

Validatie van een rekenmodel voor de berekening van magnetische velden nabij hoogspanningslijnen



### Validatie van een rekenmodel voor de berekening van magnetische velden nabij hoogspanningslijnen

Departement omgeving wil op een onafhankelijke manier inzicht geven in de blootstelling aan magnetische golven die afkomstig zijn van hoogspanningslijnen. Hiervoor gebruikt Departement Omgeving (DOMG) een rekenmodel dat werd geïntegreerd in twee implementaties. In het huidige onderzoek wordt de blootstelling berekend met dat model en worden de resultaten vergeleken met (1) metingen op het terrein nabij hoogspanningslijnen en (2) berekeningen van een ander, commercieel model.

De resultaten uit de metingen en uit de berekeningen met de DOMG rekenimplementaties stemmen in voldoende mate wanneer we rekening houden met de onzekerheden die intrinsiek zijn aan de uitvoering van dergelijke metingen en berekeningen.

De overeenkomst tussen de berekening door de DOMG rekenimplementaties en door een commercieel beschikbaar rekenmodel is ook goed.

Het rekenmodel dat Departement Omgeving gebruikt voor de berekening van magnetische velden nabij hoogspanningslijnen in Vlaanderen is bijgevolg succesvol gevalideerd ten opzichte van gemeten veldwaarden en onafhankelijk berekende veldwaarden.

Dit rapport bevat de mening van externe auteur(s) en niet noodzakelijk die van de Vlaamse overheid.

#### **COLOFON**

#### Verantwoordelijke uitgever

Peter Cabus Departement Omgeving Koning Albert II-laan 20 bus 8, 1000 Brussel www.omgevingvlaanderen.be

Een uitgave van het Departement Omgeving, Vlaams Planbureau voor Omgeving vpo.omgeving@vlaanderen.be

#### Auteurs

Mart Verlaek - Departement Omgeving, Vlaams Planbureau voor Omgeving Liesbeth Gommé - Departement Omgeving, Vlaams Planbureau voor Omgeving Michel Goethals - Departement Omgeving, Vlaams Planbureau voor Omgeving Tine Van Hoof - Departement Omgeving, Vlaams Planbureau voor Omgeving Niels De Kempeneer - Departement Omgeving, Vlaams Planbureau voor Omgeving Sophie Van Mulder - Departement Omgeving, Vlaams Planbureau voor Omgeving Karen Van Campenhout – Departement Omgeving, Vlaams Planbureau voor Omgeving Met dank aan Elsie Fauconnier (Departement Omgeving, Vlaams Planbureau voor Omgeving) voor de opmaak van de figuren in QGIS.

#### Publicatiedatum

06/07/2023

### Depotnummer

D/2023/3241/255

#### Wijze van citeren

Verlaek M., Gommé L., Goethals M., Van Hoof T., De Kempeneer N., De Mulder S., Van Campenhout K. (2023), Validatie van het rekenmodel voor de berekening van magnetische velden nabij hoogspanningslijnen.

#### PARTNERS



# INHOUDSTAFEL

Afkorting	gen	5
Opbouw	van het rapport	6
1	Inleiding	7
1.1	Aanleiding	7
1.2	Aanpak	7
1.3	Wat zijn Magnetische velden en limietwaarden voor blootstelling	8
2	Rekenimplementaties van Departement Omgeving voor de magnetische veld bereker	ning10
3	Vergelijking tussen model en metingen	11
3.1	Introductie	11
3.2	Opzetten van de veldmetingen	11
3.2.1	Selectie van de meetsites	11
3.2.2	Meetapparatuur	14
3.2.3	Meetmethode	15
3.3	Onzekerheden in de vergelijking tussen model en meting	16
3.3.1	Vergelijking tussen de twee meettoestellen voor magnetische velden	16
3.3.2	Onzekerheden te wijten aan locatiebepaling met behulp van GPS	17
3.3.3	Onzekerheden te wijten aan geometrische karakteristieken	18
3.3.4	Onzekerheden te wijten aan de gerapporteerde stroombelasting	18
3.3.5	Conclusie inzake onzekerheden in de vergelijking tussen model en meting	18
3.4	Vergelijking tussen de gemeten en de gemodelleerde veldwaarden	19
3.4.1	Metingen en berekeningen voor Damme (380kV Stevin lijn)	19
3.4.2	Metingen en berekeningen voor Harelbeke (380kV lijn Avelgem-Izegem)	21
3.4.3	Metingen en berekeningen voor Evergem (150kV lijn tussen Langerbrugge-Brugge)	24
3.5	Conclusie vergelijking van gemeten en gemodelleerde veldwaarden	25
4	Vergelijking met een onafhankelijk model	26
4.1	Introductie	26
4.2	Vergelijking tussen de gemodelleerde veldwaarden	26
4.2.1	De compacte vakwerkmast	27
4.2.2	De CompactLine	28
4.2.3	De wintrack	29
4.2.4	Vergelijking tussen alle berekende masttypes	30
4.3	Conclusie modelvalidatie met behulp van onafhankelijk model	31
5	Besluit	32
Referent	ies	33

# **AFKORTINGEN**

CAD	Computer Aided Design
DOMG	Departement Omgeving
EHP	Electric and Magnetic Field Probe Analyzer
ELF	Extreem Lage Frequentie
ELT	Exposure Level Tester
EMF	Electro Magnetic Field
EPRI	Electric Power Research Institute
GIS	Geografisch Informatie Systeem
Gmsh	Open source mesh generator
GPS	Global positioning system
GRB	Grootschalig Referentiebestand
ICNIRP	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection
QGIS	Quantum-GIS: open source geografisch informatiesysteem (GIS)
Vlarem	Vlaams Reglement betreffende de Milieuvergunning

# **OPBOUW VAN HET RAPPORT**

Dit rapport bestaat uit 5 delen. Het **inleidende deel** bespreekt het nut van deze studie, namelijk nagaan of het rekenmodel dat Departement Omgeving gebruikt, de werkelijke blootstelling voldoende nauwkeurig benadert. Daarnaast geeft het kort de globale aanpak weer en biedt het achtergrondinformatie over magnetische golven afkomstig van hoogspanningslijnen.

Het **tweede deel** behandelt het rekenmodel dat Departement Omgeving gebruikt, met een bespreking van de twee verschillende implementaties. Met deze implementaties is Departement Omgeving in staat om de blootstelling langs volledige trajecten met hoogspanningslijnen te berekenen.

**Deel drie** gaat over de vergelijking van het rekenmodel van Departement Omgeving en de veldmetingen op drie aparte locaties, die een gevarieerde set aan meetlocaties opleverde en die het hoogspanningsnet in Vlaanderen gepast vertegenwoordigen. Naast de bespreking van het opzetten van de veldmetingen, en resultaten, gaat er ook aandacht naar de onzekerheden in bepaalde omstandigheden en input-gegevens. Hierdoor kunnen er verklaarbare en aanvaardbare verschillen optreden tussen de resultaten van het model en de metingen.

**Deel vier** vertrekt van de berekeningen van een commercieel rekenmodel en vergelijkt die met de berekeningen van het rekenmodel dat bij Departement Omgeving gebruikt wordt. Er worden 7 verschillende masttypes vergeleken.

Tot slot eindigen we **in deel vijf** met een aantal conclusies.

