe richtlijn.

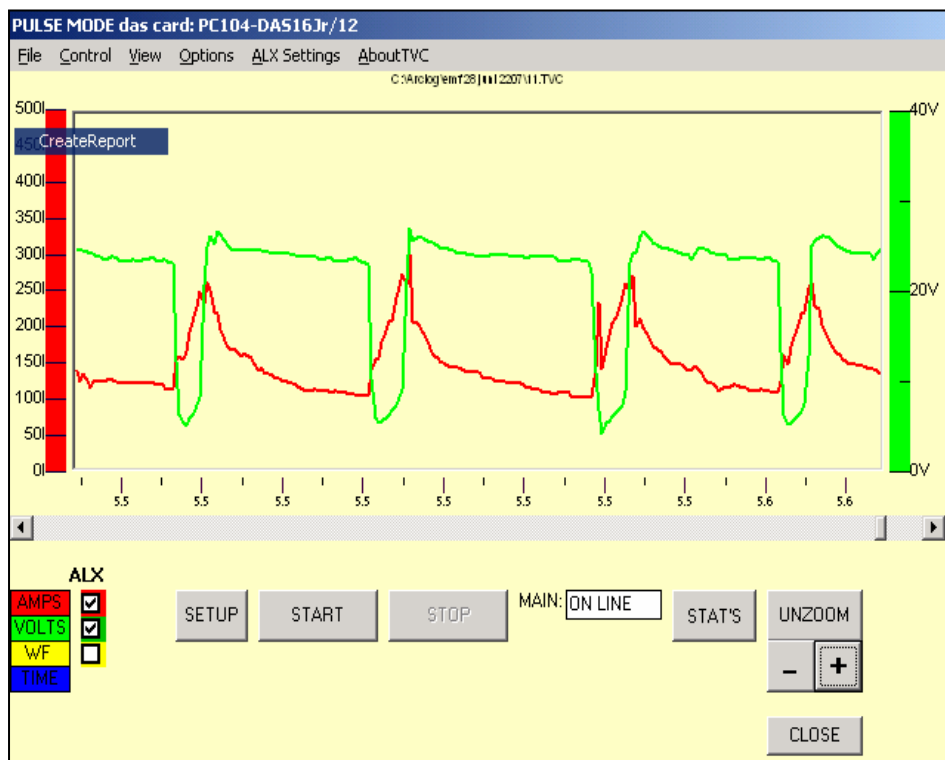
Om dit doel te bereiken is het correct registreren van lasparameters noodzakelijk. Dit om een terugkoppeling te verwezenlijken naar de praktijk. Op basis van de uitgevoerde enquête (zie WP1 in paragraaf 2) werden de te onderzoeken lasprocessen en hun praktijk-lasparameters bepaald. Deze lasparameters werden consequent ingesteld tijdens het uitvoeren van de definitieve proeven.

Parallel met het opmeten van de elektromagnetische velden werd dus steeds ook de lasparameters opgemeten. Onderstaande paragrafen geven de lasparameters weer bij de verschillende lasprocessen en verschillende instellingen.

5.2.1.1. Halfautomatisch lassen (proces 135)

5.2.1.1.1. Kortsluitbooglassen

5.2.1.1.1.1. Kemppe pro 4200

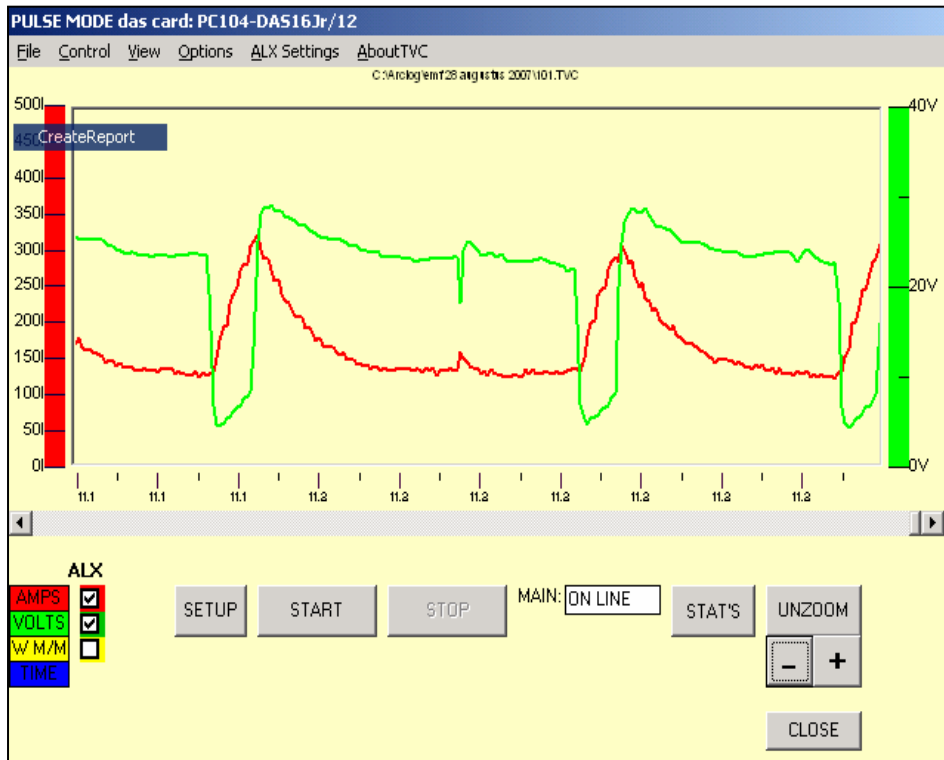


Figuur 18: Stroom-spanningsverloop Kemppe pro 4200 kortsluitbooglassen

<i>ArcTime</i>	<i>AmpFreq.</i>	<i>AmpPKWidth.</i>	<i>AmpBWidth</i>	<i>AmpPeak</i>	<i>AmpPeakAvg</i>	<i>AmpBG</i>
5,801	67	5,6	9,3	387	360,2	17
<i>AmpBGAvg</i>	<i>AmpAvg</i>	<i>InstEnergy</i>	<i>VoltFreq</i>	<i>VoltPKWidth.</i>	<i>VoltBWidth</i>	
74	157	19	66	12,5	2,8	
<i>VoltPeak</i>	<i>VoltPeakAvg</i>	<i>VoltBG</i>	<i>VoltBGAvg</i>	<i>VoltAvg</i>	<i>WireSpeed</i>	
34	31,7	3,6	4,3	21,2	N/A	

Tabel 22: Lasparameters Kemppi pro 4200 kortsluitbooglassen

5.2.1.1.1.2. ESAB LUD 450W



Figuur 19: Stroom-spanningsverloop ESAB LUD 450W kortsluitbooglassen

<i>ArcTime</i>	<i>AmpFreq.</i>	<i>AmpPKWidth.</i>	<i>AmpBWidth</i>	<i>AmpPeak</i>	<i>AmpPeakAvg</i>	<i>AmpBG</i>
11,211	50	7,4	12,7	384	355,1	90
<i>AmpBGAvg</i>	<i>AmpAvg</i>	<i>InstEnergy</i>	<i>VoltFreq</i>	<i>VoltPKWidth.</i>	<i>VoltBWidth</i>	
115,8	178	44	58	14,2	2,9	
<i>VoltPeak</i>	<i>VoltPeakAvg</i>	<i>VoltBG</i>	<i>VoltBGAvg</i>	<i>VoltAvg</i>	<i>WireSpeed</i>	
33	30,2	4	4,2	21,9	N/A	

Tabel 23: Lasparameters ESAB LUD 450W kortsluitbooglassen

5.2.1.1.2. Sproeibooglassen

5.2.1.1.2.1. Kemppi pro 4200

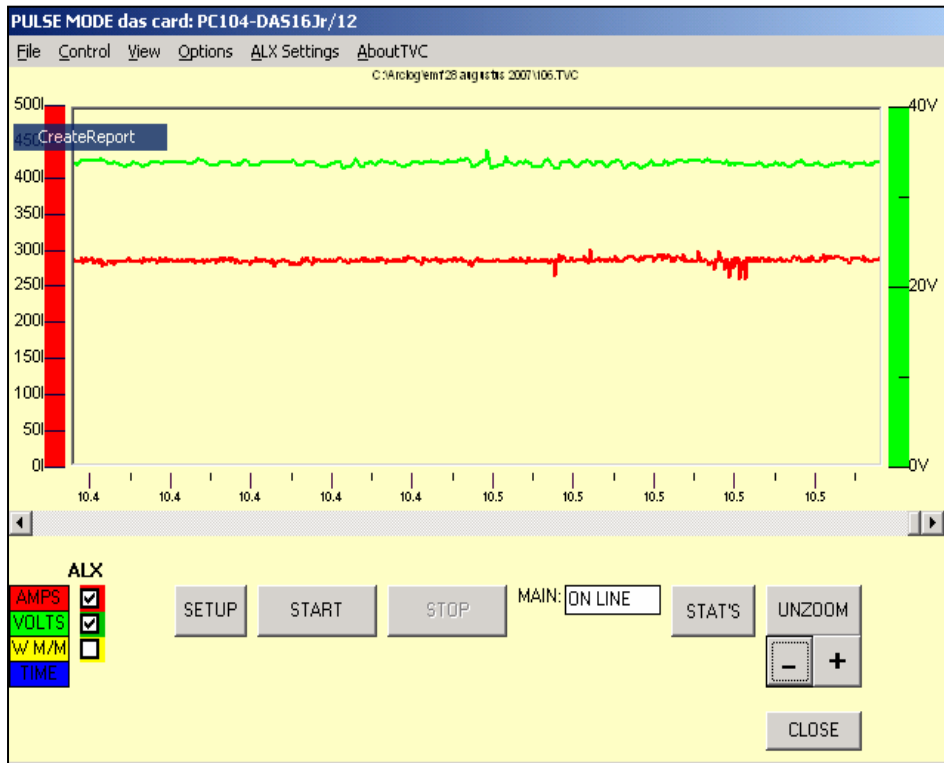


Figuur 20: stroom-spanningsverloop Kemppi pro 4200 sproeibooglassen

<i>ArcTime</i>	<i>AmpFreq.</i>	<i>AmpPKWidth.</i>	<i>AmpBWidth</i>	<i>AmpPeak</i>	<i>AmpPeakAvg</i>	<i>AmpBG</i>
7,507	146	2,5	4,3	483	288,9	3
<i>AmpBGAvg</i>	<i>AmpAvg</i>	<i>InstEnergy</i>	<i>VoltFreq</i>	<i>VoltPKWidth.</i>	<i>VoltBWidth</i>	
162,5	202	50	201	2,7	2,2	
<i>VoltPeak</i>	<i>VoltPeakAvg</i>	<i>VoltBG</i>	<i>VoltBGAvg</i>	<i>VoltAvg</i>	<i>WireSpeed</i>	
74,2	39,7	8,4	27	33,1	N/A	

Tabel 24: lasparameters Kemppi pro 4200 sproeibooglassen

5.2.1.1.2.2. ESAB LUD 450W



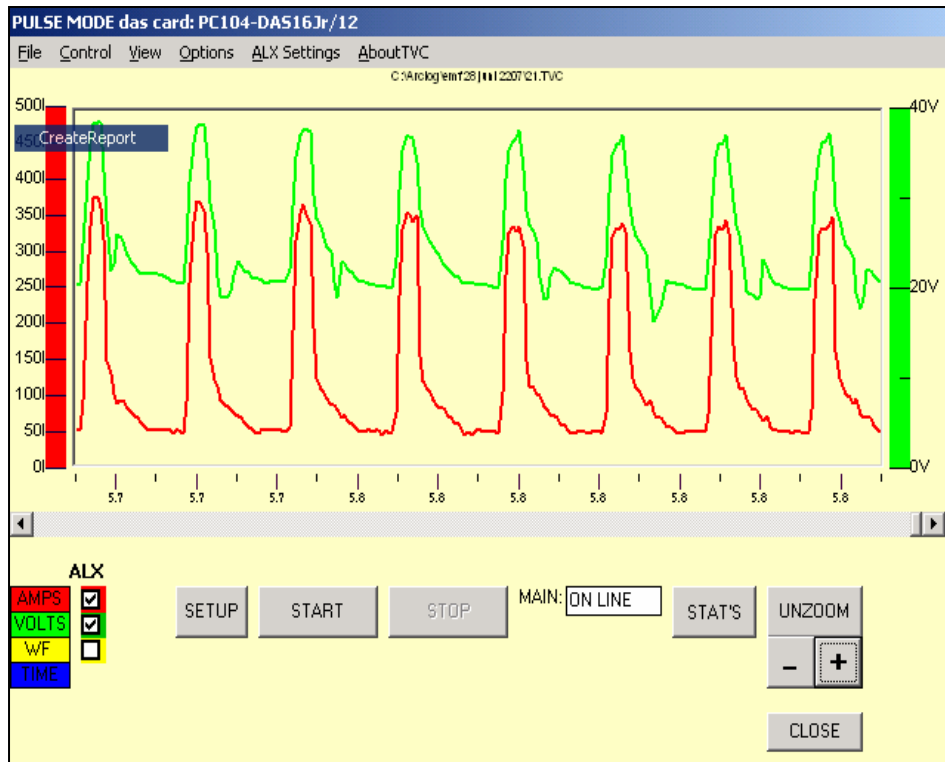
Figuur 21: stroom-spanningsverloop ESAB LUD 450W sproeibooglassen

<i>ArcTime</i>	<i>AmpFreq.</i>	<i>AmpPKWidth.</i>	<i>AmpBWidth</i>	<i>AmpPeak</i>	<i>AmpPeakAvg</i>	<i>AmpBG</i>
10,528	202	3	1,9	301	286,8	222
<i>AmpBGAvg</i>	<i>AmpAvg</i>	<i>InstEnergy</i>	<i>VoltFreq</i>	<i>VoltPKWidth.</i>	<i>VoltBWidth</i>	
242,9	270	97	185	2,9	2,5	
<i>VoltPeak</i>	<i>VoltPeakAvg</i>	<i>VoltBG</i>	<i>VoltBGAvg</i>	<i>VoltAvg</i>	<i>WireSpeed</i>	
38,9	36	24,6	31,7	34	N/A	

Tabel 25: lasparameters ESAB LUD 450W sproeibooglassen

5.2.1.1.3. Gepulseerd lassen (lage stroomparameters)

5.2.1.1.3.1. Kemppi pro 4200



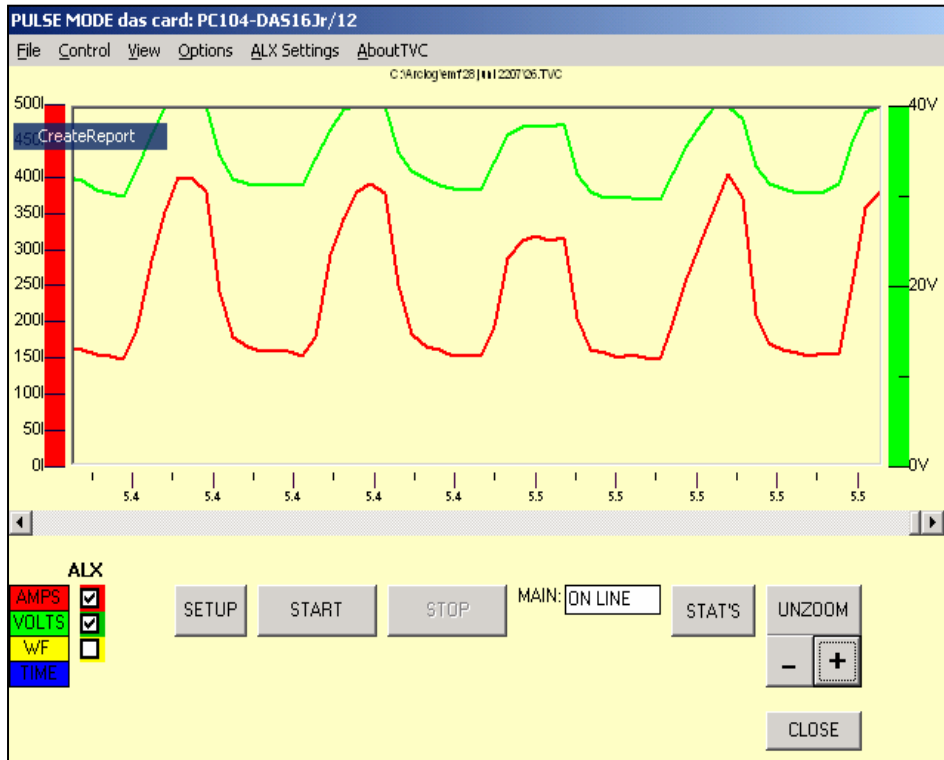
Figuur 22: stroom-spanningsverloop Kemppi pro 4200 gepulseerd lage stroomparameters

