



**Amsterdam University
of Applied Sciences**

Sensor modules
Datum metingen: 27 November 2023

De fittingscoefficient voor pathloss meten

Auteurs:

Groep 7

<u>Tycho Jöbsis</u>	(500845792)
Jochem Leijenhorst	(500855372)
Illya Ustenko	(500845492)

Datum: 27 januari 2024

©2023 Copyright

Alle rechten voorbehouden. Niets uit dit verslag mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door print-outs, kopieën, of op welke manier dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de auteurs.



1 Samenvatting

Om een inschatting te kunnen maken wat het minimale zendvermogen moet zijn voor een bepaalde draadloze applicatie moet er een inschatting worden gemaakt hoeveel signaalverlies er optreed (path loss). In dit meetrapport worden een aantal modellen getoond die hierbij helpen. Een van deze modellen bevat een fittingscoëfficiënt. Door middel van het doen van metingen is er een waarde voor deze fittingscoëfficiënt gevonden.

2 Abstract

To estimate the minimum transmission power required for a specific wireless application, it is necessary to assess the anticipated signal loss (path loss). This measurement report presents several models that assist in the estimation of path loss. One of these models includes a fitting coefficient. Through conducted measurements, a value for this fitting coefficient has been determined

Inhoudsopgave

1	Samenvatting	3
2	Abstract	3
3	Introductie	5
3.1	Path loss	5
4	Meetopstelling	8
5	Resultaten	9
6	Discussie	10
6.1	Mogelijke bronnen van fouten	11
6.2	Aanbevelingen	11
7	Conclusie	13
	Referenties	14

3 Introductie

Met de opkomst van IoT (Internet of Things) systemen wordt er steeds vaker verlangd dat elektronische systemen draadloos kunnen communiceren. Het benodigde draadloze bereik van een IoT apparaat is erg afhankelijk van de toepassing. In het geval van een medisch oproep systeem dat enkel binnen één kamer in een verpleeghuis hoeft te werken zal het draadloze bereik niet veel groter hoeven te zijn dan enkele tientallen meters. Echter, wanneer de toepassing in de agrarische sector valt kan een groter bereik van enkele kilometers kilometers gewenst zijn.

Om ervoor te zorgen dat een IoT systeem niet onnodig veel energie verbruikt, is het belangrijk om ervoor te zorgen dat het draadloze communicatie bereik niet vele malen groter is dan nodig. Door signaalverliezen goed te modelleren kan er een ondergrens gevonden worden voor het minimaal benodigde zendvermogen in een draadloos communicatiesysteem.

In dit meetrapport zal er gekeken worden naar een model om signaalverliezen te modelleren in het Jacoba Mulder Huis, dat op de Amstelcampus van de Hogeschool van Amsterdam staat. Het model dat wordt gebruikt in dit meetrapport maakt gebruik van een fittingscoëfficiënt die door middel van metingen zal worden vastgesteld.

3.1 Path loss

Path loss beschrijft de demping van elektromagnetische golven tussen een zender en een ontvanger. Om deze demping te berekenen, kunnen er verschillende modellen worden gebruikt. In het geval dat de antennes zich in free space bevinden kan vergelijking (3.1) gebruikt worden om het ontvangen vermogen te berekenen [1, p. 13]. In vergelijking (3.1) zijn P_t en P_r de zend en ontvangst vermogens, G_t en G_r zijn respectievelijk de zend- en ontvangstversterkingsfactoren van de zend- en ontvangstantennes, λ is de golflengte en d is de afstand tussen de zend- en ontvangstantennes.