# **1** INLEIDING

## 1.1 AANLEIDING

Hoogspanningslijnen vervoeren elektriciteit van productiecentrales naar grote industriële verbruikers en distributienetbeheerders, die uiteindelijk de elektriciteit verder verdelen naar de huishoudens en andere vragers. Wanneer er elektrische stroom door de geleiders van hoogspanningslijnen loopt, ontstaan er magnetische en elektrische golven met een extreem lage frequentie (ELF).

Doorheen de jaren krijgt Departement Omgeving regelmatig vragen over de blootstelling aan magnetische velden. Daarom is Departement Omgeving (DOMG) in 2017 gestart met de ontwikkeling van een rekentoepassing voor de magnetische velden die afkomstig zijn van hoogspanningslijnen. Aangezien het niet haalbaar is om voor Vlaanderen de blootstelling op te meten in de buurt van alle hoogspanningslijnen biedt een rekenmodel een degelijk alternatief.

De mogelijkheid om de blootstelling te berekenen laat Departement Omgeving toe om onderbouwd en transparant te communiceren. Zo kunnen we op vragen van burgers en andere betrokken actoren antwoorden, wat bijdraagt tot het wegnemen van ongerustheid. Wanneer omwonenden van een hoogspanningslijn willen weten wat de blootstelling aan magnetische velden is, kunnen ze een berekening bij Departement Omgeving aanvragen. Die blootstelling wordt met behulp van het rekenmodel bepaald. Op een onafhankelijke manier maakt Departement Omgeving de blootstelling voor omwonenden op deze manier inzichtelijk.

## 1.2 AANPAK

Het doel van deze studie is om na te gaan of de berekeningen van magnetische velden door hoogspanningslijnen aan de hand van het rekenmodel gebruikt bij DOMG voldoende nauwkeurig de werkelijke blootstelling benaderen. Wanneer het rekenmodel succesvol gevalideerd wordt, kan Departement Omgeving het inzetten voor nauwkeurige blootstellingsbepaling aan ELF daar waar metingen niet altijd mogelijk zijn.

Om te onderzoeken of de berekeningen van het rekenmodel een degelijk alternatief bieden voor veldmetingen, worden verschillende vergelijkingen gemaakt via: (1) metingen van het veld nabij hoogspanningslijnen en (2) berekeningen door een ander en onafhankelijk rekenmodel. Dankzij deze tweeledige vergelijking zal het rekenmodel gebruikt bij DOMG op een solide wijze geëvalueerd worden. Dit opzet wordt geschetst in de schematische voorstelling in **Figuur 1**. Het rekenmodel, dat we wensen te vergelijken, werd geïntegreerd in 2 rekenimplementaties, nl. de Gmsh implementatie en de Geografisch Informatie Systeem (GIS) implementatie. Deze twee implementaties gebruikt DOMG om magnetische velden te berekenen nabij hoogspanningslijnen.

We starten met de vergelijking tussen de berekeningen door het rekenmodel dat DOMG gebruikt en de metingen. We selecteren daarvoor drie meetsites in Vlaanderen waar de WAVES onderzoeksgroep van het departement Informatie Technologie van de Universiteit Gent en IMEC veldmetingen hebben uitgevoerd. Het gaat om locaties in Damme, Harelbeke-Deerlijk en Evergem.

Omdat de stroombelasting een onontbeerlijke inputparameter is voor het rekenmodel maken we hiervoor gebruik van metingen van de stroombelasting op de dag van de meting voor de opgemeten hoogspanningslijnen. Netbeheerder Elia stelde deze gegevens ter beschikking. Ook volgende gegevens worden ingevoerd in het rekenmodel: geometrieën (configuratie hoogspanningsmasten, doorhangen van de geleiders, afstand tussen de masten...) en circuits (spanningsniveaus, stroombelasting, de schikking van de fasen ..).

Vervolgens vergelijken we de berekeningen door het rekenmodel dat DOMG gebruikt met berekeningen door een commercieel beschikbaar rekentool, namelijk het EMF Workstation van Electric Power Research Institute (EPRI), [1]. Aangezien DOMG niet beschikt over een dergelijke commerciële tool is het voor de vergelijking nodig om simulatie data te gebruiken, die een externe partij, nl. de netbeheerder Elia, ter beschikking stelt. Met beide modellen worden volgende 7 verschillende masttypes doorgerekend: compacte vakwerkmast, standaard vakwerkmast, wintrack, eagle tower, T-pylon, compactline en meiklokje. Dit gebeurt bovendien met identieke specificaties betreffende de geometrie van de torens, de stroombelasting, het spanningsniveau en de doorhangen van de geleiders.



Figuur 1: Schematische voorstelling van het opzet van dit rapport

## 1.3 WAT ZIJN MAGNETISCHE VELDEN EN LIMIETWAARDEN VOOR BLOOTSTELLING

Hoogspanningsinstallaties in wisselstroom creëren elektromagnetische velden die een combinatie zijn van elektrische en magnetische golven met een extreem lage frequentie. De hoogspanningsinstallaties in Europa produceren velden met een frequentie van 50 Hz.

Het spanningsniveau van de hoogspanningslijnen in Vlaanderen varieert tussen de 30 en 380 kV. Als uitbater van het hoogspanningsnet vervoert Elia elektriciteit vanuit de productiecentrales, via het hoogspanningsnet, naar de distributienetbeheerders en de grote industriële verbruikers.

Wanneer er elektrische stroom door de geleiders van hoogspanningslijnen loopt, ontstaan er magnetische velden. De eenheid van magnetisch veld is ampère per meter (A/m). Meestal gebruikt men echter Tesla (T), die de eenheid is voor magnetische flux inductie en gehanteerd wordt in internationale richtlijnen en aanbevelingen. Deze grootheden verhouden zich rechtstreeks tot elkaar en in dit rapport zullen we de grootte van het magnetisch veld<sup>1</sup> uitdrukken in microtesla ( $\mu$ T).

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> In het rapport gebruiken we de benaming magnetisch veld dus ook wanneer we het in feite over de magnetische flux inductie in Tesla hebben.

Het magnetisch veld dat gegenereerd wordt op een punt in de omgeving van de hoogspanningslijn, is afhankelijk van de sterkte van de stroom die door de geleiders vloeit, de afstand tot de geleiders en de configuratie van masten en geleiders. De waarde van het magnetisch veld neemt snel af naarmate de afstand tot de geleiders toeneemt (**Figuur 2**).



**Figuur 2**: Simulatievoorbeeld ter illustratie van de afname van het magnetisch veld B[µT] onder een hoogspanningslijn, berekend door DOMG met behulp van de gmsh rekenimplementatie van de Université de Liège (Geuzaine and Remacle 2009; Geuzaine et al. 2012).

Er gelden richtlijnen en aanbevelingen om de grootte van het magnetisch veld, die de elektrische stroom veroorzaakt, te beperken. Deze situeren zich zowel op internationaal, Europees en gewestelijk vlak **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**, [4][5].

In Frankrijk, Duitsland en het Verenigd Koninkrijk is de limietwaarde voor acute blootstelling gelijk aan 100  $\mu$ T. Dit is in lijn met de Europese aanbeveling 1999/519 die gebaseerd is op de aanbevelingen van ICNIRP in 1998. In Nederland zijn er geen bindende nationale grenswaarden voor magnetische velden.