<i>ArcTime</i>	<i>AmpFreq.</i>	<i>AmpPKWidth.</i>	<i>AmpBWidth</i>	<i>AmpPeak</i>	<i>AmpPeakAvg</i>	<i>AmpBG</i>
5,801	100	2,6	7,4	398	382	38
<i>AmpBGAvg</i>	<i>AmpAvg</i>	<i>InstEnergy</i>	<i>VoltFreq</i>	<i>VoltPKWidth.</i>	<i>VoltBWidth</i>	
44,5	123	18	126	2,8	5,1	
<i>VoltPeak</i>	<i>VoltPeakAvg</i>	<i>VoltBG</i>	<i>VoltBGAvg</i>	<i>VoltAvg</i>	<i>WireSpeed</i>	
41,5	38,3	16,2	17,8	24,9	N/A	

Tabel 26: lasparameters Kemppi pro 4200 gepulseerd lage stroomparameters

5.2.1.1.4. Gepulseerd lassen (hoge stroomparameters)

5.2.1.1.4.1. Kemppi pro 4200



Figuur 23: stroom-spanningsverloop Kemppi pro 4200 gepulseerd hoge stroomparameters

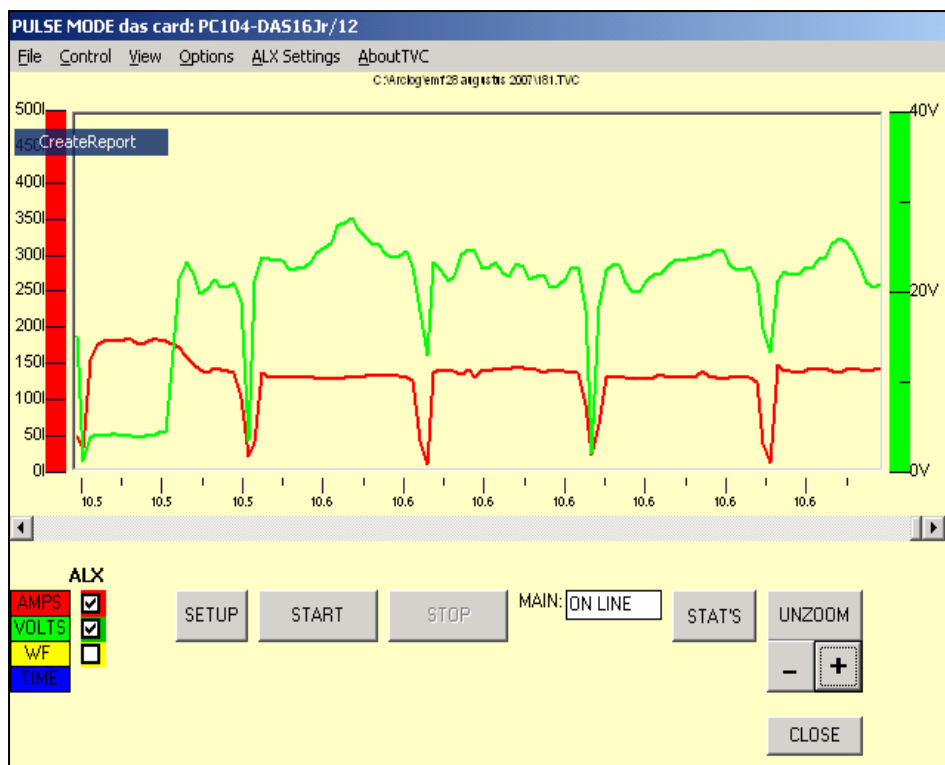
<i>ArcTime</i>	<i>AmpFreq.</i>	<i>AmpPKWidth.</i>	<i>AmpBWidth</i>	<i>AmpPeak</i>	<i>AmpPeakAvg</i>	<i>AmpBG</i>
5,46	235	1,9	2,4	431	408,9	134
<i>AmpBGAvg</i>	<i>AmpAvg</i>	<i>InstEnergy</i>	<i>VoltFreq</i>	<i>VoltPKWidth.</i>	<i>VoltBWidth</i>	
142,1	242	45	235	1,9	2,3	
<i>VoltPeak</i>	<i>VoltPeakAvg</i>	<i>VoltBG</i>	<i>VoltBGAvg</i>	<i>VoltAvg</i>	<i>WireSpeed</i>	
44,2	42,6	26,4	29,2	34,1	N/A	

Tabel 27: lasparameters Kemppi pro 4200 gepulseerd hoge stroomparameters

5.2.1.2. Lassen met beklede elektrode (proces 111)

5.2.1.2.1. Wisselstroom

5.2.1.2.1.1. Fronius magic wave 2600

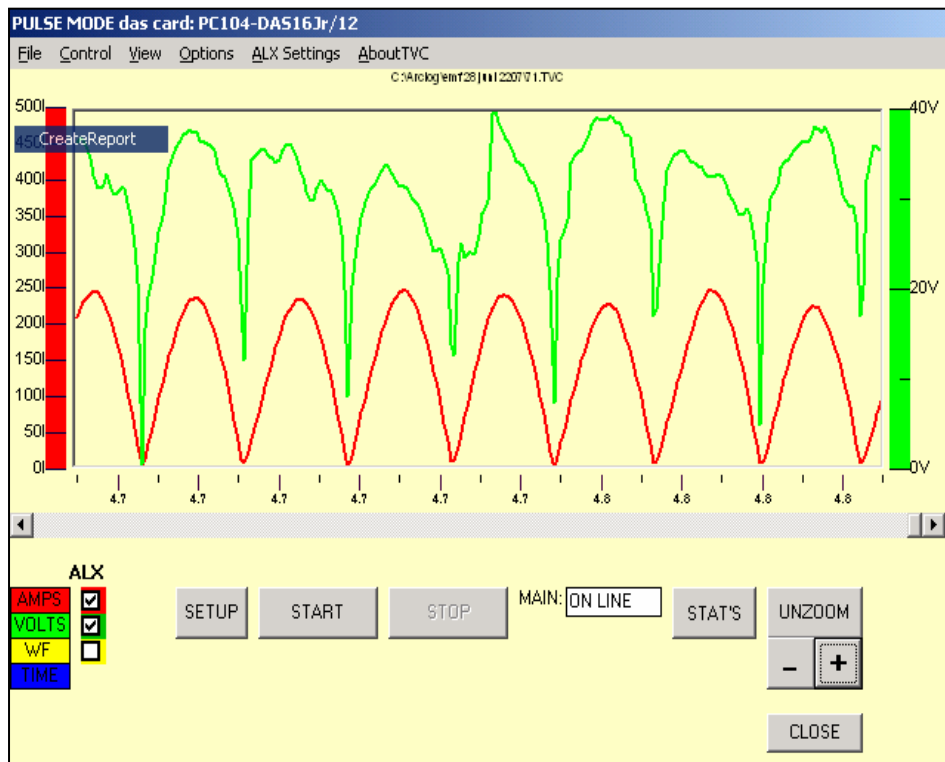


Figur 24: stroom-spanningsverloop Fronius magic wave 2600 wisselstroom

<i>ArcTime</i>	<i>AmpFreq.</i>	<i>AmpPKWidth.</i>	<i>AmpBWidth</i>	<i>AmpPeak</i>	<i>AmpPeakAvg</i>	<i>AmpBG</i>
10,578	141	6,2	0,9	187	174,7	0
<i>AmpBGAvg</i>	<i>AmpAvg</i>	<i>InstEnergy</i>	<i>VoltFreq</i>	<i>VoltPKWidth.</i>	<i>VoltBWidth</i>	
2,1	127	33	147	4,6	2,2	
<i>VoltPeak</i>	<i>VoltPeakAvg</i>	<i>VoltBG</i>	<i>VoltBGAvg</i>	<i>VoltAvg</i>	<i>WireSpeed</i>	
39,7	34,6	0	0,9	24,5	N/A	

Tabel 28: lasparameters Fronius magic wave 2600 wisselstroom

5.2.1.2.1.2. Morelisse weldboy E401



Figuur 25: stroom-spanningsverloop Morelisse weldboy E401 wisselstroom

<i>ArcTime</i>	<i>AmpFreq.</i>	<i>AmpPKWidth.</i>	<i>AmpBWidth</i>	<i>AmpPeak</i>	<i>AmpPeakAvg</i>	<i>AmpBG</i>
4,777	100	5,4	4,6	342	272	0
<i>AmpBGAvg</i>	<i>AmpAvg</i>	<i>InstEnergy</i>	<i>VoltFreq</i>	<i>VoltPKWidth.</i>	<i>VoltBWidth</i>	
0,6	146	20	121	5,2	3	
<i>VoltPeak</i>	<i>VoltPeakAvg</i>	<i>VoltBG</i>	<i>VoltBGAvg</i>	<i>VoltAvg</i>	<i>WireSpeed</i>	
45,6	39,5	0	2,5	29,1	N/A	

Tabel 29: lasparameters Morelisse weldboy E401 wisselstroom

5.2.1.3. TIG-lassen (proces 141)

5.2.1.3.1. Gelijkstroom

5.2.1.3.1.1. Fronius magic wave 2600



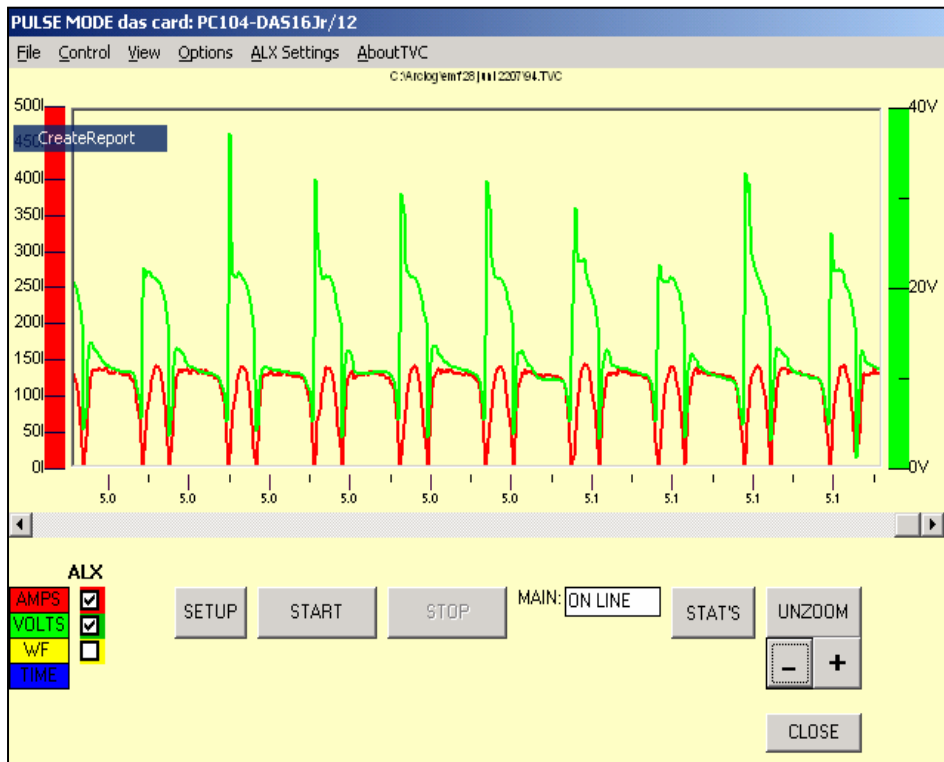
Figuur 26: stroom-spanningsverloop Fronius magic wave 2600 gelijkstroom

<i>ArcTime</i>	<i>AmpFreq.</i>	<i>AmpPKWidth.</i>	<i>AmpBWidth</i>	<i>AmpPeak</i>	<i>AmpPeakAvg</i>	<i>AmpBG</i>
4,777	289	1,9	1,6	122	120	106
<i>AmpBGAvg</i>	<i>AmpAvg</i>	<i>InstEnergy</i>	<i>VoltFreq</i>	<i>VoltPKWidth.</i>	<i>VoltBWidth</i>	
107,8	113	6	112	6,9	2	
<i>VoltPeak</i>	<i>VoltPeakAvg</i>	<i>VoltBG</i>	<i>VoltBGAvg</i>	<i>VoltAvg</i>	<i>WireSpeed</i>	
12,5	11,8	9,2	10,8	11,2	N/A	

Tabel 30: lasparameters Fronius magic wave 2600 gelijkstroom

5.2.1.3.2. Wisselstroom

5.2.1.3.2.1. Fronius magic wave 2600



Figuur 27: stroom-spanningsverloop Fronius magic wave 2600 gelijkstroom

<i>ArcTime</i>	<i>AmpFreq.</i>	<i>AmpPKWidth.</i>	<i>AmpBWidth</i>	<i>AmpPeak</i>	<i>AmpPeakAvg</i>	<i>AmpBG</i>
5,118	116	6	2,6	154	148,4	0
<i>AmpBGAvg</i>	<i>AmpAvg</i>	<i>InstEnergy</i>	<i>VoltFreq</i>	<i>VoltPKWidth.</i>	<i>VoltBWidth</i>	
0,8	106	8	64	4,9	10,7	
<i>VoltPeak</i>	<i>VoltPeakAvg</i>	<i>VoltBG</i>	<i>VoltBGAvg</i>	<i>VoltAvg</i>	<i>WireSpeed</i>	
100	83,9	0	0,3	15,3	N/A	

Tabel 31: lasparameters Fronius magic wave 2600 gelijkstroom

5.2.1.3.3. Gepulseerde stroom

5.2.1.3.3.1. Fronius magic wave 2600 (100Hz pulsrequentie)

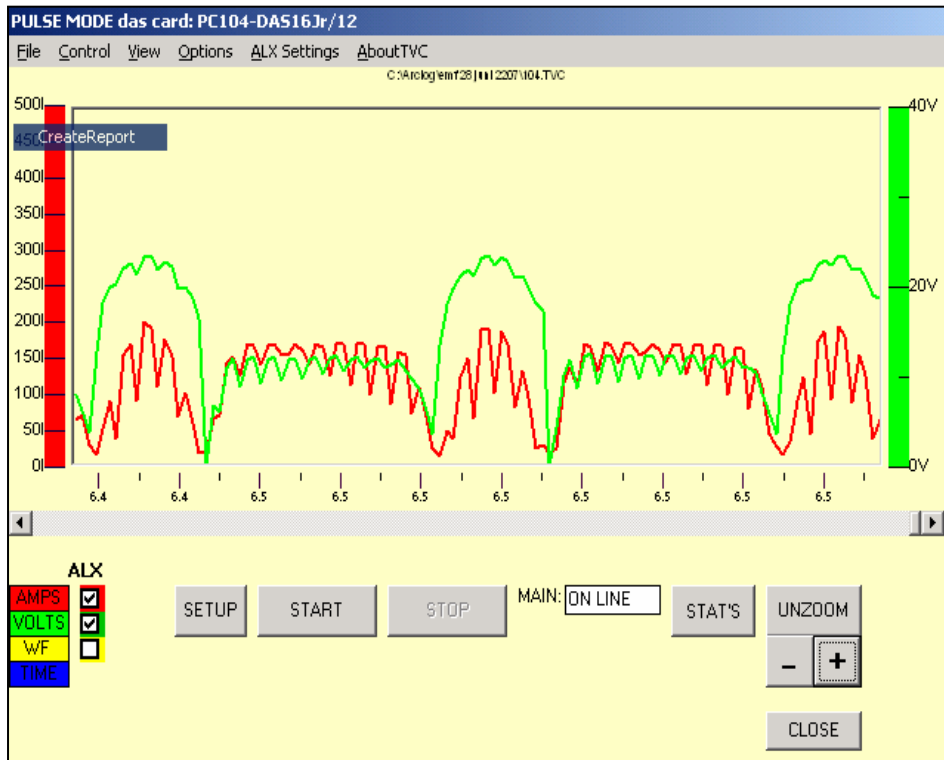


Figuur 28: stroom-spanningsverloop Fronius magic wave 2600 gepulseerd 100Hz

<i>ArcTime</i>	<i>AmpFreq.</i>	<i>AmpPKWidth.</i>	<i>AmpBWidth</i>	<i>AmpPeak</i>	<i>AmpPeakAvg</i>	<i>AmpBG</i>
6,142	167	3,8	2,2	213	201,2	0
<i>AmpBGAvg</i>	<i>AmpAvg</i>	<i>InstEnergy</i>	<i>VoltFreq</i>	<i>VoltPKWidth.</i>	<i>VoltBWidth</i>	
6	122	9	84	4,4	7,6	
<i>VoltPeak</i>	<i>VoltPeakAvg</i>	<i>VoltBG</i>	<i>VoltBGAvg</i>	<i>VoltAvg</i>	<i>WireSpeed</i>	
23,5	23,3	0	0,2	12,5	N/A	