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi d)^2} \text{ [W]} \quad (3.1)$$

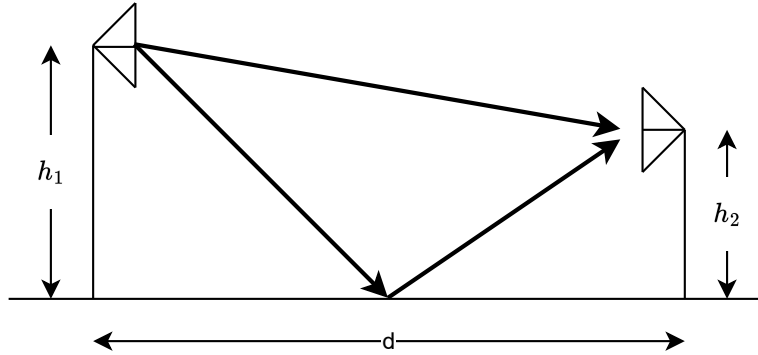
Het berekenen van ontvangen vermogen kan erg nuttig zijn, op het moment dat het zendvermogen bekend is. In het geval een systeem nog ontworpen moet worden is het zendvermogen echter nog niet bekend, en heeft het niet veel nut om het ontvangstvermogen uit te rekenen. Dit is op te lossen door niet het ontvangstvermogen uit te rekenen maar hoeveel demping er in een signaal optreedt. In het geval van vergelijking (3.1) kan de demping van een signaal berekend worden met vergelijking (3.2).

$$PL_{FS} = 20 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda \sqrt{G_t G_r}} \right) \text{ [dB]} \quad (3.2)$$

Wanneer er (nog) geen antenne gekozen is om te gebruiken in een ontwerp zijn de antenneversterkingsfactoren nog niet bekend. Om dan toch nog een indicatie te kunnen krijgen van het signaal verlies kunnen de ontvangst en zendantennes als isotroop worden verondersteld. Een antenne met isotrope eigenschappen heeft namelijk een antenneversterkingsfactor van 1 [1]. Dit is omdat een isotrope antenne in alle richtingen met evenveel vermogen zendt [1]. Als de zend en ontvangstantennes als isotroop worden verondersteld volgt uit vergelijking (3.2) vergelijking (3.3).

$$PL_{FS} = 20 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right) \text{ [dB]} \quad (3.3)$$

Het path loss model dat beschreven wordt met vergelijking (3.2) gaat er van uit dat de zend- en ontvangst antennes zich in free space bevinden. Dit is echter niet het geval en het model van vergelijking (3.2) zal aangepast moeten worden om meer niet ideale effecten mee te nemen. Een niet idealiteit die meegenomen kan worden is dat de antennes boven een vlak worden geplaatst. Via het vlak waar de antennes boven staan zal er een reflectie ontstaan. Dit is schematisch getoond in figuur 1. Dit nieuwe model staat bekend in de literatuur als het two ray model [2].



Figuur 1: Het twee stralen model [2].

Om het two ray model mee te nemen in de path loss berekening moet er een factor berekend worden. Deze factor moet vervolgens met de uitkomst van het free space path loss model worden vermenigvuldigd. Deze factor wordt gegeven door vergelijking (3.4) [2], [3]. In vergelijking (3.4) zijn h_1 en h_2 respectievelijk de hoogtes van antennes 1 en 2, d is de afstand tussen antennes 1 en 2, Γ_{\perp} is de reflectie coefficient en β is het golfgetal. het golfgetal kan berekend worden met vergelijking (3.5).

$$PL_{TR} = -20 \log \left[\frac{1}{1 + \Gamma_{\perp} \exp \left[j\beta \left(\sqrt{(h_1 + h_2)^2 + d^2} - \sqrt{(h_1 - h_2)^2 + d^2} \right) \right]} \right] \text{ [dB]} \quad (3.4)$$

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (3.5)$$

De reflectie coefficient Γ_{\perp} geeft aan hoeveel vermogen wordt gereflecteerd door de grond. Met vergelijking (3.6), de invalshoek θ en de permeabiliteit ϵ_r kan de reflectie coefficient Γ_{\perp} worden berekend [4], [5].

$$\Gamma_{\perp}(\theta, \epsilon_r) = \frac{\sin(\theta) - \sqrt{\epsilon_r - \cos^2(\theta)}}{\sin(\theta) + \sqrt{\epsilon_r - \cos^2(\theta)}} \quad (3.6)$$

$$\theta = \arctan \left(\frac{h_1 + h_2}{d} \right) \text{ [rad]} \quad (3.7)$$

In het geval $h_1 + h_2 \ll d$ kan vergelijking (3.4) vereenvoudigd worden naar vergelijking (3.8) [3].