In Vlaanderen loopt er op dit moment een wetgevingstraject om een norm van 100  $\mu$ T voor acute blootstelling op te nemen in Vlarem. Er wordt een bindend afsprakenkader uitgewerkt om langdurige (chronische) blootstelling aan magnetische velden van meer dan 0,4  $\mu$ T zoveel mogelijk te beperken.

#### Eenheden en prefixen

V	Volt	Elektrische spanning
E	Volt/m	Elektrisch veld

А	Ampère	Stroomsterkte
A/m	Ampère/m	Magnetische veldsterkte
Т	Tesla	Magnetische inductie

Hz Hertz	Frequentie
----------	------------

k	kilo	10 <sup>3</sup>
μ	micro	10-6

# 2 REKENIMPLEMENTATIES VAN DEPARTEMENT OMGEVING VOOR DE MAGNETISCHE VELD BEREKENING

In dit hoofdstuk bespreken we de twee implementaties van een rekenmodel waarover DOMG beschikt voor de berekening van magnetische velden door hoogspanningslijnen die instaan voor het transport en de distributie van elektriciteit nl. (1) de Gmsh implementatie en (2) de GIS implementatie.

De eerste implementatie die DOMG gebruikt om de grootte van het magnetisch veld te bepalen werd ontwikkeld door de Université de Liège ([6],[7]) en wordt in dit rapport geciteerd als de "Gmsh implementatie".

Gmsh is een open source 3D eindige elementen mesh generator met een ingebouwd Computer Aided Design (CAD) systeem. Gmsh bevat een grafische gebruikersinterface (GUI) en kan simulatiecode aansturen via ONELAB. In **Figuur** 2wordt een simulatievoorbeeld getoond van het magnetisch veld  $B[\mu T]$  onder een hoogspanningslijn berekend door DOMG met behulp van Gmsh.

De Gmsh implementatie past de vergelijkingen van Maxwell toe om de magnetische velden te berekenen en deze vormen de onderliggende modellering van magnetische velden in deze implementatie.

Volgende gegevens worden in de Gmsh implementatie ingevoerd:

- i. geometrieën (configuratie hoogspanningsmasten, doorhangen van de geleiders, afstand tussen de masten...)
- ii. circuits (spanningsniveaus, stroombelasting, de schikking van de fasen (transpositie) ..)

De tweede implementatie die DOMG gebruikt om de grootte van het magnetisch veld te bepalen werd in 2017 ontwikkeld in samenwerking met de WAVES onderzoeksgroep van het departement Informatie Technologie van de Universiteit Gent en IMEC en wordt in dit rapport geciteerd als de "GIS implementatie"<sup>2</sup>. Deze GIS implementatie heeft de Gmsh rekentool als bouwsteen maar vormt daarnaast een uitbreiding omdat het toelaat om volledige hoogspanningstrajecten door te rekenen.

Deze GIS implementatie is in feite een QGIS plug-in die het magnetisch veld kan bepalen alsook de magneetveldzone waar meer dan 0.4  $\mu$ T aan magnetisch veld voorkomt bij volledige trajecten met bovengrondse hoogspanningslijnen. Deze zone stemt dus overeen met velden hoger dan de richtwaarde van 0,4 $\mu$ T voor chronische blootstelling (zie paragraaf 1.3).

Volgende gegevens worden in de GIS implementatie ingevoerd:

- i. geospatiale vectorgegevensbestanden met de locatie van torens en bovengrondse lijnen
- ii. informatie over de geometrie van de toren
- iii. stroombelasting, transpositie en doorhangen van de geleiders

In de plug-in worden deze inputgegevens omgezet naar parameters voor Gmsh om met behulp van de gmsh modellering door te rekenen en vervolgens de output terug in te voeren in QGIS.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Er wordt momenteel gewerkt aan een update van de GIS implementatie die toelaat om de magnetische velden te berekenen in het geval van asymmetrische stroombelasting zoals voorzien in de Gmsh implementatie.

# **3 VERGELIJKING TUSSEN MODEL EN METINGEN**

## 3.1 INTRODUCTIE

In dit hoofdstuk bespreken we de eerste vergelijking tussen de berekeningen van het magnetische veld aan de hand van het rekenmodel dat DOMG gebruikt en de metingen van het veld nabij hoogspanningslijnen. We schetsen eerst het opzetten van de veldmetingen met de selectie van drie meetsites in Vlaanderen, de keuze van de meetapparatuur en de gevolgde meetmethode. Vervolgens overlopen we de onzekerheden in de vergelijking tussen model en meting waarmee we rekening moeten houden. Tenslotte maken we de vergelijking tussen de gemodelleerde en gemeten waarden en bespreken we de resultaten.

## 3.2 OPZETTEN VAN DE VELDMETINGEN

Op drie locaties in Vlaanderen werden metingen nabij hoogspanningslijnen uitgevoerd door de WAVES onderzoeksgroep van het departement Informatie Technologie van de Universiteit Gent en IMEC.

De locaties worden in detail besproken in paragraaf 3.2.1. De metingen werden uitgevoerd met de apparatuur beschreven in paragraaf 0 en volgens de meetprocedure in paragraaf 0.

### 3.2.1 Selectie van de meetsites

Er werden op volgende drie locaties in Vlaanderen metingen uitgevoerd: Damme (3.2.1.1), Harelbeke - Deerlijk (3.2.1.2) en Evergem (3.2.1.3).

Voor de opgemeten hoogspanningslijnen is de configuratie van de masten digitaal beschikbaar bij DOMG. Met deze digitale gegevens kunnen de rekenimplementaties achteraf de velden berekenen. Verder werden meetsites geselecteerd nabij zowel 380kV als 150kV hoogspanningslijnen zodat trajecten met verschillende stroombelasting meegenomen worden in deze studie, alsook trajecten die al dan niet uitgerust zijn met de nieuwste types geleiders en met fasen in transpositie<sup>3</sup>. Op deze manier komen we tot een gevarieerde set meetlocaties die het hoogspanningsnet in Vlaanderen gepast vertegenwoordigen. Ook de toegankelijkheid van de meetlocatie speelde een rol in de selectie van de meetsites aangezien de meetopstelling vlot geplaatst moet worden op verschillende afstanden tot de lijn. De metingen werden uitgevoerd tijdens de kantooruren op werkdagen.

Bovendien worden metingen van de stroombelasting op de dag van de meting voor de opgemeten hoogspanningslijnen ter beschikking gesteld door de netbeheerder omdat deze noodzakelijk zijn om in te voeren in het rekenmodel.

Het <u>Grootschalig Referentiebestand</u> (GRB) is een digitale topografische referentiekaart van Vlaanderen en wordt gebruikt als geografische basis bij de berekeningen. Een kaartlaag in GIS met de hoogspanningslijnen in Vlaanderen wordt ons ter beschikking gesteld door de netbeheerder.

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Transpositie is de optimalisering van de fasen in de verschillende circuits van een hoogspanningslijn om de magneetveldzone te verminderen.