Tabel 32: Lasparameters Fronius magic wave 2600 gepulseerd 100Hz

5.2.1.3.3.2. Fronius magic wave 2600 (1000Hz pulsfrequentie)



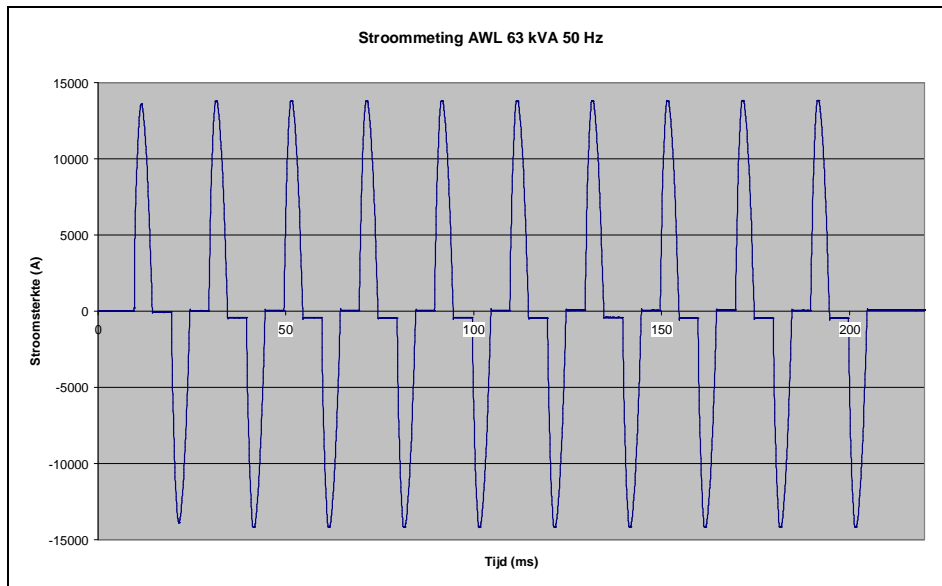
Figuur 29: stroom-spanningsverloop Fronius magic wave 2600 gepulseerd 1000Hz

<i>ArcTime</i>	<i>AmpFreq.</i>	<i>AmpPKWidth.</i>	<i>AmpBWidth</i>	<i>AmpPeak</i>	<i>AmpPeakAvg</i>	<i>AmpBG</i>
6,483	324	2,2	0,9	215	203,5	0
<i>AmpBGAvg</i>	<i>AmpAvg</i>	<i>InstEnergy</i>	<i>VoltFreq</i>	<i>VoltPKWidth.</i>	<i>VoltBWidth</i>	
7,4	125	11	60	5	11,6	
<i>VoltPeak</i>	<i>VoltPeakAvg</i>	<i>VoltBG</i>	<i>VoltBGAvg</i>	<i>VoltAvg</i>	<i>WireSpeed</i>	
23,8	23,7	0	0,2	13,1	N/A	

Tabel 33: Lasparameters Fronius magic wave 2600 gepulseerd 1000Hz

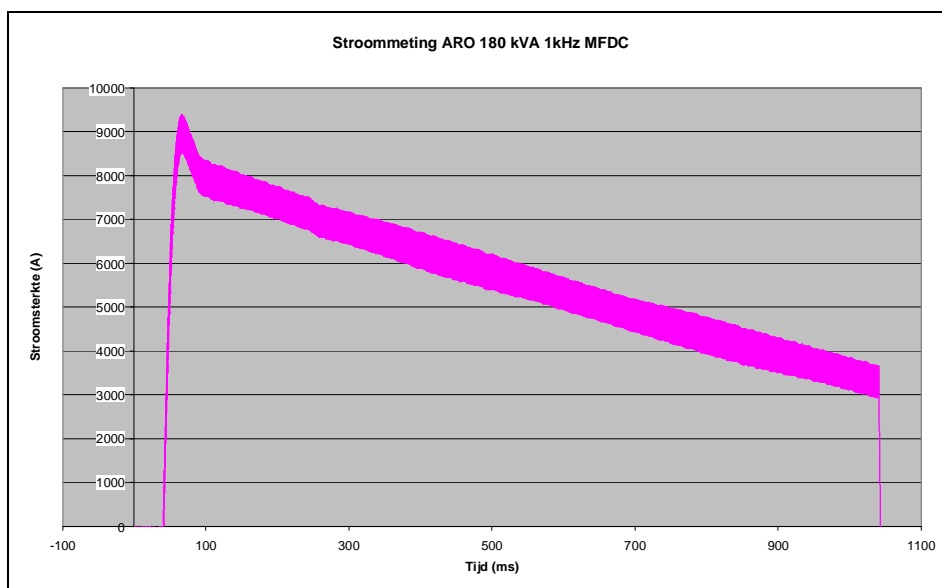
5.2.2. Gemeten parameters bij weerstandlassen

5.2.2.1. AWL 65 kVA 50Hz weerstandlasmachine



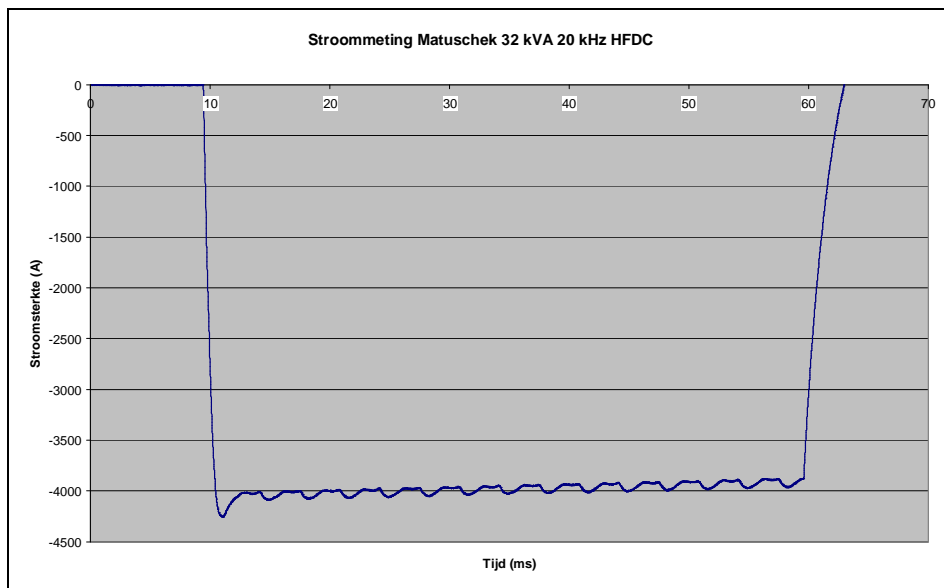
Figuur 30: Stroomverloop AWL 65 kVA 50Hz (ingeschakeld vermogen 45%)

5.2.2.2. ARO 180 kVA MFDC 1000Hz weerstandlasmachine



Figuur 31: Stroomverloop ARO 180 kVA MFDC 1000 Hz (ingestelde stroom 8kA)

5.2.2.3. Matuschek 32 kVA HFDC 20 kHz weerstandlasmachine



Figuur 32: Stroomverloop Matuschek 32 kVA HFDC 20 kHz (ingestelde stroom 4 kA)

5.3. Meting van golfvorm en harmonischen

5.3.1. Meting van golfvorm en harmonischen bij booglassen

5.3.1.1. Inleiding

Zoals reeds in het meetprotocol besproken (zie Paragraaf 5.1) wordt de golfvorm van de stroom bepaald door middel van een FLUKE-scope. Op basis van de golfvorm kunnen de harmonischen bepaald worden. Uit deze Harmonischen kan de fundamentele frequentie bepaald worden. De fundamentele frequentie is die harmonische die het sterkst naar voor komt (100%). De fundamentele frequentie is zeer belangrijk aangezien de toelaatbare waarde van een elektromagnetisch veld frequentieafhankelijk is. De toelaatbare waarde (actiewaarde) is namelijk gelijk aan 25 gedeeld door de fundamentele frequentie in "kHz".

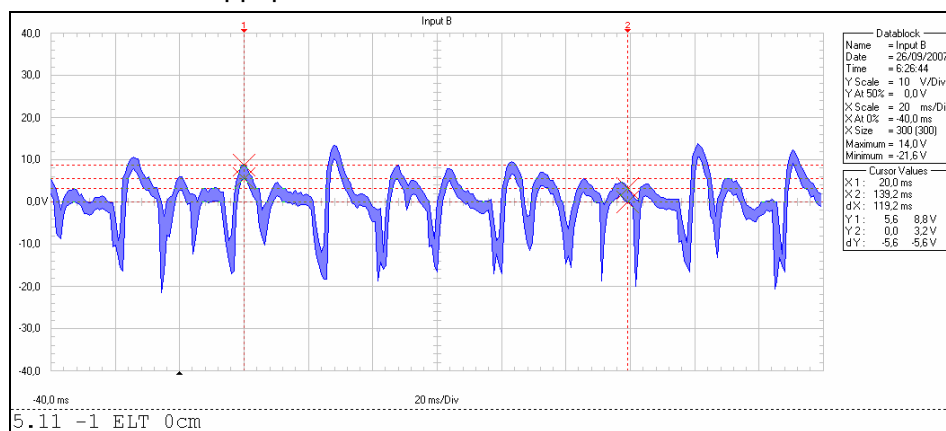
Onderstaande paragrafen geven de golfvormen en harmonischen (dus ook fundamentele frequentie) weer voor de verschillende lasprocessen die gebruikt werden tijdens de proeven.

In sommige gevallen kon geen stabiele golfvorm opgenomen worden. In die gevallen kan natuurlijk ook geen fundamentele frequentie bepaald worden.

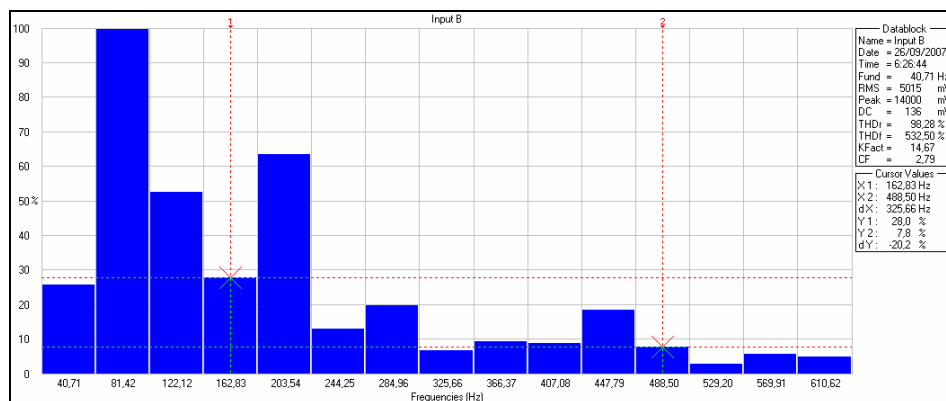
5.3.1.2. Halfautomatisch lassen

5.3.1.2.1. Kortsluitbooglassen

5.3.1.2.1.1. Kempfi pro 4200



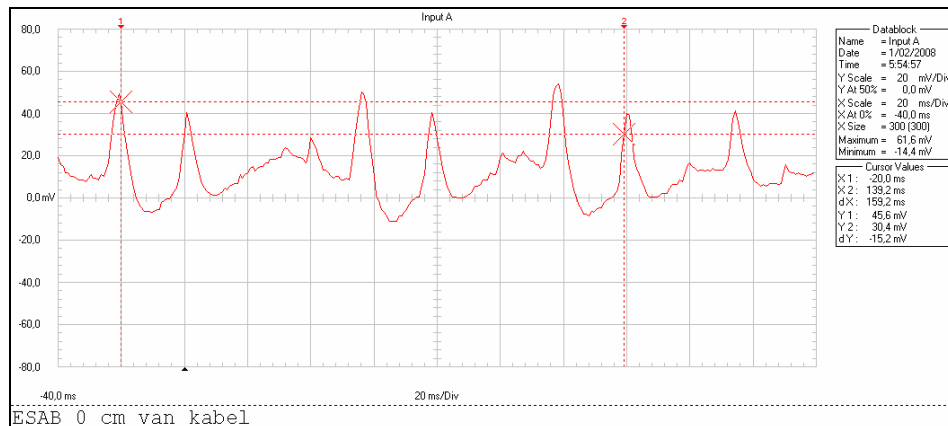
Figuur 33: Golfvorm Kempfi pro 4200 kortsluitbooglassen



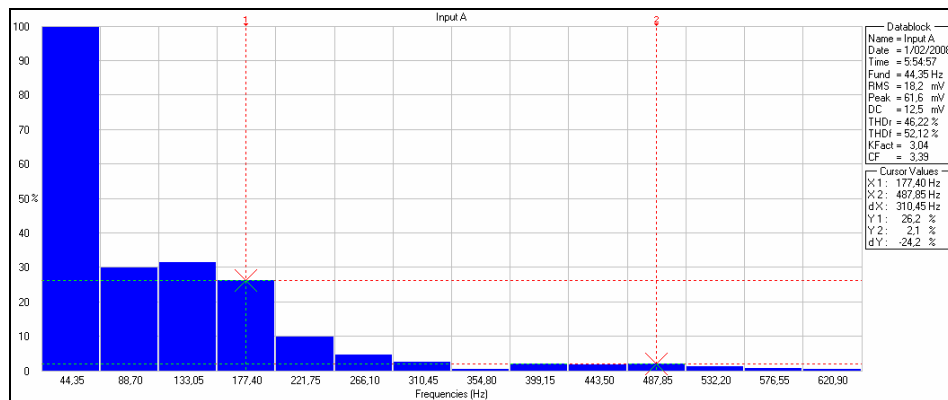
Figuur 34: Harmonischen Kempfi pro 4200 kortsluitbooglassen

Uit Figuur 34 blijkt dat de fundamentele frequentie 81,42 Hz is.

5.3.1.2.1.2. ESAB LUD 450W



Figuur 35: Golfvorm ESAB LUD 450W kortsluitbooglassen



Figuur 36: Harmonischen ESAB LUD 450W kortsluitbooglassen

Uit Figuur 36 blijkt dat de fundamentele frequentie 44,35 Hz is.

5.3.1.2.2. *Sproeibooglassen*

5.3.1.2.2.1. Kemppe pro 4200

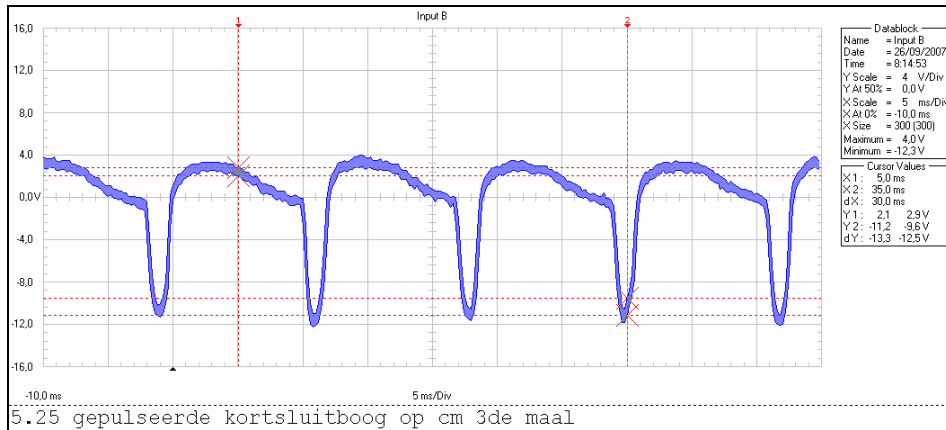
Het was onmogelijk om een stabiele golfvorm te bekomen. Bijgevolg kon de fundamentele frequentie ook niet bepaald worden uit de harmonischen.

5.3.1.2.2.2. ESAB LUD 450W

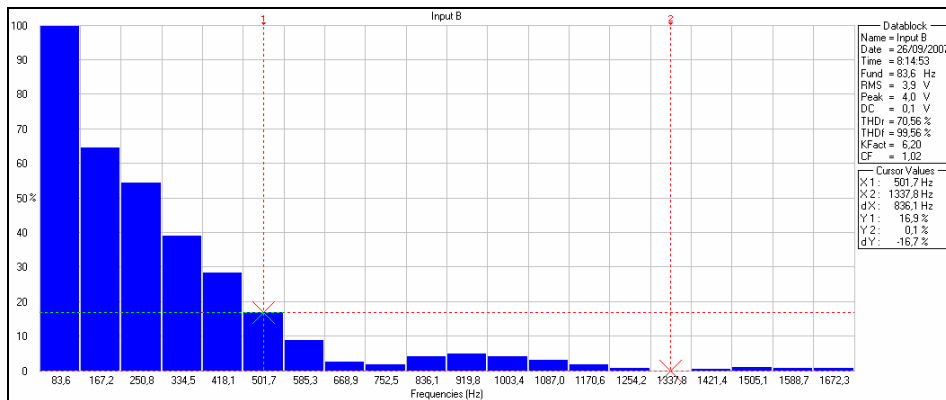
Het was onmogelijk om een stabiele golfvorm te bekomen. Bijgevolg kon de fundamentele frequentie ook niet bepaald worden uit de harmonischen.