$$PL_{TR} = -20 \log \left[2 \sin \left(\frac{2\pi h_1 h_2}{\lambda d} \right) \right] \text{ [dB]} \quad (3.8)$$

De voorgaande modellen zijn niet compleet genoeg om de situatie in een bebouwd gebied te voorspellen. Om een beter model te krijgen kan er een fittings factor worden toegevoegd aan vergelijking (3.2) [3, p. 24]. Vergelijking 3.9 toont deze fittings factor waarin l_f een fittings coefficient is



en d de afstand tussen de twee antennes. Vergelijking 3.10 toont de vergelijking van het uitgebreidere model van de path loss.

$$F_f = l_f \log(50d) \text{ [dB]} \quad (3.9)$$

$$PL = PL_{FS} + PL_{TR} + F_l \text{ [dB]} \quad (3.10)$$

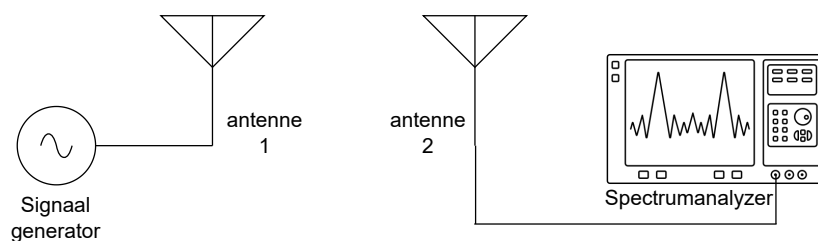
4 Meetopstelling

In paragraaf 3 is een model beschreven waarmee path loss kan worden gemodelleerd. In dat model wordt er gebruik gemaakt van een fittingscoëfficiënt. Deze fittingscoëfficiënt kan echter anders zijn afhankelijk van de omgeving. Om een indicatie te krijgen van welke waarde de fittingscoëfficiënt heeft in het Jacoba Mulder Huis, zal in dit hoofdstuk een testopstelling worden toegelicht waarmee de fittingscoëfficiënt bepaald zou kunnen worden.

Voor de metingen is gebruik gemaakt van de materialen die in tabel 1 staan. Deze materialen zijn volgens figuur 2 opgesteld. Hierbij staan beide antennes op een hoogte van 1 meter en in eerste instantie op 1 meter afstand. Vervolgens is er met de signaal generator vanaf -10dBm in stappen van 2dBm tot 4dBm gezonden op een frequentie van 2.4GHz. Per zendniveau is er vervolgens met een spectrumanalyzer gemeten wat het ontvangst vermogen is. Nadat voor al de verschillende zendvermogens het ontvangst vermogen is gemeten, wordt de afstand tussen de antennes vergroot met een meter.

Apparaat	Serienummer	Beschrijving
Rigol	DSG3B171400069	Signaalgenerator
Rhode&Schwarz FSP	100538	Spectrumanalyzer
BNC kabel	n.v.t	BNC kabel van 1 meter
BNC kabel	n.v.t	BNC kabel van 1 meter
BNC – > sma adapter	n.v.t	BNC male naar SMA female adapter
BNC – > N-type adapter	n.v.t	BNC male naar N-type female adapter
2.45GHz antenne ($G_{t/r} = 2.5\text{dBi}$)	n.v.t	2.45GHz antenne (YGL001AA)
2.45GHz antenne ($G_{t/r} = 2.5\text{dBi}$)	n.v.t	2.45GHz antenne (YGL001AA)