#### 3.2.1.1 Damme (380kV Stevin lijn)

Er wordt in de meetdata gezocht naar een sequentie aan posities waarvoor de gerapporteerde stroombelasting geen grote fluctuaties vertoont (zie 3.3.4). Dit leidt tot de selectie van een deel van de metingen tussen mast 65 en 66 en tussen mast 67 en 68 in **Figuur 3** waarvoor de fluctuaties in de stroombelasting slechts 1 tot 3% bedroegen tijdens het onderzochte meetvenster.

De stroombelasting tussen de circuits varieerde onderling voor ditzelfde meetvenster tussen 17 en 22%.

De sequentie aan posities is - in de mate van het mogelijke - ook zo gekozen dat de posities quasi loodrecht op de richting van de hoogspanningslijn liggen om het verloop van hoge naar lage veldwaarden mee te nemen in de vergelijking. De weerhouden metingen worden opgelijst in Tabel 1.



Figuur 3: 380kV Stevin meetlocaties in Damme

	Damme (380kV Stevin lijn)			
	Tussen mast 65 - 66	Tussen mast 67 - 68		
Aantal posities	14	9		
Gemeten tijdstip	11:53 - 11:57	15:45 - 15:47		
Stroombelasting per circuit (Ampère)	415.9 / 334.2	426.2 / 361.3		

Tabel 1: Weerhouden metingen bij 380kV Stevin lijn in Damme

### 3.2.1.2 Harelbeke en Deerlijk (380kV lijn Avelgem-Izegem)

Ook hier wordt in de meetdata gezocht naar een sequentie aan posities waarvoor de gerapporteerde stroombelasting geen grote fluctuaties vertoont. Dit leidt tot de selectie van metingen langs de Kuurnestraat in Harelbeke tussen mast 41 en 42 in **Figuur 4** waarvoor de stroombelasting constant is tijdens het onderzochte meetvenster.

Bovendien varieerde de stroombelasting tussen de circuits onderling voor ditzelfde meetvenster minder dan 1%.

De sequentie aan posities is - in de mate van het mogelijke - ook zo gekozen dat de posities quasi loodrecht op de richting van de hoogspanningslijn liggen om het verloop van hoge naar lage veldwaarden mee te nemen in de vergelijking. De weerhouden metingen worden opgelijst in **Tabel 2**.



Figuur 4: 380kV lijn tussen Avelgem-Izegem ter hoogte van de meetlocaties in Harelbeke en Deerlijk

	Harelbeke en Deerlijk (380kV lijn Avelgem-Izegem)			
	Harelbeke – Kuurnestraat	Harelbeke – Kuurnestraat in zuidwestelijke richting		
	in noordoostelijke richting			
Aantal posities	28	32		
Gemeten tijdstip	11:34 - 11:47	11:47 - 11:55		
Stroombelasting per circuit (Ampère)	147.9/147.9	147.9/147.9		

Tabel 2: Weerhouden metingen bij 380kV lijn tussen Avelgem-Izegem

#### 3.2.1.3 Evergem (150kV lijn tussen Langerbrugge-Brugge)

Er wordt in de meetdata gezocht naar een sequentie aan posities waarvoor de gerapporteerde stroombelasting geen grote fluctuaties vertoont. Dit leidt tot de selectie van een deel van de metingen tussen mast 7 en 8 in Evergem in **Figuur 5** waarvoor de fluctuaties in de stroombelasting slechts 1 tot 5% bedroegen tijdens het onderzochte meetvenster.



Figuur 5: 150kV lijn tussen Langerbrugge-Brugge ter hoogte van de meetlocaties in Evergem

Bovendien varieerde de stroombelasting tussen de geleiders onderling voor ditzelfde meetvenster slechts tussen 1 en 4%.

De sequentie aan posities is - in de mate van het mogelijke - ook zo gekozen dat de posities quasi loodrecht op de richting van de hoogspanningslijn liggen om het verloop van hoge naar lage veldwaarden mee te nemen in de vergelijking. De weerhouden metingen worden opgelijst in **Tabel 3**.

	Evergem (150kV lijn tussen Langerbrugge-Brugge)		
	Tussen mast 7 - 8		
Aantal posities	12		
Gemeten tijdstip	14:57 - 15:01		
Stroombelasting per circuit (Ampère)	19.7 / 20.2		

Tabel 3: Weerhouden metingen bij 150kV lijn tussen Langerbrugge-Brugge

#### 3.2.2 Meetapparatuur

Onderstaande meetapparatuur werd door de WAVES onderzoeksgroep gebruikt bij de metingen:

Breedbandige magnetische veldprobe

- Type: Narda ELT-400 met 100 cm<sup>2</sup> probe [8]
- Dynamisch bereik magnetisch veld: 60 nT tot 80 mT (4,8 mA/m tot 64 kA/m)
- Frequentiebereik: 1 Hz 400 kHz

H-veld analyzer

- Type: Narda EHP-50 [9]
- Dynamisch bereik magnetisch veld: 1 nT tot 10 mT (0,79 mA/m tot 8 kA/m)
- Frequentiebereik: 5 Hz 100 kHz
- Dimensies probe: 92 x 92 x 109 mm<sup>3</sup>

#### Locatiebepaling

- Applicatie 'GPS logger' op een Oppo smartphone
- Lasermeter Leica Disto D810 en rolmeter

### 3.2.3 Meetmethode

De meetprobes worden telkens gepositioneerd op een houder op 1,5 m boven het maaiveld.

Met de EHP-50 probe kan eerst frequentie-selectief gemeten worden om na te gaan welke frequentiecomponenten significant aanwezig zijn binnen het relevante laagfrequente spectrum. Voor hoogspanningslijnen vindt men de 50 Hz component en zijn harmonischen terug bij meting in een frequentiebereik van 5 tot en met 500 Hz.

Indien uit de EHP-50 meting blijkt dat het magnetisch veld gegenereerd door de hoogspanningslijn dominant is t.o.v. achtergrondsignalen en de harmonischen, dan kan de breedbandige ELT-400 probe gebruikt worden om het magnetische veld te bepalen op deze meetpositie.

De toestellen zijn uitgerust met RMS-detector en de metingen werden met deze instelling uitgevoerd. De aflezing gebeurde in 'maximum hold mode' waarbij de maximale waarde genomen wordt gedurende een in te stellen 'maximum hold tijd'.

De positie van de meetlocaties wordt zo nauwkeurig mogelijk bepaald zodat voor elke locatie nadien het meetresultaat kan vergeleken worden met de berekening op deze locatie aan de hand van de GISen gmsh-implementatie. Voor de bepaling van de meetlocatie wordt gebruik gemaakt van de applicatie 'GPS logger' op een Oppo smartphone, in combinatie met een rolmeter en een lasermeter (Leica Disto D810) voor afstandsmetingen tot referentiepunten. Bij de data verwerking nadien worden de GPS-coördinaten geverifieerd met de werkelijke positie zoals te zien op de GRB-kaart (incl. laag van de luchtfoto's) en indien nodig gecorrigeerd.

Afhankelijk van de stroomvraag door gebruikers en de stroomproductie door elektriciteitsproducenten kunnen er pieken optreden in de vervoerde stroom door de geleiders van hoogspanningslijnen. Door deze wisselende stroombelasting in de geleiders treden er bijgevolg ook variaties in het magnetisch veld op. Met de meetprobes worden de veldwaarden op een bepaald tijdstip van de dag opgemeten en van de netbeheerder ontvangen we daarom de stroombelasting van de lijn per gemeten kwartier op de dag van de meting.