5.3.1.2.3. *Gepulseerd lassen (lage stroomparameters)*

5.3.1.2.3.1. Kemppe pro 4200



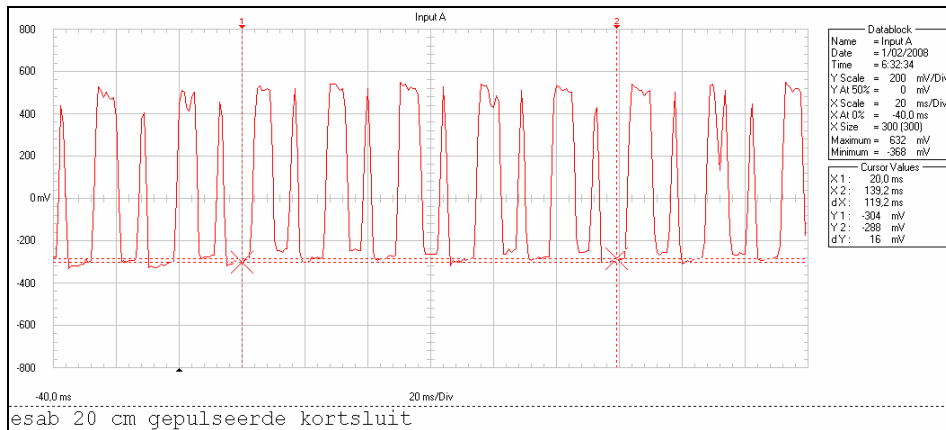
Figuur 37: Golfvorm Kemppi pro 4200 gepulseerd lage stroomparameters



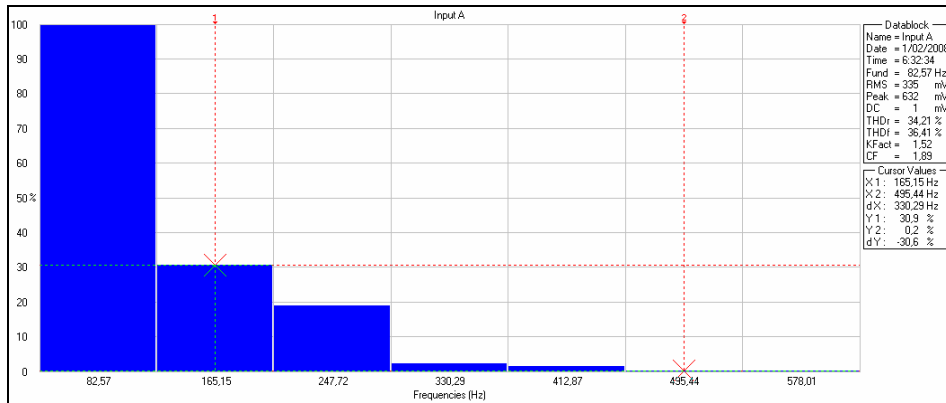
Figuur 38: Harmonischen Kemppi pro 4200 gepulseerd lage stroomparameters

Uit Figuur 38 blijkt dat de fundamentele frequentie 83,6 is.

5.3.1.2.3.2. ESAB LUD 450W



Figuur 39: Golfvorm ESAB LUD 450W gepulseerd lage stroomparameters

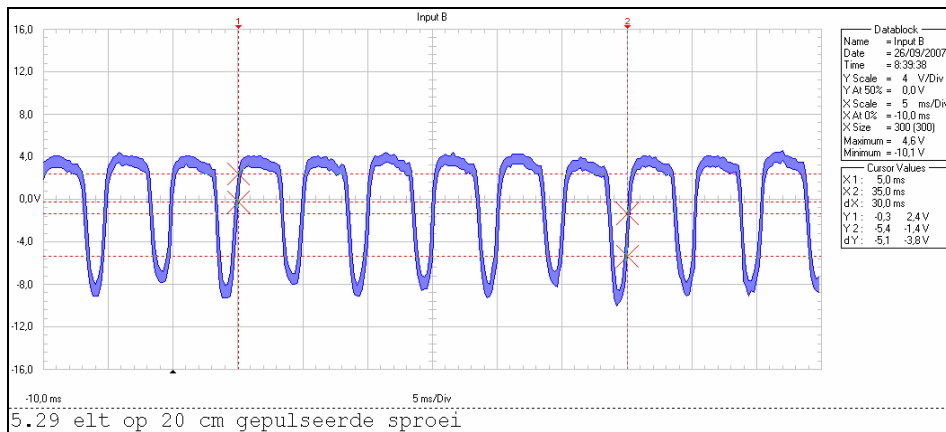


Figuur 40: Harmonischen ESAB LUD 450W gepulseerd lage stroomparameters

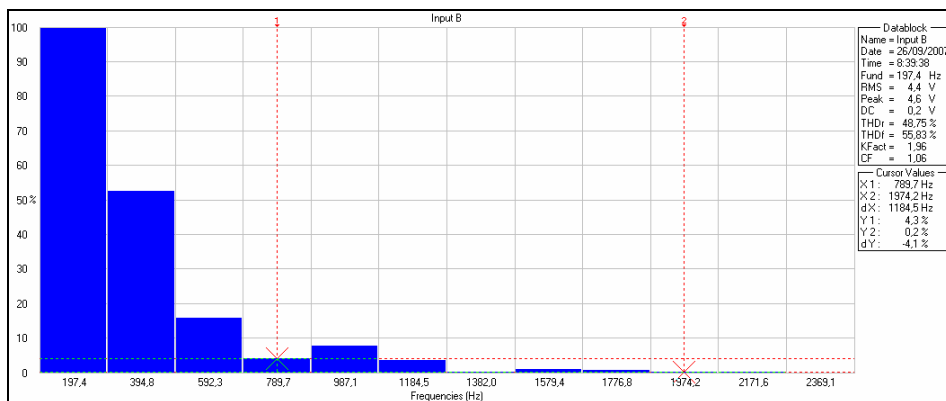
Uit Figuur 40 blijkt dat de fundamentele frequentie 82,57 Hz is.

5.3.1.2.4. Gepulseerd lassen (hoge stroomparameters)

5.3.1.2.4.1. Kemppi pro 4200



Figuur 41: Golfvorm Kemppi pro 4200 gepulseerd hoge stroomparameters



Figuur 42: Harmonischen Kemppi pro 4200 gepulseerd hoge stroomparameters

Uit Figuur 42 blijkt dat de fundamentele frequentie 197,4 is.

5.3.1.2.4.2. ESAB LUD 450W

Het was onmogelijk om een stabiele golfvorm te bekomen. Bijgevolg kon de fundamentele frequentie ook niet bepaald worden uit de harmonischen.

5.3.1.3. Lassen met beklede elektrode

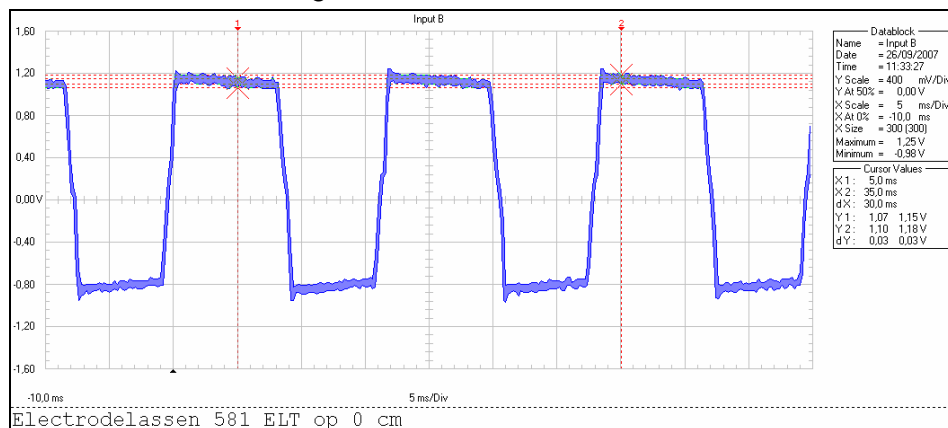
5.3.1.3.1. *Gelijkstroom*

5.3.1.3.1.1. ESAB DTA 200

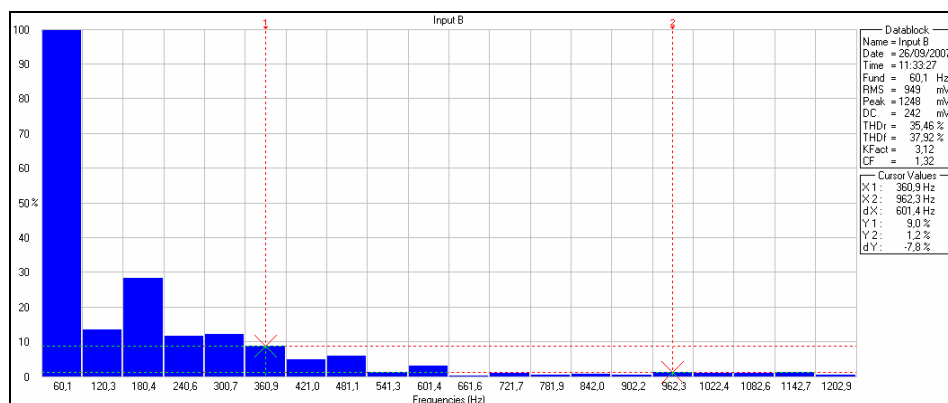
Het was onmogelijk om een stabiele golfvorm te bekomen. Bijgevolg kon de fundamentele frequentie ook niet bepaald worden uit de harmonischen.

5.3.1.3.2. *Wisselstroom*

5.3.1.3.2.1. Fronius magic wave 2600



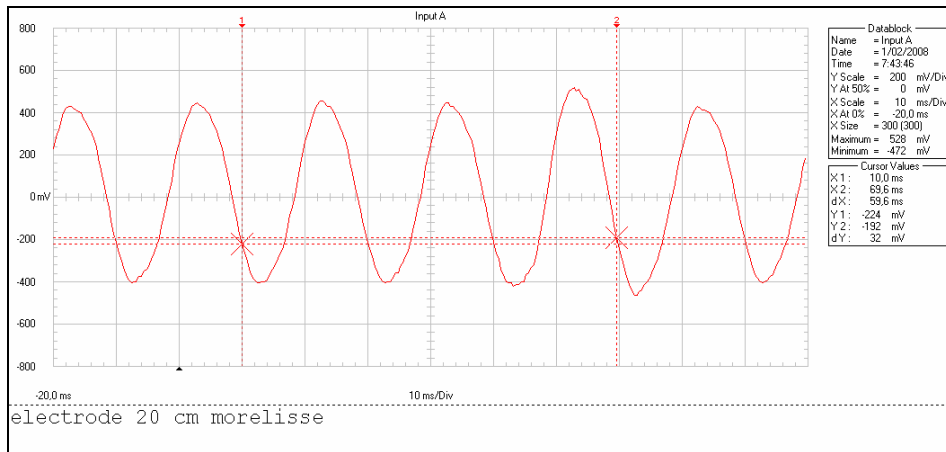
Figuur 43: Golfvorm Fronius magic wave 2600 wisselstroom



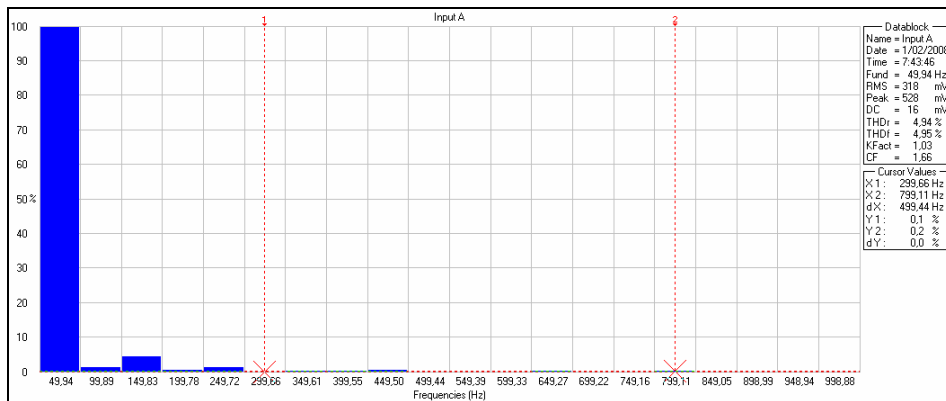
Figuur 44: Harmonischen Fronius magic wave 2600 wisselstroom

Uit Figuur 44 blijkt dat de fundamentele frequentie 60,1 Hz is.

5.3.1.3.2.2. Morelisse weldboy E401



Figuur 45: Golfvorm Morelisse weldboy E401 wisselstroom



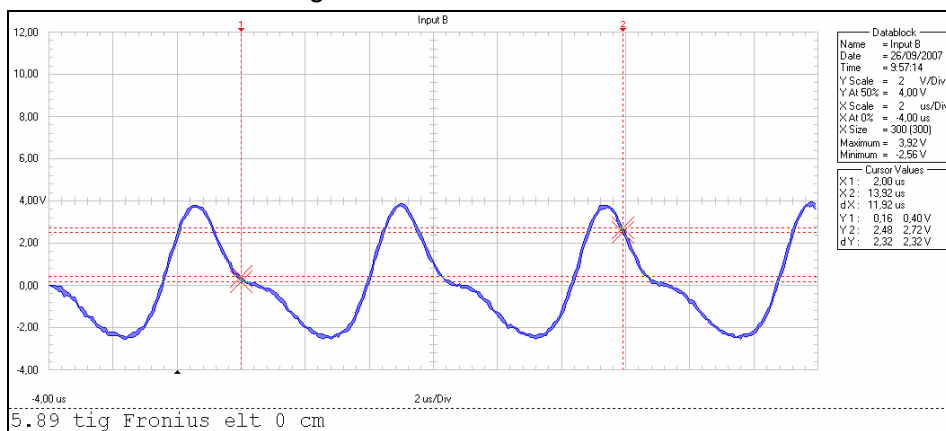
Figuur 46: Harmonischen Morelisse weldboy E401 wisselstroom

Uit Figuur 46 blijkt dat de fundamentele frequentie 49,94 Hz is.

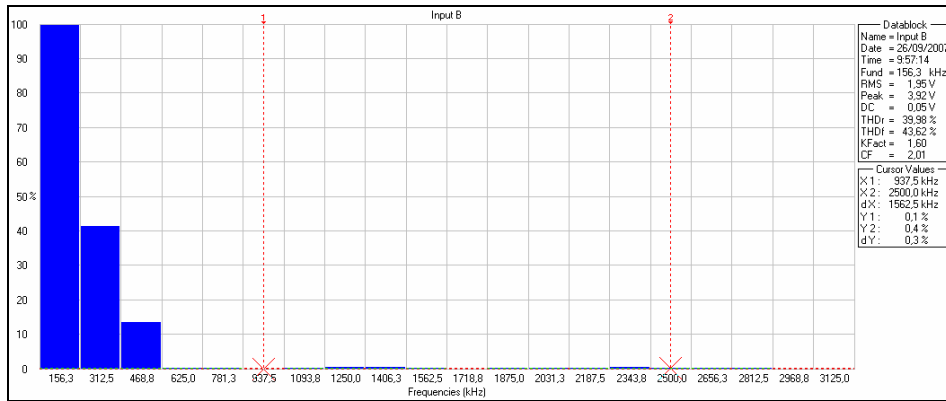
5.3.1.4. TIG-lassen

5.3.1.4.1. Gelijkstroom

5.3.1.4.1.1. Fronius magic wave 2600



Figuur 47: Golfvorm Fronius magic wave 2600 gelijkstroom



Figuur 48: Harmonischen Fronius magic wave 2600 gelijkstroom

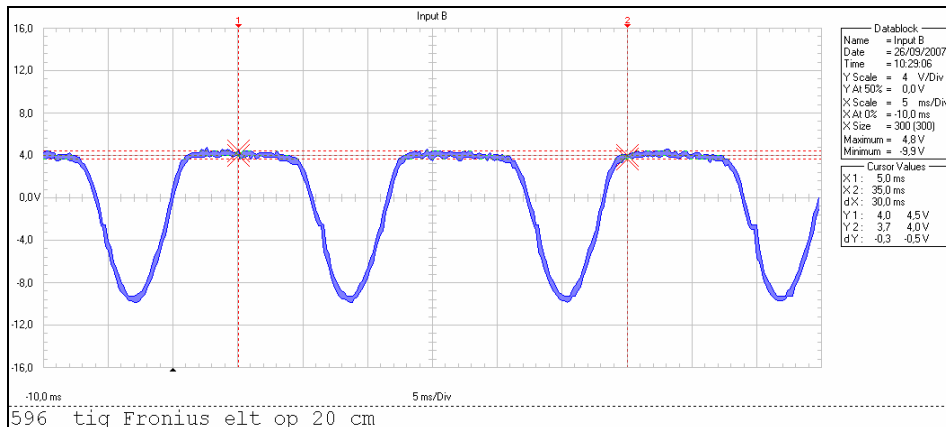
Uit Figuur 48 blijkt dat de fundamentele frequentie 156,3 Hz is.