## 3.3 ONZEKERHEDEN IN DE VERGELIJKING TUSSEN MODEL EN METING

In dit onderdeel maken we een analyse van de onzekerheden waarmee we rekening moeten houden wanneer we een vergelijking wensen te maken tussen de berekende en de gemeten waarden van het magnetisch veld nabij hoogspanningslijnen.

#### 3.3.1 Vergelijking tussen de twee meettoestellen voor magnetische velden

Hieronder maken we de vergelijking tussen de twee meettoestellen die in deze studie gebruikt worden: de EHP-50 en de ELT-400 probe. De vergelijking van gemeten veldwaardes met beide toestellen zal gebeuren aan de hand van een afwijking in dB met als formule:

$$Afwijking [dB] = |20log_{10} \left( \frac{B_{EHP50}}{B_{ELT400}} \right)|$$

Waarbij B<sub>EHP50</sub> de veldwaarde is gemeten met de EHP-50 probe en B<sub>ELT400</sub> met de ELT400 probe.

De meetwaarde van het magnetische veld werd met beide toestellen op dezelfde positie opgemeten en het verschil tussen beide waarden wordt hieronder afgebeeld. De resultaten werden voor de 3 meetsites in 3.2.1 gegroepeerd in **Figuur 6**. De maximale afwijking tussen beide toestellen bedraagt 2dB, de gemiddelde afwijking tussen beide toestellen bedraagt 0.6dB.

We besluiten dat er een onzekerheid op de gemeten waarde bestaat die tot 2dB kan bedragen en die afkomstig is van de keuze van het meettoestel.



Figuur 6: De afwijking in dB tussen het magnetisch veld gemeten met de EHP50 en de ELT400 probe

### 3.3.2 Onzekerheden te wijten aan locatiebepaling met behulp van GPS

Daarnaast worden meetwaarden, die vlakbij elkaar liggen, vergeleken om de meetonzekerheid die te wijten is aan onnauwkeurige GPS-locatiebepaling te schatten.

Deze meetwaarden werden gecapteerd met de ELT400 probe op de blauwe markers op de afbeelding hieronder (**Figuur 7**). De magnetische veldsterkte wordt dus gemeten op vijf coördinaten: op de meetlocatie zelf, en op de vier uiteinden van een kruis (a, b, c en d) met armen van 1 meter met de oorspronkelijke meetlocatie als middelpunt.



Figuur 7: Meting volgens op vijf punten volgens een kruis met armen van 1 m met de meetlocatie als middelpunt.

Het verschil tussen elk van de 4 meetwaarden op a, b, c en d en de centerpositie zelf wordt hieronder afgebeeld als een afwijking in dB,

$$Afwijking \ [dB] = |20log_{10}\left(\frac{B_{\chi}}{B_{center}}\right)|$$

Waarbij  $B_x$  de veldwaarde is gemeten op positie a, b, c en d en  $B_{center}$  op de centerpositie. De resultaten werden voor de 3 meetsites in 3.2.1 gegroepeerd in **Figuur 8**. De maximale afwijking tussen de 4 locaties op 1m van elkaar verwijderd bedraagt 1.1dB.

De nauwkeurigheid waarmee de locatie bepaald wordt aan de hand van de smartphone app 'GPS logger' kan echter enkele meters i.p.v. 1m bedragen. De afwijking op de meetwaarde die te wijten is aan de bepaling van de locatie (waarop nadien ook de berekening gebeurt) zal minstens 1.1dB bedragen.



Figuur 8: De afwijking in dB tussen het magnetisch veld gemeten op de 5 punten volgens in Figuur 7.

#### 3.3.3 Onzekerheden te wijten aan geometrische karakteristieken

Bij het berekenen van de magnetische velden met Gmsh en GIS worden verschillende geometrische karakteristieken van pylonen en geleiders en gegevens van de overspanning ingevoerd.

Wanneer deze karakteristieken niet nauwkeurig gekend zijn, kunnen ze een vertekend beeld geven van de gesimuleerde blootstelling.

Enkele voorbeelden van deze karakteristieken zijn,

- De mate van doorhangen van de geleiders;
- De lengte van de armen waaraan de geleiders bevestigd zijn;
- De verticale afstand tussen de geleiders onderling;
- De coördinaten van de pylonen.

In dit rapport simuleren we bovendien met de worst-case doorhang van de geleiders. Dit wil zeggen dat de geleiders op hun laagste punt bij de grond zijn op de positie halverwege tussen twee pylonen, wat zal resulteren in de hoogste waarde qua blootstelling. De temperatuur van de geleiders bepaalt echter het uitzetten of doorhangen en deze temperatuur wordt beïnvloed door de buitentemperatuur en de stroombelasting door de geleiders.

#### 3.3.4 Onzekerheden te wijten aan de gerapporteerde stroombelasting

De stroombelasting die ingevoerd wordt in de rekenimplementaties van DOMG wordt slechts per kwartier gerapporteerd. Afhankelijk van de stroomvraag en de stroomproductie kunnen er echter pieken optreden in de vervoerde stroom door de geleiders van hoogspanningslijnen en deze worden niet geregistreerd in de stroomwaarden per kwartier. Dit kan leiden tot een onderschatting van de blootstelling door de rekenimplementaties op het ogenblik van de meting.

Daarom wordt in de meetdata gezocht naar een sequentie aan posities waarvoor de gerapporteerde stroombelasting over de kwartieren heen alvast geen grote fluctuaties vertoont om zo in de mate van het mogelijke stroompieken te vermijden in de geselecteerde metingen en de blootstelling correct te benaderen.

#### 3.3.5 Conclusie inzake onzekerheden in de vergelijking tussen model en meting

Wanneer we een vergelijking wensen te maken tussen de berekende en de gemeten waarden van het magnetisch veld nabij hoogspanningslijnen moeten we dus rekening houden met volgende onzekerheden die kunnen leiden tot een afwijking tussen berekende en gemeten waarde:

- Zo bestaat er een onzekerheid op de gemeten waarde die tot 2dB kan bedragen en die afkomstig is van de keuze van het meettoestel.
- Daarnaast kan er door de onnauwkeurigheid waarmee de meetpositie bepaald wordt een afwijking op de meetwaarde zijn die minstens 1.1dB kan bedragen.
- Bij het berekenen van de magnetische velden met de Gmsh en GIS-rekenimplementaties worden verschillende geometrische karakteristieken van pylonen en geleiders en gegevens van de overspanning ingevoerd. Wanneer deze karakteristieken niet nauwkeurig gekend zijn of er worst-case gerekend wordt, kunnen ze een vertekend beeld geven van de gesimuleerde blootstelling.

• Doordat de stroombelasting slechts per kwartier gerapporteerd wordt, worden pieken in de vervoerde stroom door de geleiders niet geregistreerd en kan de gesimuleerde blootstelling op basis van die stroombelasting een onderschatting zijn.

## 3.4 VERGELIJKING TUSSEN DE GEMETEN EN DE GEMODELLEERDE VELDWAARDEN

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de veldmetingen die beschreven zijn in deel 3.2 vergeleken met berekeningen die Departement Omgeving doorvoert met de Gmsh-implementatie en de GISimplementatie (zie hoofdstuk 2).

De vergelijking van de gemeten en gemodelleerde veldwaarden zal gebeuren aan de hand van een afwijking in dB met als formule:

$$Afwijking \ [dB] = |20log_{10}\left(\frac{B_{model}}{B_{ELT400}}\right)|$$

Waarbij  $B_{ELT400}$  de gemeten veldwaarde is en  $B_{model}$  de gemodelleerde veldwaarde bekomen met de Gmsh of GIS-rekenimplementatie.

### 3.4.1 Metingen en berekeningen voor Damme (380kV Stevin lijn)

Voor deze meetsite zal er een vergelijking gemaakt worden tussen de resultaten van de metingen en van de berekeningen met de gmsh-rekenimplementatie. De vergelijking in **Figuur 9** is gebeurd voor de zone tussen mast 65 en 66 in **Figuur 3Figuur**. We zien over het algemeen een aanvaardbare overlap tussen meting en berekening met de Gmsh-rekenimplementatie gelet op de onzekerheden geduid in deel 3.3.

De overschatting in Gmsh bij de hogere veldwaarden (circa 0.5uT), dicht bij het midden van de lijn (10 meter), is gedeeltelijk te wijten aan het simuleren met de worst-case doorhang van de geleiders gezien we geen zicht hebben op de doorhang op het ogenblik van de meting. Eenmaal verder weg van de lijn vanaf 25m is er een beperkte onderschatting door het Gmsh-rekenmodel (bij 1 uT). Voor magnetische velden boven 0.4uT, die hier tot 50m van het midden van de lijn voorkomen, bedraagt de afwijking tussen meting en berekening echter minder dan 2dB zoals afgebeeld in **Figuur 10**.



Figuur 9: Vergelijking van het gemeten veld B\_ELT400 met het berekende veld B\_gmsh nabij mast 66 in Damme



Figuur 10: Afwijking tussen het gemeten veld B\_ELT400 en het berekende B\_gmsh in dB nabij mast 66 in Damme

Volgende vergelijking in **Figuur 11** is gebeurd voor de zone tussen mast 67 en 68 in **Figuur 3**. We zien over het algemeen een aanvaardbare overlap tussen meting en berekening in Gmsh gelet op de onzekerheden eerder aangehaald in deel 3.3. De afwijking tussen meting en berekening in **Figuur 12** bedraagt namelijk voor al de posities steeds minder dan 3dB.



Figuur 11: Vergelijking van het gemeten veld B\_ELT400 met het berekende veld B\_gmsh tussen mast 67 en 68 in Damme



Figuur 12: Afwijking tussen het gemeten veld B\_ELT400 en het berekende veld B\_gmsh in dB tussen mast 67 en 68 in Damme

De overschatting door het Gmsh-rekenmodel bij de hogere veldwaarden (tussen 0.5 en 0.8  $\mu$ T), dicht bij het midden van de lijn (-5 tot 5 meter), is opnieuw gedeeltelijk te wijten aan het simuleren met de worst-case doorhang van de geleiders. Bij het laatste meetpunt is er een erg beperkte onderschatting van 0.1 uT door het Gmsh-rekenmodel.

#### 3.4.2 Metingen en berekeningen voor Harelbeke (380kV lijn Avelgem-Izegem)

Voor deze meetsite is er een vergelijking gemaakt tussen de resultaten van de metingen en de berekeningen met de GIS-rekenimplementatie.

De vergelijking in **Figuur 13** is gebeurd voor de zone langs de Kuurnestraat vanaf het midden van de lijn in noordoostelijke richting (**Figuur 4**). We zien een gelijkaardig verloop tussen meting en berekening in GIS, rekening houdend met de onzekerheden in zowel de meting als de berekening eerder aangehaald in deel 3.3.



Figuur 13: Vergelijking van het gemeten veld B\_ELT400 met het berekende veld B\_gis in GIS langs de Kuurnestraat vanaf het midden van de lijn in noordoostelijke richting

Hoewel de GIS-implementatie dus een lagere waarde voorspelt dan de meting bedraagt de afwijking tussen deze meting en berekening hoogstens 1dB voor magnetische velden boven 0.4uT zoals afgebeeld in **Figuur 14** wat een aanvaardbaar resultaat is gelet op de onzekerheden aangehaald in deel 3.3.



Figuur 14: Afwijking tussen het gemeten veld B\_ELT400 en het berekende B\_gis langs de Kuurnestraat vanaf het midden van de lijn in noordoostelijke richting

De vergelijking in **Figuur 15** is gebeurd voor de zone langs de Kuurnestraat vanaf het midden van de lijn in zuidwestelijke richting (**Figuur 4**). We zien een gelijkaardig verloop tussen meting en berekening in GIS gelet op de onzekerheden in deel 3.3.

Hoewel het GIS-rekenmodel dus een lagere waarde voorspelt dan de meting bedraagt de afwijking tussen deze meting en berekening steeds minder dan 1dB voor magnetische velden boven 0.4uT zoals afgebeeld in **Figuur 16** wat een aanvaardbaar resultaat is gelet op de onzekerheden in deel 3.3.



Figuur 15: Vergelijking van het gemeten veld B\_ELT400 met het berekende veld B\_gis langs de Kuurnestraat vanaf het midden van de lijn in zuidwestelijke richting



Figuur 16: Afwijking tussen het gemeten veld B\_ELT400 en het berekende B\_gis langs de Kuurnestraat vanaf het midden van de lijn in zuidwestelijke richting

### 3.4.3 Metingen en berekeningen voor Evergem (150kV lijn tussen Langerbrugge-Brugge)

Voor deze meetsite is er een vergelijking gemaakt tussen de resultaten van de metingen en de berekeningen met de GIS-rekenimplementatie.

De vergelijking in **Figuur 19** is gebeurd voor de zone t.h.v. de Maagdekensstraat aangeduid in **Figuur 5**. We zien over het algemeen een goede overeenkomst en een gelijkaardig verloop tussen meting en berekening in GIS gelet op de onzekerheden aangehaald in deel 3.3.

De overschatting door de GIS-implementatie bij de hogere veldwaarden, dicht bij het midden van de lijn, is gedeeltelijk te wijten aan het simuleren met de worst-case doorhang van de geleiders gezien we geen zicht hebben op de doorhang op het ogenblik van de meting.



Figuur 17: Vergelijking van het gemeten veld B\_ELT400 met het berekende veld B\_gis t.h.v. de Maagdekensstraat 55

Voor magnetische velden boven 0.1uT, die hier tot 20m van het midden van de lijn voorkomen, bedraagt de afwijking tussen meting en berekening hoogstens 1dB zoals afgebeeld in **Figuur 20** wat een goed resultaat is gelet op de onzekerheden aangehaald in deel 3.3. Verder weg van de lijn vanaf 30m gaat het om lage waarden onder 0.06uT wat het ruisniveau van de ELT400 probe is (zie 0). Meetresultaten die onder de ruisvloer van de ELT400 liggen worden echter buiten beschouwing gelaten.