5.3.1.4.1.2. ESAB DTA 200

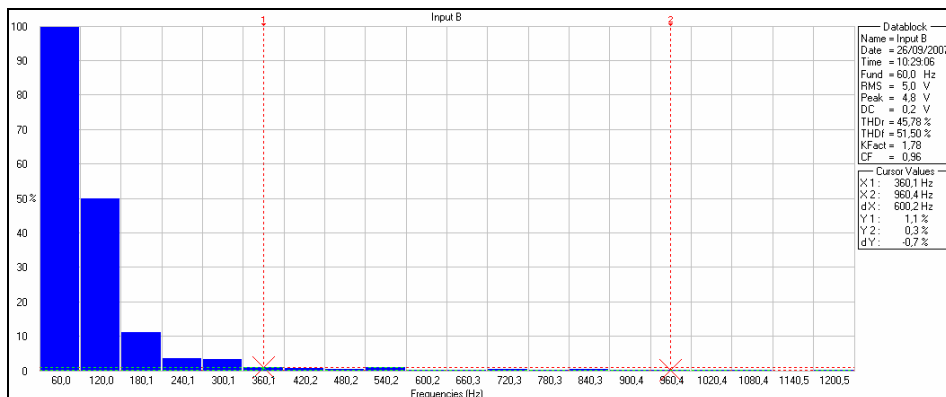
Het was onmogelijk om een stabiele golfvorm te krijgen. Bijgevolg kon de fundamentele frequentie ook niet bepaald worden uit de harmonischen.

5.3.1.4.2. Wisselstroom

5.3.1.4.2.1. Fronius magic wave 2600



Figuur 49: Golfvorm Fronius magic wave 2600 wisselstroom



Figuur 50: Harmonischen Fronius magic wave 2600 wisselstroom

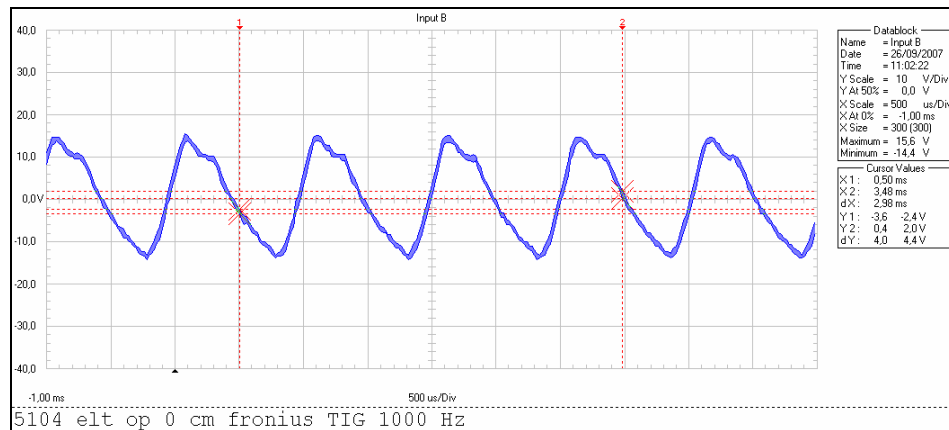
Uit Figuur 50 blijkt dat de fundamentele frequentie 60,0 Hz is.

5.3.1.4.2.2. ESAB DTA 200

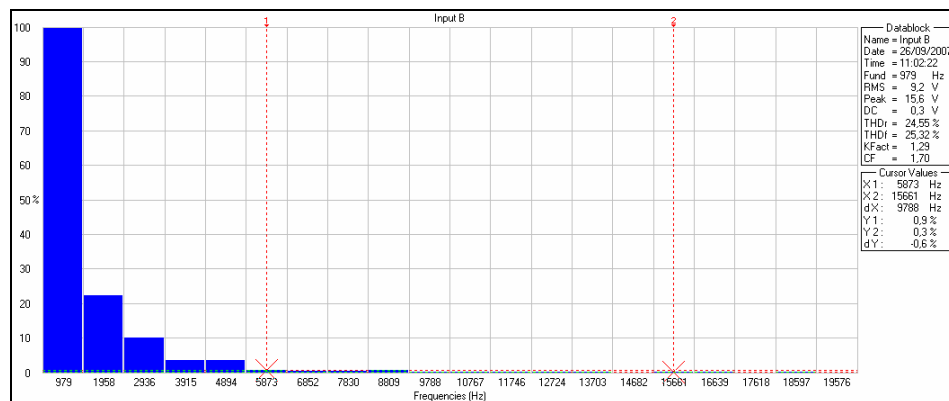
Het was onmogelijk om een stabiele golfvorm te bekomen. Bijgevolg kon de fundamentele frequentie ook niet bepaald worden uit de harmonischen.

5.3.1.4.3. Gepulseerde stroom

5.3.1.4.3.1. Fronius magic wave 2600 (1000Hz puls frequentie)



Figuur 51: Golfvorm Fronius magic wave 2600 gepulseerd 1000Hz



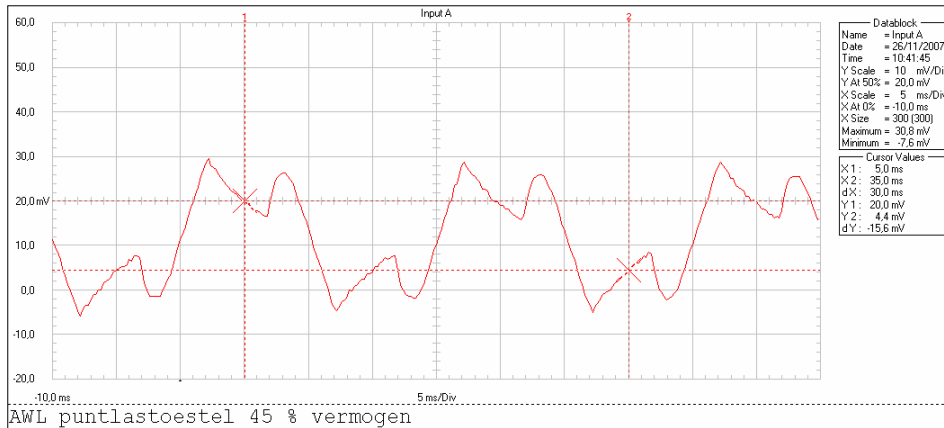
Figuur 52: Harmonischen Fronius magic wave 2600 gepulseerd 1000Hz

Uit Figuur 52 blijkt dat de fundamentele frequentie 979 Hz is.

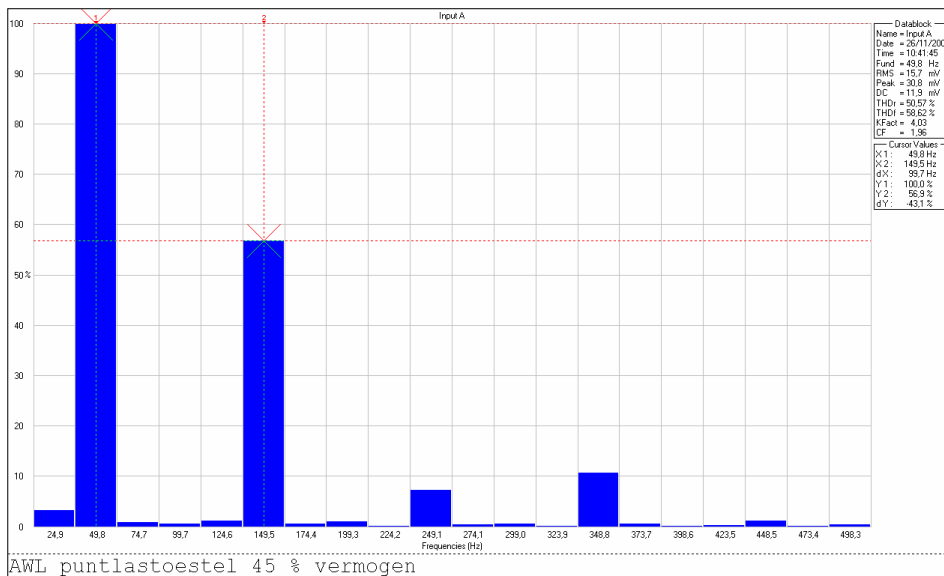
5.3.2. Meting van golfvorm en harmonischen bij weerstandlassen

5.3.2.1. AWL 65 kVA 50Hz weerstandlasmachine

5.3.2.1.1. 45% ingeschakeld vermogen



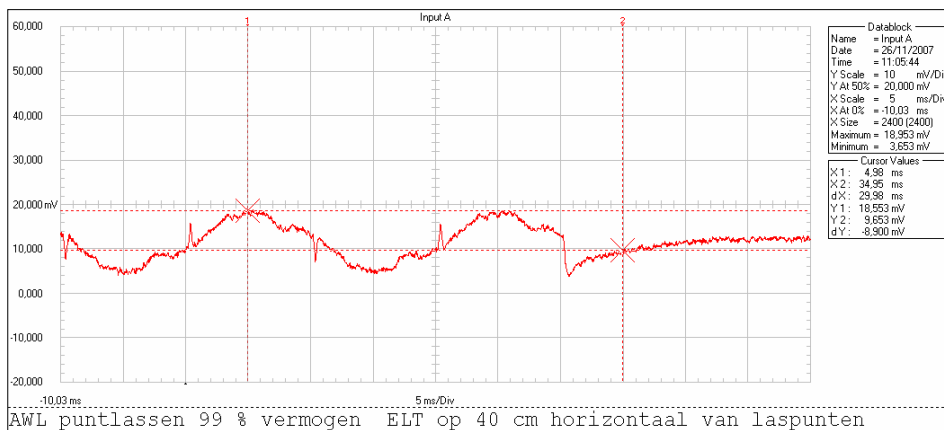
Figuur 53: Golfvorm AWL 65 kVA 50Hz weerstandlasmachine (45% vermogen)



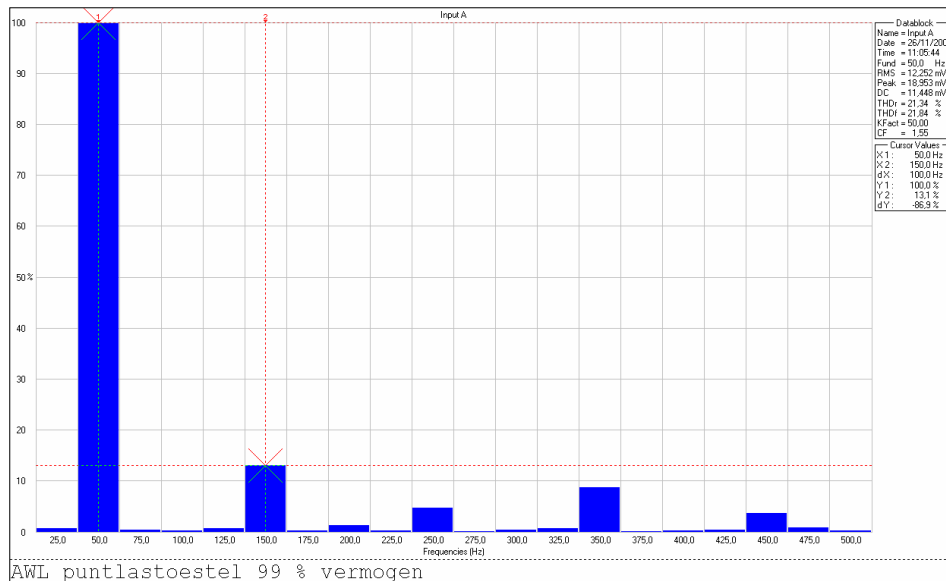
Figuur 54: Harmonischen AWL 65 kVA 50Hz weerstandlasmachine (45% vermogen)

Uit Figuur 54 blijkt dat de fundamentele frequentie 49,8 Hz is.

5.3.2.1.2. 99% ingeschakeld vermogen



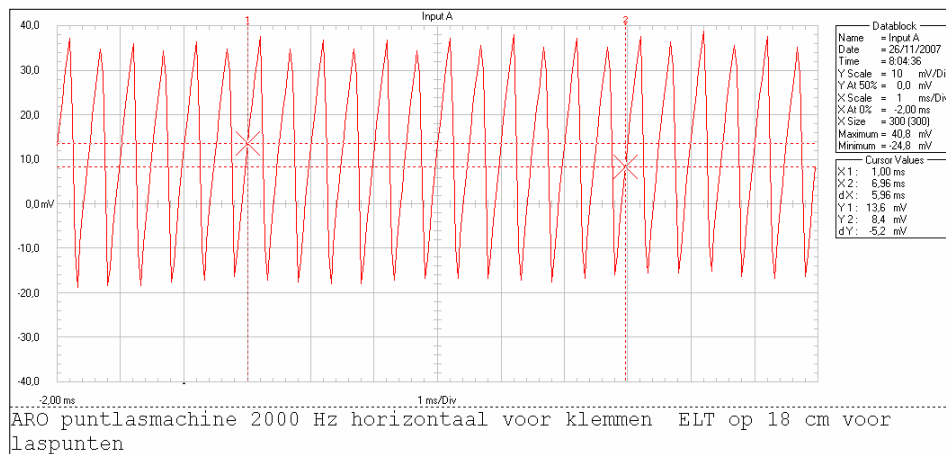
Figuur 55: Golfvorm AWL 65 kVA 50Hz weerstandlasmachine (99% vermogen)



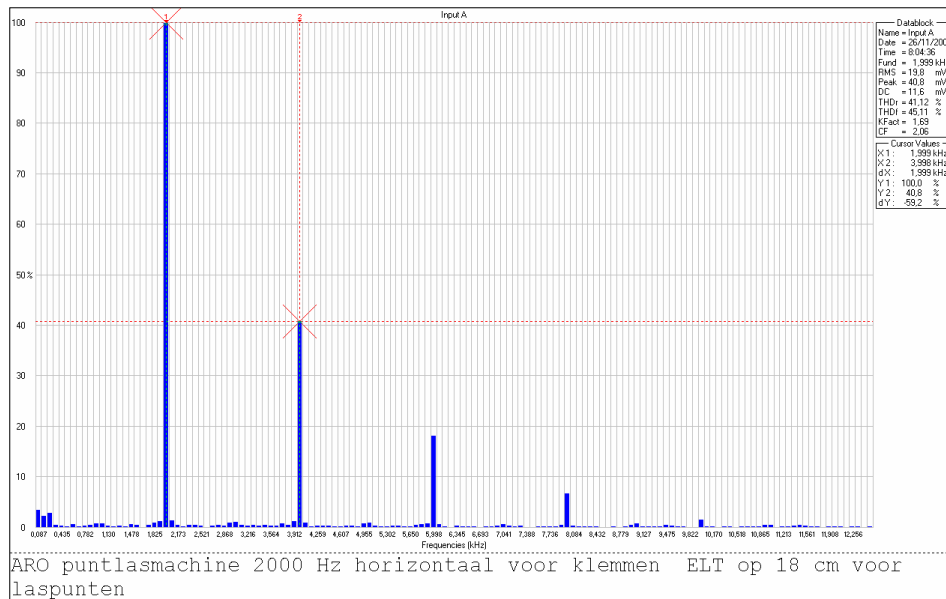
Figuur 56: Harmonischen AWL 65 kVA 50Hz weerstandlasmachine (99% vermogen)

Uit Figuur 56 blijkt dat de fundamentele frequentie 50 Hz is.

5.3.2.2. ARO 180 kVA MFDC 1000Hz weerstandlasmachine



Figuur 57: Golfvorm ARO 180 kVA MFDC 1000Hz weerstandlasmachine



Figuur 58: Harmonischen ARO 180 kVA MFDC 1000Hz weerstandlasmachine

Uit Figuur 58 blijkt dat de fundamentele frequentie ongeveer 2000 Hz is.

5.3.2.3. Matuschek 32 kVA HFDC 20 kHz weerstandlasmachine

Het was onmogelijk om een stabiele golfvorm te bekomen. Bijgevolg kon de fundamentele frequentie ook niet bepaald worden uit de harmonischen. Er kan eventueel wel uitgegaan worden van het feit dat 20 kHz als fundamentele frequentie beschouwd mag worden.

5.4. Opgemeten elektromagnetische velden

5.4.1. Inleiding

De elektromagnetische velden werden telkens op twee manieren opgemeten.

Ten eerste door middel van een globale meting in μT . Deze metingen worden in onderstaande tabellen weergegeven onder de kolom "Globaal [μT]".

Ten tweede door middel van een frequentieafhankelijke breedbandmeting in percent ten opzichte van de toelaatbare waarde. Deze meting houdt dus rechtstreeks rekening met de verschillende frequenties, sommeert de grootte van de elektromagnetisch velden per frequentie en evalueert onmiddellijk ten opzichte van de toelaatbare waarden volgens de richtlijn. In onderstaande tabellen worden deze metingen weergegeven onder de kolom " Σ [t.o.v. 1]". 100% wordt bijgevolg beschouwd als 1. Dus alle waarden groter dan 1 wil zeggen dat de maximale waarden (actiewaarden) overschreden worden.

5.4.2. Opgemeten elektromagnetische velden bij booglassen

5.4.2.1. Halfautomatisch lassen

Stroombron	Type stroom	Procesvariant	Fundamentele frequentie [Hz]	Afstand tot kabel [cm]	Breed band magnetisch inductieveld	
					Globaal [μT]	Σ [t.o.v. 1]
Kemppi pro 4200	DC+	Kortsluitboog	81	0	172	11,50
				10	106	6,53
				20	60	4,27
		Sproei-boog	Geen spectrum beschikbaar	0	33	5,69
				10	24	3,81
				20	130	1,84
		Pulsboog lage parameters	84	0	310	8,95
				10	161	5,01
				20	108	3,43
		Pulsboog hoge parameters	198	0	350	9,13
				10	196	4,75
				20	125	3,07
ESAB LUD 450W	DC+	Kortsluitboog	45	0	171	5,21
				10	90	2,06
				20	60	1,69
		Sproei-boog	Geen spectrum beschikbaar	0	67	1,44
				10	13	0,90
				20	9	0,53
		Pulsboog lage parameters	83	0	561	13,15
				10	285	6,20
				20	199	1,69
		Pulsboog hoge parameters	Geen spectrum beschikbaar	0	567	11,12
				10	294	5,52
				20	204	3,95

Tabel 34: opgemeten elektromagnetische velden bij halfautomatisch lassen

5.4.2.2. Lassen met beklede elektrode

Stroombron	Type stroom	Procesvariant	Fundamentele frequentie [Hz]	Afstand tot kabel [cm]	Breed band magnetisch inductieveld	
					Globaal [μ T]	Σ [t.o.v. 1]
Fronius magic wave 2600	AC	Wisselstroom 50 Hz	50	0	533	8,66
				10	296	4,55
				20	209	3,23
Morelisse Weldboy E-401	AC	Wisselstroom 50 Hz	50	0	455	1,42
				10	236	0,83
				20	172	0,61
ESAB DTA 200	DC-	Gelijkstroom	0	0	145	1,29
				10	75	0,72
				20	52	0,59

Tabel 35: opgemeten elektromagnetische velden bij lassen met beklede elektrode

5.4.2.3. TIG-lassen

Stroombron	Type stroom	Procesvariant	Fundamentele frequentie [Hz]	Afstand tot kabel [cm]	Breed band magnetisch inductieveld	
					Globaal [μ T]	Σ [t.o.v. 1]
Fronius magic wave 2600	DC-	Gelijkstroom	156	0	5	0,88
				10	3	0,47
				20	2	0,31
	AC	Wisselstroom 50 Hz	50	0	363	4,64
				10	192	2,54
				20	131	1,36
	DC-	Pulsboog 100 Hz	100	0	322	10,09
				10	165	5,18
				20	114	3,57
	DC-	Pulsboog 1000 Hz	1000	0	233	8,79
				10	129	4,94
				20	91	3,40
ESAB DTA 200	DC-	Gelijkstroom	0	0	141	0,62
				10	74	0,33
				20	52	0,24
	AC	Wisselstroom 50 Hz	50	0	470	8,72
				10	246	4,60
				20	170	3,03

Tabel 36: opgemeten elektromagnetische velden bij TIG-lassen

5.4.2.4. In functie van het lichaam

Stroombron	Type stroom	Procesvariant	Fundamentele frequentie [Hz]	Lichaamsdeel	Breed band magnetisch inductieveld	
					Globaal [μT]	Σ [t.o.v. 1]
Morelisse Weldboy E-401	AC	Wisselstroom 50 Hz	50	Hoofd	35	0,14
				Borst	133	0,40
				Lies	190	0,91
ESAB DTA 200 (Elektrode)	DC-	Gelijkstroom	0	Hoofd	23	0,32
				Borst	46	0,42
				Lies	92	1,60
ESAB DTA 200 (TIG)	AC	Wisselstroom 50 Hz	50	Hoofd	34	0,54
				Borst	94	1,20
				Lies	154	1,86

Tabel 37: verdeling van de elektromagnetische velden over het lichaam van een lasser

5.4.3. Opgemeten elektromagnetische velden bij weerstandlassen

5.4.3.1. AWL 65 kVA 50Hz weerstandlasmachine

Machine-instelling	Afstand tot elektrode [cm]	Meetpositie	Breed band magnetisch inductieveld Globaal [μT]				
			Hoek meetas [$^\circ$] \rightarrow				
			0	45	90		
		Meethoogte [cm] \rightarrow	20	109	175	109	109
45% ingeschakeld vermogen Stroom 7,9 kA	5		42	2371	/	overload	overload
	10		39	1211	58	1827	3151
	20		33	450	50	785	1277
	40		24	119	33	237	331
	60		17	49	22	111	126
	80		/	25	/	48	/
	100		/	15	/	/	/
99% ingeschakeld vermogen Stroom 13 kA	5		/	overload	/	/	/
	10		/	3385	/	/	/
	20		/	1270	/	/	/
	40		/	336	/	/	/

Tabel 38: opgemeten elektromagnetische velden bij een 50 Hz weerstandlasmachine (Globaal [μT])

Machine-instelling	Afstand tot elektrode [cm]	Meetpositie	Breed band magnetisch inductieveld Σ [t.o.v. 1]				
			Hoek meetas [$^\circ$] \rightarrow				
			0	45	90		
		Meethoogte [cm] \rightarrow	20	109	175	109	109
45% ingeschakeld vermogen Stroom 7,9 kA	5		0,69	17,66	1,1	overload	overload
	10		0,6	6,7	0,91	overload	18,67
	20		0,44	1,92	0,58	11,97	5,44
	40		0,32	0,82	0,38	3,41	2,22
	60		/	0,44	/	1,45	/
	80		/	0,27	/	0,79	/
99% ingeschakeld vermogen Stroom 13 kA	5		/	overload	/	/	/
	10		/	19,54	/	/	/
	20		/	7,63	/	/	/
	40		/	2,17	/	/	/

Tabel 39: opgemeten elektromagnetische velden bij een 50 Hz weerstandlasmachine (Σ [t.o.v. 1])

5.4.3.2. ARO 180 kVA MFDC 1000Hz weerstandslasmachine

Machine- instelling	Afstand tot elektrode [cm]	Meetpositie		Breed band magnetisch inductieveld Globaal [μ T]				
		Hoek meetas [$^{\circ}$] \rightarrow	0			45	90	
		Meethoogte [cm] \rightarrow	20	105	175	105	109	
Stroom 8 kA	5		12	280	/	353	550	
	10		11	170	20	205	385	
	20		9	72	14	115	198	
	40		7	22	8	34	67	
	60		/	/	/	/	33	
	80		/	/	/	/	19	
	100		/	/	/	/	10	
	120		/	/	/	/	6	
	140		/	/	/	/	4,5	
	160		/	/	/	/	3	
	180		/	/	/	/	1,8	
	200		/	/	/	/	2,3	
Stroom 20 kA	5		/	518	/	/	/	
	10		/	288	/	/	/	
	20		/	135	/	/	/	
	40		/	38	/	/	/	

5.4.3.2.1. Tabel 40: opgemeten elektromagnetische velden bij een 1000 Hz weerstandslasmachine (Globaal [μ T])

Machine- instelling	Afstand tot elektrode [cm]	Meetpositie		Breed band magnetisch inductieveld Σ [t.o.v. 1]				
		Hoek meetas [$^{\circ}$] \rightarrow	0			45	90	
		Meethoogte [cm] \rightarrow	20	105	175	105	109	
Stroom 8 kA	5		0,67	14,09	/	16,83	overload	
	10		0,64	8,24	1,14	10,07	18,7	
	20		0,55	3,67	0,82	4,9	9,57	
	40		0,39	1,23	0,46	1,75	3,6	
	60		/	/	/	/	1,71	
	80		/	/	/	/	0,96	
	100		/	/	/	/	0,58	
	120		/	/	/	/	0,37	
	140		/	/	/	/	0,24	
	160		/	/	/	/	0,17	
	180		/	/	/	/	0,13	
	200		/	/	/	/	0,1	
Stroom 20 kA	5		/	overload	/	/	/	
	10		/	14	/	/	/	
	20		/	6	/	/	/	
	40		/	2	/	/	/	

Tabel 41: opgemeten elektromagnetische velden bij een 1000 Hz weerstandslasmachine (Σ [t.o.v. 1])

5.4.3.3. Matuschek 32 kVA HFDC 20 kHz weerstandlasmachine

Machine-instelling	Afstand tot elektrode [cm]	Meetpositie	Breed band magnetisch inductieveld	
		Meetas: 0° Meethoogte: 93 cm	Globaal [μ T]	Σ [t.o.v. 1]
Stroom 4 kA	5		145	9,96
	10		92	5,58
	20		27	2,03
	40		8	0,62

Tabel 42: Opgemeten elektromagnetische velden bij een 20 kHz weerstandlasmachine

6. WP5: Verwerking van de meetgegevens

6.1. Inleiding

In dit werkpakket worden de opgemeten elektromagnetische velden geëvalueerd ten opzichte van de toelaatbare waarden (actiewaarden) uit de richtlijn.

Zoals reeds beschreven in paragraaf 5.4.1 worden de elektromagnetische velden steeds op twee verschillende manieren opgemeten: globaal en frequentieafhankelijk.

De globale meting wordt geëvalueerd ten opzichte van de toelaatbare waarden (actiewaarden) die berekend worden op basis van de fundamentele frequentie. De actiewaarden zijn gelijk aan 25 gedeeld door de fundamentele frequentie in kHz. Hoe lager de frequentie van een stroom is des te hoger de actiewaarde is. Indien een actiewaarde wordt overschreden (dit wil zeggen meer dan 100%) wordt deze waarde oranje ingekleurd.

De frequentieafhankelijke breedbandmeting wordt onmiddellijk uitgedrukt ten opzichte van de toelaatbare waarden. Indien de waarden groter dan 1 zijn (meer dan 100%, dus meer dan toelaatbaar) dan worden deze waarden oranje ingekleurd.

Volgens de richtlijn moeten elektromagnetische golven gemeten worden op een afstand van 20 cm van de kabel. De grootte van het veld neemt af met toenemende afstand. Aangezien bij lassen de kabel in zeer veel gevallen rechtstreeks contact met het lichaam van de lasser, worden ook de waarden gemeten op kortere afstanden (0 cm en 10 cm) in rekening gebracht.

Volgens de richtlijn moet voor elk geval dat de actiewaarden overschreden wordt, de geïnduceerde stroom in het lichaam van de lasser berekend worden. Dit wordt in het WP6 verder uitgewerkt (zie paragraaf 7).

De beide evaluatiemethoden (globaal en frequentieafhankelijk) stemmen niet steeds honderd percent overeen. Algemeen gezien kan gesteld worden dat de frequentieafhankelijk meting de strengste methode is. Als regel geldt dat als één van de beide methoden aangeeft dat de actiewaarden overschreden worden, dat dan de geïnduceerde stroom berekend wordt.

6.2. Halfautomatisch lassen

Stroombron	Type stroom	Procesvariant	Fundamentele frequentie [Hz]	Afstand tot kabel [cm]	Breed band magnetisch inductieveld Globaal [μ T]	AW = $25/f_{\text{fund}}$ (kHz) [Hz]	% tov AW
Kemppi pro 4200	DC+	Kortsluitboog	81	0	172	309	55,73
				10	106		34,34
				20	60		19,44
		Sproeiboog	Geen spectrum beschikbaar	0	33	/	/
				10	24		/
				20	130		/
		Pulsboog lage parameters	84	0	310	298	104,16
				10	161		54,10
				20	108		36,29
		Pulsboog hoge parameters	198	0	350	126	277,20
				10	196		155,23
				20	125		99,00
ESAB LUD 450W	DC+	Kortsluitboog	45	0	171	556	30,78
				10	90		16,20
				20	60		10,80
		Sproeiboog	Geen spectrum beschikbaar	0	67	/	/
				10	13		/
				20	9		/
		Pulsboog lage parameters	83	0	561	301	186,25
				10	285		94,62
				20	199		66,07
		Pulsboog hoge parameters	Geen spectrum beschikbaar	0	567	/	/
				10	294		/
				20	204		/

Tabel 43: Globaal elektromagnetisch veld bij halfautomatisch lassen

Halfautomatisch lassen maakt steeds gebruik van een gelijkstroombron. Aangezien de grootte van een elektromagnetisch veld afhankelijk is van de grootte en de frequentie van de stroom, zou men bij halfautomatisch lassen kunnen vermoeden dat de geproduceerde velden relatief laag zijn. Echter halfautomatisch lassen in het kortsluitbooggebied is zeker en vast geen zuivere gelijkstroom. Doordat de draad cyclisch kortsluiting maakt met het smeltbad heeft de lasstroom en de boogspanning een bepaalde frequentie. Bij halfautomatisch lassen in het sproeibooggebied maakt de draad geen contact met het smeltbad. De stroom is bij sproeibooglassen wel groter, maar de stroom is een bijna zuivere gelijkstroom. Dit resulteert in het feit dat, ook al is de lasstroom groter, de geïnduceerde elektromagnetische velden bij lassen in het sproeibooggebied kleiner zijn dan bij lassen in het kortsluitbooggebied. Bij halfautomatisch lassen wordt ook regelmatig gebruik gemaakt van gepulseerde stroom. Dergelijke pulsatie (hoge stromen en hoge frequenties) resulteren in hoge elektromagnetische velden.

Stroombron	Type stroom	Procesvariant	Afstand tot kabel [cm]	Breed band magnetisch inductieveld Σ [t.o.v. 1]
Kemppi pro 4200	DC+	Kortsluitboog	0	11,50
			10	6,53
			20	4,27
		Sproei-boog	0	5,69
			10	3,81
			20	1,84
		Pulsboog lage parameters	0	8,95
			10	5,01
			20	3,43
		Pulsboog hoge parameters	0	9,13
			10	4,75
			20	3,07
ESAB LUD 450W	DC+	Kortsluitboog	0	5,21
			10	2,06
			20	1,69
		Sproei-boog	0	1,44
			10	0,90
			20	0,53
		Pulsboog lage parameters	0	13,15
			10	6,20
			20	1,69
		Pulsboog hoge parameters	0	11,12
			10	5,52
			20	3,95

Tabel 44: Frequentieafhankelijk breedbandveld bij halfautomatisch lassen

6.3. Lassen met beklede elektrode

Stroombron	Type stroom	Procesvariant	Fundamentele frequentie [Hz]	Afstand tot kabel [cm]	Breed band magnetisch inductieveld Globaal [μ T]	AW = $25/f_{\text{fund}}$ (kHz) [Hz]	% tov AW
Fronius magic wave 2600	AC	Wisselstroom 50 Hz	50	0	533	500	107
				10	296		59
				20	209		42
Morelisse Weldboy E-401	AC	Wisselstroom 50 Hz	50	0	455	500	91
				10	236		47
				20	172		34
ESAB DTA 200	DC-	Gelijkstroom	0	0	145	/	29
				10	75		15
				20	52		10

Tabel 45: Globaal elektromagnetisch veld bij lassen met beklede elektrode

Lassen met een beklede elektrode met gelijkstroom vormt geen enkel probleem. Bij lassen met een beklede elektrode met wisselstroom (zuiver 50Hz-sigitaal) wordt de actiewaarde enkel overschreden als er in contact met de kabel gemeten wordt, maar volgens de richtlijn moet het veld op een afstand van 20 cm van de kabel gemeten worden, dus deze waarden geven geen enkel probleem.