Figuur 18: Afwijking tussen het gemeten veld B\_ELT400 en het berekende B\_gis t.h.v. de Maagdekensstraat 55

# 3.5 CONCLUSIE VERGELIJKING VAN GEMETEN EN GEMODELLEERDE VELDWAARDEN

Op basis van de drie onderzochte meetsites concluderen we dat meting en berekening in voldoende mate overeenstemmen:

- Voor de vergelijking van de 380kV Stevin lijn in Damme vinden we dat de afwijking tussen meting en berekening minder dan 3dB bedraagt voor velden hoger dan 0.4uT.
- Voor de vergelijking van de 380kV lijn Avelgem-Izegem in Harelbeke vinden we dat de afwijking tussen meting en berekening minder dan 1dB bedraagt voor velden hoger dan 0.4uT.
- Voor de vergelijking van 150kV lijn Langerbrugge-Brugge in Evergem vinden we dat de afwijking tussen meting en berekening minder dan 1dB bedraagt voor velden hoger dan 0.1uT.

Wanneer we een vergelijking wensen te maken tussen de berekende en de gemeten waarden van het magnetisch veld nabij hoogspanningslijnen houden we namelijk rekening met een aantal onzekerheden die aanleiding kunnen geven tot een afwijking tussen berekende en gemeten waarde.

We observeren ook een significante overschatting van het magnetische veld door de rekenimplementaties bij de hogere veldwaarden en dichtbij het midden van de lijn. Dit is gedeeltelijk te wijten aan het simuleren met de worst-case doorhang van de geleiders waardoor de rekentool de blootstelling overschat. Het is aannemelijk dat we bij deze metingen in realiteit minder doorhang kenden zodat de gemodelleerde waarde dan ook zou verlagen en dichter aanleunen bij de meting.

We concluderen dus dat de overeenkomst tussen de meting en de berekening goed is wanneer we rekening houden met bovenstaande bespreking van de onzekerheden wanneer we gemeten en gemodelleerde veldwaarden willen vergelijken.

# **4 VERGELIJKING MET EEN ONAFHANKELIJK MODEL**

## 4.1 INTRODUCTIE

Naast de validatie van de rekenimplementaties van DOMG met meetdata nabij hoogspanningslijnen voeren we ook nog een validatie uit van de berekeningen met deze rekenimplementaties ten opzichte van een ander onafhankelijk ontwikkeld rekenmodel.

Zo gebruiken ook uitbaters van hoogspanningslijnen, zoals Elia, namelijk een rekenmodel voor het berekenen van de blootstelling in de omgeving van hoogspanningslijnen waarmee vergeleken kan worden. De software die Elia daar al jaren voor gebruikt is het EMF-workstation van EPRI [1] en de gemodelleerde veldwaardes uit de EPRI-tool in dit rapport werden ons ter beschikking gesteld door Elia.

### 4.2 VERGELIJKING TUSSEN DE GEMODELLEERDE VELDWAARDEN

De rekenmodellen werden aan de hand van 7 verschillende masttypes met elkaar vergeleken: compacte vakwerkmast, standaard vakwerkmast, wintrack, eagle tower, T-pylon, compactline en meiklokje. Beide rekenmodellen simuleren voor dezelfde spanning, stroom en configuratie van masten en geleiders voor de overspanning.

Hieronder bespreken we in detail de vergelijking voor drie verschillende masttypes (met name de compacte vakwerkmast, de compactline en de wintrack) en tonen we daarnaast de resultaten van de vergelijking voor alle masttypes in 4.2.4.

De vergelijking van de gemodelleerde veldwaarde in EPRI en gmsh zal gebeuren aan de hand van een afwijking in dB met als formule:

$$Afwijking \ [dB] = |20log_{10}\left(\frac{B_{EPRI}}{B_{gmsh}}\right)|$$

Waarbij B<sub>EPRI</sub> de gemodelleerde veldwaarde uit de EPRI-tool is en B<sub>gmsh</sub> de gemodelleerde veldwaarde bekomen met de gmsh-implementatie. Gezien het fysische model in de gmsh- en GIS rekenimplementatie hetzelfde is, volstaat het om de vergelijking van één van beide rekenimplementaties met de onafhankelijke EPRI-software door te voeren en kiezen we hiervoor de gmsh-rekenimplementatie.

### 4.2.1 De compacte vakwerkmast

De magnetische velden afkomstig van een compacte vakwerkmast werden hieronder berekend met beide rekenmodellen op basis van dezelfde input paramaters (spanningsniveau, stroombelasting, mastconfiguratie en doorhang) en op dezelfde positie ten opzichte van de masten. De berekeningen werden uitgevoerd bij nominale stroombelasting van de lijn en bij 30% van de nominale stroombelasting.

De vergelijking in **Figuur 19** toont dat er een goede overeenkomst is tussen beide rekenmodellen en dit in beide gevallen van stroombelasting.





Wanneer we **Figuur 20** bestuderen, stellen we vast dat voor afstanden tot 60m van het midden van de lijn - waar in dit geval de blootstelling hoger is dan 0.4uT bij 30% van de nominale stroombelasting - de afwijking tussen beide rekenmodellen gemiddeld 0.1dB en hoogstens 0.2dB bedraagt wat op een erg goede overeenkomst tussen de modellen duidt.



Figuur 20: Afwijking tussen gemodelleerde bloostelling met de EPRI tool en in gmsh in functie van afstand voor 30% van de nominale stroombelasting voor een compacte vakwerkmast bij blootstelling boven 0.4uT

### 4.2.2 De CompactLine

De magnetische velden afkomstig van een compactline werden hieronder berekend met beide rekenmodellen op basis van dezelfde input paramaters (spanningsniveau, stroombelasting, mastconfiguratie en doorhang) en op dezelfde positie ten opzichte van de masten. De berekeningen werden uitgevoerd bij nominale stroombelasting van de lijn en bij 30% van de nominale stroombelasting.

De vergelijking in **Figuur 21** toont dat er een goede overeenkomst is tussen beide rekenmodellen en dit in beide gevallen van stroombelasting.





Wanneer we **Figuur 22** bestuderen, stellen we vast dat voor afstanden tot 70m van het midden van de lijn - waar in dit geval de blootstelling hoger is dan 0.4uT bij 30% van de nominale stroombelasting - de afwijking tussen beide rekenmodellen gemiddeld 0.6dB en hoogstens 2.0dB bedraagt wat op een goede overeenkomst tussen de modellen duidt.



Figuur 22: Afwijking tussen gemodelleerde bloostelling met de EPRI tool en in gmsh in functie van afstand voor 30% van de nominale stroombelasting voor een CompactLine bij blootstelling boven 0.4uT

### 4.2.3 De wintrack

De magnetische velden afkomstig van een wintrack werden hieronder berekend met beide rekenmodellen op basis van dezelfde input paramaters (spanningsniveau, stroombelasting, mastconfiguratie en doorhang) en op dezelfde positie ten opzichte van de masten. De berekeningen werden uitgevoerd bij nominale stroombelasting van de lijn en bij 30% van de nominale stroombelasting.

De vergelijking in **Figuur 23** toont dat er een goede overeenkomst is tussen beide rekenmodellen en dit in beide gevallen van stroombelasting.



Figuur 23: Vergelijking van het gemodelleerde veld B [uT] in de EPRI tool en in gmsh in functie van afstand voor 2 waarden van stroombelasting voor een wintrack

Wanneer we **Figuur 24** bestuderen, stellen we vast dat voor afstanden tot 60m van het midden van de lijn - waar in dit geval de blootstelling hoger is dan 0.4uT bij 30% van de nominale stroombelasting - de afwijking tussen beide rekenmodellen gemiddeld 0.9dB en hoogstens 3.3dB bedraagt wat op een aanvaardbare overeenkomst tussen de modellen duidt.