Stroombron	Type stroom	Procesvariant	Afstand tot kabel [cm]	Breed band magnetisch inductieveld Σ [t.o.v. 1]
Fronius magic wave 2600	AC	Wisselstroom 50 Hz	0	8,66
			10	4,55
			20	3,23
Morelisse Weldboy E-401	AC	Wisselstroom 50 Hz	0	1,42
			10	0,83
			20	0,61
ESAB DTA 200	DC-	Gelijkstroom	0	1,29
			10	0,72
			20	0,59

Tabel 46: Frequentieafhankelijk breedbandveld bij lassen met beklede elektrode

6.4. TIG-lassen

Stroombron	Type stroom	Procesvariant	Fundamentele frequentie [Hz]	Afstand tot kabel [cm]	Breed band magnetisch inductieveld Globaal [μ T]	AW = $25/f_{fund}$ (kHz) [Hz]	% tov AW
Fronius magic wave 2600	DC-	Gelijkstroom	156	0	5	160	3,2
				10	3		1,7
				20	2		1,1
	AC	Wisselstroom 50 Hz	50	0	363	500	73
				10	192		38
				20	131		26
	DC-	Pulsboog 100 Hz	100	0	322	250	129
				10	165		66
				20	114		46
	DC-	Pulsboog 1000 Hz	1000	0	233	30,7	759
				10	129		420
				20	91		296
ESAB DTA 200	DC-	Gelijkstroom	0	0	141	/	/
				10	74		/
				20	52		/
	AC	Wisselstroom 50 Hz	50	0	470	500	94
				10	246		49
				20	170		34

Tabel 47: Globaal elektromagnetisch veld bij TIG-lassen

TIG-lassen met gelijkstroom geeft zeer lage elektromagnetische velden. Indien de frequentie verhoogd wordt, namelijk een sinusoidale wisselstroom met een frequentie van 50 Hz of een gepulseerde stroom met een frequentie van 100 Hz of 1000 Hz, dan stijgt de grootte van het elektromagnetisch veld sterk.

Stroombron	Type stroom	Procesvariant	Afstand tot kabel [cm]	Breed band magnetisch inductieveld Σ [t.o.v. 1]
Fronius magic wave 2600	DC-	Gelijkstroom	0	0,88
			10	0,47
			20	0,31
	AC	Wisselstroom 50 Hz	0	4,64
			10	2,54
			20	1,36
	DC-	Pulsboog 100 Hz	0	10,09
			10	5,18
			20	3,57
	DC-	Pulsboog 1000 Hz	0	8,79
			10	4,94
			20	3,40
ESAB DTA 200	DC-	Gelijkstroom	0	0,62
			10	0,33
			20	0,24
	AC	Wisselstroom 50 Hz	0	8,72
			10	4,60
			20	3,03

Tabel 48: Frequentieafhankelijk breedbandveld bij TIG-lassen

6.5. In functie van het lichaam

Stroombron	Type stroom	Procesvariant	Fundamentele frequentie [Hz]	Lichaamsdeel	Breed band magnetisch inductieveld Globaal [μ T]	AW = $25/f_{\text{fund}}$ (kHz) [Hz]	% tov AW
Morelisse Weldboy E-401	AC	Wisselstroom 50 Hz	50	Hoofd	35	500	7
				Borst	133		27
				Lies	190		38
ESAB DTA 200 (Elektrode)	DC-	Gelijkstroom	0	Hoofd	23	/	/
				Borst	46		/
				Lies	92		/
ESAB DTA 200 (TIG)	AC	Wisselstroom 50 Hz	50	Hoofd	34	500	7
				Borst	94		19
				Lies	154		31

Tabel 49: Globaal elektromagnetisch veld, verdeling over het lichaam van een lasser

Tabel 49 geeft de verdeling van het globaal elektromagnetisch veld weer in functie van het lichaam van een lasser. Deze proeven werden uitgevoerd bij een zittende lasser.

Stroombron	Type stroom	Procesvariant	Lichaamsdeel	Breed band magnetisch inductieveld Σ [t.o.v. 1]
Morelisse Weldboy E-401	AC	Wisselstroom 50 Hz	Hoofd	0,14
			Borst	0,40
			Lies	0,91
ESAB DTA 200 (Elektrode)	DC-	Gelijkstroom	Hoofd	0,32
			Borst	0,42
			Lies	1,60
ESAB DTA 200 (TIG)	AC	Wisselstroom 50 Hz	Hoofd	0,54
			Borst	1,20
			Lies	1,86

Tabel 50: Frequentieafhankelijk breedbandveld, verdeling over het lichaam van een lasser

6.6. AWL 65 kVA 50Hz weerstandlasmachine

Machine-instelling	Afstand tot elektrode [cm]	Meetpositie	Breed band magnetisch inductieveld Globaal [μ T]				
			Hoek meetas [°] →	0			45
		Meethoogte [cm] →	20	109	175	109	109
45% ingeschakeld vermogen Stroom 7,9 kA	5		42	2371	/	overload	overload
	% tov AW (5)		8	474		overload	overload
	10		39	1211	58	1827	3151
	% tov AW (10)		8	242	12	365	630
	20		33	450	50	785	1277
	% tov AW (20)		7	90	12	157	255
	40		24	119	33	237	331
	% tov AW (40)		5	24	10	47	66
	60		17	49	22	111	126
	% tov AW (60)		3	10	7	22	25
	80		/	25	/	48	/
	% tov AW (80)			5		10	
	100		/	15	/	/	/
% tov AW (100)		3					
99% ingeschakeld vermogen Stroom 13 kA	5		/	overload	/	/	/
	% tov AW (5)			overload			
	10		/	3385	/	/	/
	% tov AW (10)			677			
	20		/	1270	/	/	/
	% tov AW (20)			254			
40	/	336	/	/	/		
% tov AW (40)		67					

Tabel 51: Globaal elektromagnetisch veld bij een 50 Hz weerstandlasmachine

De grootte van de opgemeten elektromagnetische velden is sterk afhankelijk van de hoogte ten opzichte van de elektroden, de meetas en de afstand tussen de meetprobe en de elektroden. De grootste velden worden gemeten ter hoogte van de elektroden en zo dicht mogelijk bij de elektroden. Dit laatste is logisch, want het elektromagnetische veld neemt af met toenemende afstand tot de bron.

Hoe groter het ingestelde vermogen, des te groter de lasstroom zal zijn en des te groter het opgemeten elektromagnetisch veld zal zijn.

Machine- instelling	Afstand tot elektrode [cm]	Meetpositie Hoek meetas [°] → Meethoogte [cm] →	Breed band magnetisch inductieveld Σ [t.o.v. 1]				
			0			45	90
			20	109	175	109	109
45% ingeschakeld vermogen Stroom 7,9 kA	5		0,69	17,66	1,1	overload	overload
	10		0,6	6,7	0,91	overload	18,67
	20		0,44	1,92	0,58	11,97	5,44
	40		0,32	0,82	0,38	3,41	2,22
	60		/	0,44	/	1,45	/
	80		/	0,27	/	0,79	/
99% ingeschakeld vermogen Stroom 13 kA	5		/	overload	/	/	/
	10		/	19,54	/	/	/
	20		/	7,63	/	/	/
	40		/	2,17	/	/	/

Tabel 52: Frequentieafhankelijk breedbandveld bij een 50 Hz weerstandlasmachine

6.7. ARO 180 kVA MFDC 1000Hz weerstandlasmachine

Machine-instelling	Afstand tot elektrode [cm]	Meetpositie		Breed band magnetisch inductieveld Globaal [μ T]				
		Hoek meetas [$^{\circ}$] \rightarrow	0			45	90	
		Meethoogte [cm] \rightarrow	20	105	175	105	105	
8 kA	5		12	280	/	353	550	
	% tov AW (5)		39	912		1150	1792	
	10		11	170	20	205	385	
	% tov AW (10)		36	554	65	668	1254	
	20		9	72	14	115	198	
	% tov AW (20)		29	235	46	375	645	
	40		7	22	8	34	67	
	% tov AW (40)		23	72	26	111	218	
	60		/	/	/	/	33	
	% tov AW (60)						107	
	80		/	/	/	/	19	
	% tov AW (80)						62	
	100		/	/	/	/	10	
	% tov AW (100)						33	
	120		/	/	/	/	6	
	% tov AW (120)						20	
	140		/	/	/	/	4,5	
	% tov AW (140)						15	
	160		/	/	/	/	3	
	% tov AW (160)						10	
180		/	/	/	/	1,8		
% tov AW (180)						6		
200		/	/	/	/	2,3		
% tov AW (200)						7		
20 kA	5		/	518	/	/	/	
	% tov AW (5)			1687				
	10		/	288	/	/	/	
	% tov AW (10)			938				
	20		/	135	/	/	/	
	% tov AW (20)			440				
40		/	38	/	/	/		
% tov AW (40)			124					

Tabel 53: Globaal elektromagnetisch veld bij een 1000 Hz weerstandlasmachine

Het elektromagnetische veld bij een 1000 Hz (8 kA) is in absolute waarde kleiner dan bij een 50 Hz machine. De actiewaarde voor een fundamentele frequentie van 1000 Hz is echter vele malen kleiner dan voor 50 Hz. Daarom blijkt uit de evaluatie van de opgemeten velden ten opzichte van de actiewaarden, dat een 1000 Hz machine hogere waarden geeft dan een 50 Hz machine.

Machine-instelling	Afstand tot elektrode [cm]	Meetpositie		Breed band magnetisch inductieveld Σ [t.o.v. 1]				
		Hoek meetas [°] →	0			45	90	
		Meethoogte [cm] →	20	105	175	105	105	
8 kA	5		0,67	14,09	/	16,83	overload	
	10		0,64	8,24	1,14	10,07	18,7	
	20		0,55	3,67	0,82	4,9	9,57	
	40		0,39	1,23	0,46	1,75	3,6	
	60		/	/	/	/	1,71	
	80		/	/	/	/	0,96	
	100		/	/	/	/	0,58	
	120		/	/	/	/	0,37	
	140		/	/	/	/	0,24	
	160		/	/	/	/	0,17	
	180		/	/	/	/	0,13	
200		/	/	/	/	0,1		
	5		/	overload	/	/	/	
	10		/	14	/	/	/	
	20		/	6	/	/	/	
	40		/	2	/	/	/	

Tabel 54: Frequentieafhankelijk breedbandveld bij een 1000 Hz weerstandslasmachine

6.8. Matuschek 32 kVA HFDC 20 kHz weerstandslasmachine

Machine-instelling	Afstand tot elektrode [cm]	Meetpositie: Meetas: 0° Meethoogte: 93 cm	Breed band magnetisch inductieveld Globaal [μ T]	AW = $25/f_{\text{fund}}$ (kHz) [Hz]	% tov AW
Stroom 4 kA	5		145	30,7	472
	10		92		300
	20		27		88
	40		8		26

Tabel 55: Globaal elektromagnetisch veld bij een 20 kHz weerstandslasmachine

Machine-instelling	Afstand tot elektrode [cm]	Meetpositie: Meetas: 0° Meethoogte: 93 cm	Breed band magnetisch inductieveld Σ [t.o.v. 1]
Stroom 4 kA	5		9,96
	10		5,58
	20		2,03
	40		0,62

Tabel 56: Frequentieafhankelijk breedbandveld bij een 20 kHz weerstandslasmachine

7. WP6: Evaluatie van de meetgegevens

7.1. Inleiding

Volgens de richtlijn moet voor elk geval dat de actiewaarden overschreden wordt, de geïnduceerde stroom in het lichaam van de lasser berekend worden. De actiewaarden zijn grootheden die redelijk eenvoudig meetbaar zijn (bijvoorbeeld globaal elektromagnetisch veld uitgedrukt in μT). De geïnduceerde stromen (uitgedrukt in mA/m^2 , dus eigenlijk een stroomdichtheid) kunnen niet gemeten worden, maar moeten berekend worden.

In het kader van het project is er voor de berekening van de geïnduceerde stroom gebruik gemaakt van de verkorte berekeningsmethode. Deze methode wordt internationaal beschouwd als betrouwbaar.

De grootte van de geïnduceerde stroom is enerzijds afhankelijk van de grootte van de stroomlus die in het lichaam gevormd wordt en anderzijds van de grootte en de invalrichting van het elektromagnetisch veld. Zo is bijvoorbeeld de lengte van een lasser/operator een belangrijke factor. Hoe groter een persoon des te groter de stroomlus kan zijn waardoor de geïnduceerde stroom kan vloeien. De geïnduceerde stroom wordt standaard berekend voor het hoofd, nek en romp.

Het evaluatiecriterium voor de geïnduceerde stroom is $10\text{mA}/\text{m}^2$. In de onderstaande tabellen worden de berekende geïnduceerde stromen uitgedrukt in percenten ten opzichte van deze referentiewaarde van $10\text{mA}/\text{m}^2$. Een waarde die groter is dan 100% wil bijgevolg zeggen dat de geïnduceerde stroom groter is dan $10\text{mA}/\text{m}^2$ en dat er beschermingsmaatregelen moeten uitgewerkt worden om de werknemer (lasser of lasoperator) te beschermen.

Algemeen kan gesteld worden dat de geïnduceerde stroom bij booglassen op een afstand van 20 cm van de kabel (cfr. richtlijn) steeds onder de grens van $10\text{mA}/\text{m}^2$ blijft. Indien er gelast wordt met gepulseerde stroom met zeer hoge frequentie (vb: 1000 Hz TIG-lassen) dan kan de geïnduceerde stroom te groot worden in contact met of dichtbij de kabel.

Bij weerstandlassen wordt in sommige vallen (horizontale inval, grote stroomlus en hoge frequentie) de geïnduceerde stroom te groot. Daarom is het steeds aan te raden om de afstand tussen de elektroden en de lasoperator zo groot mogelijk te maken.

7.2. Halfautomatisch lassen

Stroombron	Procesvariant	Afstand tot kabel [cm]	Geïnduceerde stroom: J(mA/m ²) in % van 10 mA/m ²				
			Nek	Hoofd	Romp: diameter stroomlus		
			13 cm	20 cm	40cm	60cm	80cm
Kemppi pro 4200	Kortsluitboog	0	0,57	0,88	1,75	2,63	3,50
		10	0,35	0,54	1,08	1,62	2,16
		20	0,20	0,31	0,61	0,92	1,22
	Sproei-boog	0					
		10					
		20					
	Pulsboog lage parameters	0	1,06	1,64	3,27	4,91	6,54
		10	0,55	0,85	1,70	2,55	3,40
		20	0,37	0,57	1,14	1,71	2,28
	Pulsboog hoge parameters	0	2,83	4,35	8,71	13,06	17,42
		10	1,58	2,44	4,88	7,32	9,75
		20	1,01	1,56	3,11	4,67	6,22
ESAB LUD 450W	Kortsluitboog	0	0,31	0,48	0,97	1,45	1,93
		10	0,17	0,25	0,51	0,76	1,02
		20	0,11	0,17	0,34	0,51	0,68
	Sproei-boog	0					
		10					
		20					
	Pulsboog lage parameters	0	1,90	2,93	5,85	8,78	11,70
		10	0,97	1,49	2,97	4,46	5,95
		20	0,67	1,04	2,08	3,11	4,15
	Pulsboog hoge parameters	0					
		10					
		20					

Tabel 57: Geïnduceerde stroom bij halfautomatisch lassen

7.3. Lassen met beklede elektrode

Stroombron	Procesvariant	Afstand tot kabel [cm]	Geïnduceerde stroom: J(mA/m ²) in % van 10 mA/m ²				
			Nek	Nek	Romp: diameter stroomlus		
			13 cm	13 cm	40cm	60cm	80cm
Fronius magic wave 2600	Wisselstroom 50 Hz	0	0,336	0,218	0,672	1,008	1,345
		10	0,185	0,120	0,371	0,556	0,741
		20	0,132	0,086	0,264	0,396	0,528
Morelisse Weldboy E-401	Wisselstroom 50 Hz	0	0,909	1,398	2,796	4,194	5,592
		10					
		20					
ESAB DTA 200	Gelijkstroom	0					
		10					
		20					

Tabel 58: Geïnduceerde stroom bij lassen met beklede elektrode

7.4. TIG-lassen

Stroombron	Procesvariant	Afstand tot kabel [cm]	Geïnduceerde stroom: J(mA/m ²) in % van 10 mA/m ²				
			Nek	Hoofd	Romp: diameter stroomlus		
			13 cm	20 cm	40cm	60 cm	80 cm
Fronius magic wave 2600	Gelijkstroom	0					
		10					
		20					
	Wisselstroom 50 Hz	0	1,14	0,74	2,28	3,42	4,56
		10	0,60	0,39	1,21	1,81	2,41
		20	0,41	0,27	0,82	1,24	1,65
	Pulsboog 100 Hz	0	0,081	0,053	0,16	0,24	0,32
		10	0,041	0,027	0,083	0,12	0,17
		20	0,029	0,019	0,058	0,087	0,12
	Pulsboog 1000 Hz	0	47,69	31,00	95,37	143,06	190,75
		10	26,40	17,16	52,80	79,21	105,61
		20	18,60	12,09	37,20	55,80	74,40
ESAB DTA 200	Gelijkstroom	0					
		10					
		20					
	Wisselstroom 50 Hz	0	0,295	0,192	0,591	0,886	1,18
		10	0,154	0,100	0,308	0,462	0,62
		20	0,107	0,069	0,214	0,320	0,43

Tabel 59: Geïnduceerde stroom bij TIG-lassen

Bij het TIG-lassen met midfrequente stroom (1000 Hz) wordt de geïnduceerde stroom in het lichaam van de lasser te groot in contact met of dichtbij de kabel. De richtlijn zegt dat de stroomgrootte geëvalueerd moet worden op basis van een afstand van 20 cm. In dat geval valt de geïnduceerde stroom onder het evaluatiecriteria van 10mA/m².

7.5. In functie van het lichaam

Stroombron	Procesvariant	Lichaamsdeel	Geïnduceerde stroom: J(mA/m ²) in % van 10 mA/m ²	
			Lusdiameter	J (mA/m ²)
Morelisse Weldboy E-401	Wisselstroom 50 Hz	Hoofd	20 cm	0,011
		Borst	80 cm	0,167
		Lies	80 cm	0,239
ESAB DTA 200 (Elektrode)	Gelijkstroom	Hoofd	20 cm	0,007
		Borst	80 cm	0,058
		Lies	80 cm	0,116
ESAB DTA 200 (TIG)	Wisselstroom 50 Hz	Hoofd	20 cm	0,107
		Borst	80 cm	1,181
		Lies	80 cm	1,935

Tabel 60: Geïnduceerde stroom, verdeling over het lichaam van een lasser

7.6. AWL 65 kVA 50Hz weerstandlasmachine

Machine-instelling	Afstand tot elektrode [cm]	Meetas [°]	Meethoogte [cm]	Vertikale inval van elektromagnetisch veld Geïnduceerde stroom: J(mA/m ²) in % van 10 mA/m ²			
				Hoofd	Nek	Romp	Enkel
				60 cm	40 cm	100 cm	25 cm
45% ingeschakeld vermogen Stroom 7,9 kA	5	0	109	7,11	4,74	11,86	2,96
	10			3,63	2,42	6,06	1,51
	10	45		5,48	3,65	9,14	2,28
	20			2,36	1,57	3,93	0,98
	10	90		9,45	6,30	15,76	3,94
	20			3,83	2,55	6,39	1,60
99% ingeschakeld vermogen Stroom 13 kA	10	0	109	10,16	6,77	16,93	4,23
	20			3,81	2,54	6,35	1,59

Tabel 61: Geïnduceerde stroom bij een 50 Hz weerstandlasmachine (vertikale inval)

Machine-instelling	Afstand tot elektrode [cm]	Meetas [°]	Meethoogte [cm]	Horizontale inval van elektromagnetisch veld Geïnduceerde stroom: J(mA/m ²) in % van 10 mA/m ²				
				Grootste diameter romp [cm]				
				20	40	60	80	100
45% ingeschakeld vermogen Stroom 7,9 kA	5	0	109	7,45	14,90	22,35	29,79	37,24
	10			3,80	7,61	11,41	15,22	19,02
	10	45		5,74	11,48	17,22	22,96	28,70
	20			2,47	4,93	7,40	9,86	12,33
	10	90		9,90	19,80	29,70	39,60	49,50
	20			4,01	8,02	12,04	16,05	20,06
99% ingeschakeld vermogen Stroom 13 kA	10	0	109	10,63	21,27	31,90	42,54	53,17
	20			3,99	7,98	11,97	15,96	19,95

Tabel 62: Geïnduceerde stroom bij een 50 Hz weerstandlasmachine (horizontale inval)

7.7. ARO 180 kVA MFDC 1000Hz weerstandlasmachine

Machine-instelling	Afstand tot elektrode [cm]	Meetas [°]	Meethoogte [cm]	Vertikale inval van elektromagnetisch veld Geïnduceerde stroom: J(mA/m ²) in % van 10 mA/m ²			
				Hoofd	Nek	Romp	Enkel
				60 cm	40 cm	100 cm	25 cm
8 kA	5	0	105	16,80	11,20	28,00	7,00
	10			10,20	6,80	17,00	4,25
	5	45		21,18	14,12	35,30	8,83
	10			12,30	8,20	20,50	5,13
	5	90		33,00	22,00	55,00	13,75
	10			23,10	15,40	38,50	9,63
20 kA	5	0	105	31,08	20,72	51,80	12,95
	10			17,28	11,52	28,80	7,20

Tabel 63: Geïnduceerde stroom bij een 1000 Hz weerstandlasmachine (Vertikale inval)

Machine-instelling	Afstand tot elektrode [cm]	Meetas [°]	Meethoogte [cm]	Horizontale inval van elektromagnetisch veld Geïnduceerde stroom: J(mA/m ²) in % van 10 mA/m ²				
				Grootste diameter romp [cm]				
				20	40	60	80	100
8 kA	5	0	105	17,59	35,19	52,78	70,37	87,96
	10			10,68	21,36	32,04	42,73	53,41
	5	45		22,18	44,36	66,54	88,72	110,90
	10			12,88	25,76	38,64	51,52	64,40
	5	90		34,56	69,12	103,67	138,23	172,79
	10			24,19	48,38	72,57	96,76	120,95
20 kA	5	0	105	32,55	65,09	97,64	130,19	162,73
	10			18,10	36,19	54,29	72,38	90,48

Tabel 64: Geïnduceerde stroom bij een 1000 Hz weerstandlasmachine (Horizontale inval)

Bij horizontale inval van het elektromagnetische veld op het lichaam van de lasser overschrijdt de geïnduceerde stroom bij een 1000 Hz weerstandlasmachine, indien de afstand kleiner is dan 20 cm, de evaluatiewaarde van 10mA/m².

7.8. Matuschek 32 kVA HFDC 20 kHz weerstandlasmachine

Machine-instelling	Afstand tot elektrode [cm]	Meetas [°]	Meethoogte [cm]	Vertikale inval van elektromagnetisch veld Geïnduceerde stroom: J(mA/m ²) in % van 10 mA/m ²			
				Hoofd	Nek	Romp	Enkel
				60 cm	40 cm	100 cm	25 cm
4 kA	5	0	105	174,0	116,0	290,0	72,5
	10			110,4	73,6	184,0	46,0
	20			32,4	21,6	54,0	13,5
	40			9,6	6,4	16,0	4,0

Tabel 65: Geïnduceerde stroom bij een 20 kHz weerstandlasmachine (Vertikale inval)

Bij verticale inval van het elektromagnetische veld op het lichaam van de lasser overschrijdt de geïnduceerde stroom bij een 20 kHz weerstandslasmachine, indien de afstand kleiner is dan 20 cm, de evaluatiewaarde van 10mA/m².

Machine- instelling	Afstand tot elektrode [cm]	Meetas [°]	Meethoogte [cm]	Horizontale inval van elektromagnetisch veld				
				Geïnduceerde stroom: J(mA/m ²) in % van 10 mA/m ²				
				Grootste diameter romp [cm]				
				20	40	60	80	100
4 kA	5	0	105	182	364	547	729	911
	10			116	231	347	462	578
	20			34	68	102	136	170
	40			10	20	30	40	50

Tabel 66: Geïnduceerde stroom bij een 20 kHz weerstandslasmachine (Horizontale inval)

Bij horizontale inval van het elektromagnetische veld op het lichaam van de lasser overschrijdt de geïnduceerde stroom bij een 20 kHz weerstandslasmachine de evaluatiewaarde van 10mA/m². Dit zelfs bij een afstand van 20 cm, zodanig dat volgens de richtlijn in dit geval er beschermingsmaatregelen uitgewerkt moeten worden. De eenvoudigste maatregel is om de afstand tussen de elektromagnetische bron (elektroden) en het lichaam van de operator zo groot mogelijk te maken.

8. Conclusies

8.1. Algemeen

Algemeen kan gesteld worden dat zowel bij booglassen als bij weerstandlassen de actiewaarden (relatief eenvoudig meetbare grootheden, vb: globaal elektromagnetisch veld in μT) zeer regelmatig overschreden worden. Bijgevolg is het berekenen van de geïnduceerde stroom in het lichaam van de lasser en lasoperator belangrijk. Na deze berekening blijkt dat in de meeste gevallen er volgens de richtlijn (dit wil zeggen op een afstand van 20 cm van de kabel) geen problemen zijn. Uit het project blijkt dat enkel bij een 20 kHz weerstandslasmachine er op 20 cm van de bron een te groot veld gegenereerd wordt. Educatie van lassers en lasoperatoren is een belangrijke taak. De lassers moeten attent gemaakt worden hoe de impact van elektromagnetische velden opgewekt door lassen tot een minimum herleid kan worden.

De Europese richtlijn vormt in de meeste gevallen geen probleem voor booglassen en weerstandlassen. De impact van deze richtlijn op de lasindustrie zal bijgevolg beperkt zijn. De resultaten van dit project kunnen direct aangewend worden om aan te tonen dat in de meeste gevallen de werkgever geen beschermende maatregelen moet nemen.

8.2. Enkele conclusies per lasproces

Halfautomatisch lassen maakt steeds gebruik van een gelijkstroombron. Aangezien de grootte van een elektromagnetisch veld afhankelijk is van de grootte en de frequentie van de stroom, zou men bij halfautomatisch lassen kunnen vermoeden dat de opgewekte velden relatief laag zijn. Echter halfautomatisch lassen in het kortsluitbooggebied is zeker en vast geen zuivere gelijkstroom. Doordat de draad cyclisch kortsluiting maakt met het smeltbad heeft de lasstroom en de boogspanning een bepaalde frequentie. Bij halfautomatisch lassen in het sproei-booggebied maakt de draad geen contact met het smeltbad. De stroom is bij sproei-booglassen wel groter, maar de stroom is een bijna zuivere gelijkstroom. Dit resulteert in het feit dat, ook al is de lasstroom groter, de geïnduceerde elektromagnetische velden bij lassen in het sproei-booggebied kleiner zijn dan bij lassen in het kortsluitbooggebied. Bij halfautomatisch lassen wordt ook regelmatig gebruik gemaakt van gepulseerde stroom. Dergelijke pulsatie (hoge stromen en hoge frequenties) resulteren in hoge elektromagnetische velden.

Lassen met een beklede elektrode met gelijkstroom vormt geen enkel probleem. Bij lassen met een beklede elektrode met wisselstroom (zuiver 50Hz-signaal) wordt de actiewaarde enkel overschreden als er in contact met de kabel gemeten wordt. Volgens de richtlijn moet het veld op een afstand van 20 cm van de kabel gemeten worden, dus deze waarden geven geen enkel probleem.

TIG-lassen met gelijkstroom geeft zeer lage elektromagnetische velden. Indien de frequentie verhoogd wordt, namelijk een sinusoidale wisselstroom met een frequentie van 50 Hz of een gepulseerde stroom met een frequentie van 100 Hz of 1000 Hz, dan stijgt de grootte van het elektromagnetisch veld sterk.

De grootte van de opgemeten elektromagnetische velden is sterk afhankelijk van de hoogte ten opzichte van de elektroden, de meetas en de afstand tussen de meetprobe en de elektroden. De grootste velden worden gemeten ter hoogte van de elektroden en zo dicht mogelijk bij de elektroden. Dit laatste is logisch, want het elektromagnetische veld neemt af met toenemende afstand tot de bron.

Het elektromagnetische veld bij een 1000 Hz (8 kA) is in absolute waarde kleiner dan bij een 50 Hz machine. De actiewaarde voor een fundamentele frequentie van 1000 Hz is echter vele

malen kleiner dan voor 50 Hz. Daarom blijkt uit de evaluatie van de opgemeten velden ten opzichte van de actiewaarden, dat een 1000 Hz machine hogere waarden geeft dan een 50 Hz machine.

Bij het TIG-lassen met midfrequente stroom (1000 Hz) wordt de geïnduceerde stroom in het lichaam van de lasser te groot in contact met of dichtbij de kabel. De richtlijn zegt dat de stroomgrootte geëvalueerd moet worden op basis van een afstand van 20 cm. In dat geval valt de geïnduceerde stroom onder het evaluatiecriterium van 10 mA/m².

Bij horizontale inval van het elektromagnetische veld op het lichaam van de lasser overschrijdt de geïnduceerde stroom bij een 1000 Hz weerstandslasmachine, indien de afstand kleiner is dan 20 cm, de evaluatiewaarde van 10 mA/m².

Bij verticale inval van het elektromagnetische veld op het lichaam van de lasser overschrijdt de geïnduceerde stroom bij een 20 kHz weerstandslasmachine, indien de afstand kleiner is dan 20 cm, de evaluatiewaarde van 10 mA/m².

Bij horizontale inval van het elektromagnetische veld op het lichaam van de lasser overschrijdt de geïnduceerde stroom bij een 20 kHz weerstandslasmachine de evaluatiewaarde van 10 mA/m². Dit zelfs bij een afstand van 20 cm, zodanig dat volgens de richtlijn in dit geval er beschermingsmaatregelen uitgewerkt moeten worden. De eenvoudigste maatregel is om de afstand tussen de elektromagnetische bron (elektroden) en het lichaam van de operator zo groot mogelijk te maken.

9. WP7: Uitwerking van beschermingsmaatregelen

In de meeste gevallen zijn beschermingsmaatregelen bij booglassen en weerstandlassen niet noodzakelijk. Indien bij uitzondering (vb: hoge stromen en heel hoge frequenties) uit berekeningen blijkt dat de geïnduceerde stroom toch groter is dan de vooropgestelde maximum waarde van 10 mA/m², dan moeten er toch maatregelen genomen worden.

De eenvoudigste maatregel is om de afstand tussen de elektromagnetische bron en het lichaam van de operator zo groot mogelijk te maken, want het elektromagnetisch veld neemt af met toenemende afstand.

10. WP8: Kennisverspreiding en sensibilisatie

In het begin van 2007 werd in het vakblad *Metallerie* een artikel gepubliceerd "Meten en evalueren van de blootstelling van lassers aan elektromagnetische velden in het kader van de nieuwe Europese EMF-richtlijn 2004/40/EC". Het doel van het artikel was om de bedrijven attent te maken dat er een nieuwe richtlijn is en dat implementatie van de richtlijn belangrijk is. Het artikel is zowel in het nederlands als in het frans verschenen.

Op het BIL-NIL-lassymposium werden er drie lezingen gegeven door medewerkers aan dit rapport. De drie lezingen waren:

- **The new EU-directive on EMF exposure and its effects on electrical welding**, Kjell Hansson Mild, Radiation Physics, Dept. of Radiation Sciences, Umea University, Sweden
- **Compliance testing of the electromagnetical fields of different welding applications: a national pre standardization project in the framework of the European Directive 2004/40/EC**, Gilbert Decat, Leo Deckx, Guy Meynen, VITO België
- **Elektromagnetische straling bij lassen: praktijk versus Europese richtlijn!**, Kurt Broeckx, Normenantenne Lastechniek, Belgisch Instituut voor Lastechniek

In de eerste helft van 2008 zal in het vakblad *Metallerie* een artikel gepubliceerd worden met de resultaten van dit project. Dit artikel zal zowel in Vlaanderen als in Wallonië verschijnen.

Op het einde van 2008 zal er een internationale publicatie geschreven worden. Een internationaal artikel is zeker aan de orde, aangezien de resultaten van dit project wereldwijd interessant zijn.

De Normenantenne Lastechniek zal instaan voor de terugkoppeling van de projectresultaten naar de desbetreffende Europese normalisatiecommissies.

Gilbert Decat van het VITO neemt deel aan een zeer groot aantal werkgroepen omtrent elektromagnetische straling op nationaal en Europees vlak. Tabel 67 geeft de werkgroepen en dergelijke weer waarin Gilbert Decat werkzaam is. Deze werkgroepen bieden een zeer groot platform voor de verspreiding van de projectresultaten.

Titel raad	Georganiseerd door wie en waar
Hoge gezondheidsraad Wergroep niet-ioniserende straling	Federale Overheid (FOD) Zelfbestuursstraat 1070 Brussel 4
Belgian Bioelectromagnetic Group	BBEMG
Advisory Board EMF-NET http://emf-net.isib.cnr.it/	A Project funded by the European Commission 6th Framework Programme Priority 8 - Policy Oriented Research

Advisory Board of EIS-NET http://www.jrc.cec.eu.int/eis-emf	JRC ISPRA
CSTEE working group on non-ionising radiation (eindrapport is gepubliceerd en werkgroep wordt waarschijnlijk binnenkort terug samengeroepen);	European Commission Directorate-General Health and Consumer Protection;
EBEA: EuropeanBioElectrocmagnetic Association	
BEMS: Bioelectromagnetics	
EMF - Health and Consumer Protection of the European Commission	
COST: Management Committee of Action BM0704 : Emerging EMF Technologies and Health Risk Management	COST:European corporation in de field of Scientific and Technical Research

Tabel 67