Figuur 24: Afwijking tussen gemodelleerde bloostelling met de EPRI tool en in gmsh in functie van afstand voor 30% van de nominale stroombelasting voor een wintrack bij blootstelling boven 0.4uT

### 4.2.4 Vergelijking tussen alle berekende masttypes

In **Figuur 25** wordt de afwijking tussen gemodelleerde bloostelling met EPRI en de gmshimplementatie afgebeeld voor de verschillende masttypes in functie van afstand. In **Tabel 4** wordt de minimale, maximale en gemiddelde afwijking tussen gemodelleerde bloostelling met het EPRI en gmsh-model weergegeven voor de verschillende masttypes.

Globaal genomen over de verschillende masttypes zien we dat de afwijking tussen beide rekenmodellen bij 30% van de nominale stroombelasting gemiddeld 0.6dB bedraagt en dit waar de blootstelling hoger is dan 0.4uT, wat op een goede overeenkomst tussen de modellen duidt.



Figuur 25: Afwijking tussen gemodelleerde bloostelling met de EPRI tool en in gmsh in functie van afstand voor nominale stroombelasting voor de onderzochte masttypes

Afwijking [dB]	Compacte Vakwerkmast	Standaard vakwerkmast	Wintrack	Eagle Tower	T-pylon	Compactline	Meiklokje
Minimum	0,002	0,003	0,012	0,003	0,021	0,0003	0,0003
Maximum	0,24	0,96	3,34	2,23	2,95	1,96	1,03
Gemiddeld	0,10	0,24	0,93	0,69	1,09	0,56	0,25

Tabel 4: Afwijking tussen gemodelleerde bloostelling met de EPRI tool en in gmsh voor de onderzochte masttypes bij 30%van de nominale stroombelasting waar de blootstelling hoger is dan 0.4uT

# 4.3 CONCLUSIE MODELVALIDATIE MET BEHULP VAN ONAFHANKELIJK MODEL

Het rekenmodel dat door Departement Omgeving wordt gebruikt, werd in dit hoofdstuk gevalideerd ten opzichte van een ander onafhankelijk ontwikkeld rekenmodel: EMF-workstation van EPRI.

De afwijking tussen gemodelleerde bloostelling met beide modellen werd bepaald voor 7 verschillende masttypes.

Globaal genomen over deze masttypes heen zien we dat de afwijking tussen beide rekenmodellen bij nominale stroombelasting gemiddeld 0.6dB bedraagt wat op een goede overeenkomst tussen de modellen duidt.

# 5 **BESLUIT**

In dit rapport valideren we de 2 rekenimplementaties van DOMG die hetzelfde achterliggend rekenmodel hanteren voor de berekening van magnetische velden door hoogspanningslijnen die instaan voor het transport en de distributie van elektriciteit, nl. de Gmsh implementatie en de GIS implementatie.

Een eerste validatie van de DOMG rekenimplementaties gebeurde aan de hand van veldmetingen.

Op drie locaties in Vlaanderen werden metingen nabij hoogspanningslijnen uitgevoerd door de WAVES onderzoeksgroep van het departement Informatie Technologie van de Universiteit Gent en IMEC. Het ging om locaties in Damme, Harelbeke-Deerlijk en Evergem. Dit leverde een gevarieerde set aan meetlocaties op, die het hoogspanningsnet in Vlaanderen gepast vertegenwoordigen.

Voor de opgemeten hoogspanningslijnen is de configuratie van de masten gekend bij DOMG, zodat de rekenimplementaties van DOMG de velden voor deze overspanningen kunnen berekenen. Bovendien worden metingen van de stroombelasting op de dag van de meting voor de opgemeten hoogspanningslijnen ter beschikking gesteld door de netbeheerder om in te voeren in de rekenimplementatie.

Aan de hand van de verhouding tussen de gemeten en gemodelleerde veldwaarde (berekend als een afwijking in dB) wordt de validatie uitgevoerd voor de verschillende meetsites.

We kunnen hieruit concluderen dat de overeenkomst tussen de resultaten van de meting en de berekening goed is wanneer we rekening houden met talrijke onzekerheden in het bekomen van de gemeten en gemodelleerde veldwaarde. Deze onzekerheden omvatten o.a. geometrische karakteristieken van pylonen en de overspanning, de stroombelasting, de GPS-plaatsbepaling van de meetposities en de keuze van het meettoestel.

Een tweede validatie van de DOMG rekenimplementaties gebeurde aan de hand van een onafhankelijk commercieel beschikbaar rekenmodel nl. het EMF-workstation van <u>EPRI</u>.

De afwijking tussen bloostelling gemodelleerd met de gmsh-rekenimplementatie en het EPRI model werd bepaald voor 7 verschillende masttypes. Globaal genomen over deze masttypes heen zien we dat de afwijking tussen beide rekenmodellen bij 30% van de nominale stroombelasting gemiddeld slechts 0.6dB bedraagt wat op een goede overeenkomst tussen de modellen duidt. Deze afwijking is wellicht te wijten aan de verschillen in de numerieke methodes die beide modellen implementeren aangezien de onderliggende fysische modellering van het magnetisch veld dezelfde is.

We besluiten dat de rekenimplementaties die DOMG gebruikt voor de berekening van magnetische velden door hoogspanningslijnen succesvol gevalideerd werden met behulp van gemeten veldwaarden en onafhankelijk berekende veldwaarden.

# REFERENTIES

- [1] EMF Workstation van Electric Power Research Institute (EPRI), Product ID 1018310, 5 November 2008, <u>https://www.epri.com/research/products/1018310</u>
- [2] ICNIRP Guidelines for Limiting Exposure to Electromagnetic Fields (100 kHz to 300 GHz). Health Phys. 2020 May; 118(5):483-524. doi: 10.1097/HP.00000000001210.
- [3] ICNIRP guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300GHz) Health Phys. 1998 April, 74(4), 494-522.
- [4] 1999/519/EG: Aanbeveling van de Raad van 12 juli 1999 betreffende de beperking van blootstelling van de bevolking aan elektromagnetische velden van OHz - 300GHz, <u>EUR-Lex -</u> <u>31999H0519 - EN - EUR-Lex (europa.eu)</u>
- [5] <u>Hoogspanning | Departement Omgeving Vlaamse overheid (vlaanderen.be)</u>
- [6] Geuzaine C., Remacle J.-F. (2009). Gmsh, a three-dimensional finite element mesh generator with built-in pre- and post-processing facilities. International Journal for Numerical Methods in Engineering, 79(11), 1309-1331.
- [7] Geuzaine C., Henrotte F., Remacle J.-F., Dular P., Sabariego R. (2012). ONELAB: Open Numerical Engineering LABoratory, Proceedings of the 7<sup>th</sup> European Conference on Numerical Methods in Electromagnetism (NUMELEC2012), July 3-5, 2012.
- [8] ELT-400 Exposure Level Tester, 1Hz-400kHz, ELT-400 (narda-sts.com)
- [9] EHP-50C Compact field analyzer 1Hz-100kHz, opvolger EHP-50F (2404/104) (narda-sts.com)