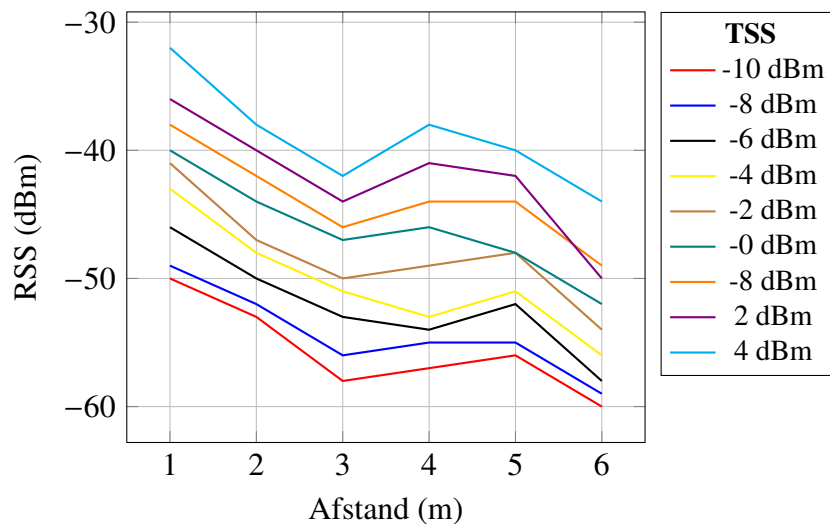
Tabel 1: Materialen die zijn gebruikt voor de metingen in dit meetrapport



Figuur 2: De meetopstelling van dit meetrapport.

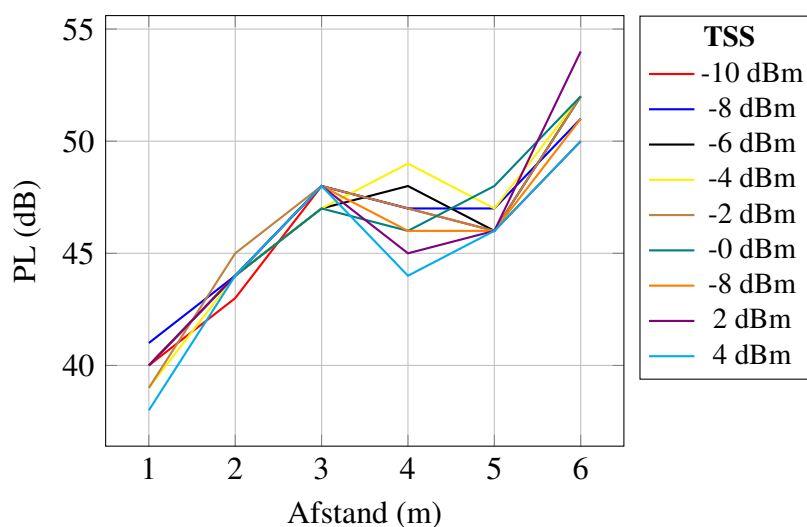
5 Resultaten

In figuur 3 is te zien wat de gemeten waardes zijn van de testopstelling die is beschreven in paragraaf 4. Hierbij is de horizontale as de afstand tussen de twee antennes, en is de verticale as het vermogen van de ontvangen signalen.



Figuur 3: RSS (Received Signal Strength) over afstand.

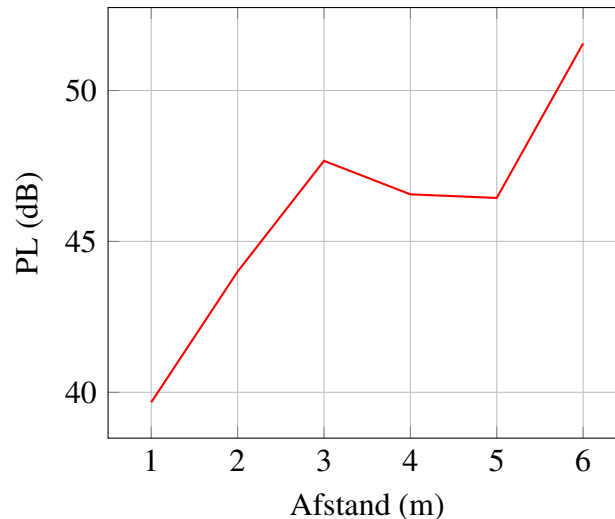
Bij deze meting was het meten van het ontvangst vermogen niet het doel. Het doel van de meting was namelijk het meten van het signaalverlies tussen een zend en ontvangstantenne. Door het ontvangen signaalvermogen min het zendvermogen te berekenen is het signaalverlies te bepalen. Dit wordt getoond in figuur 4.



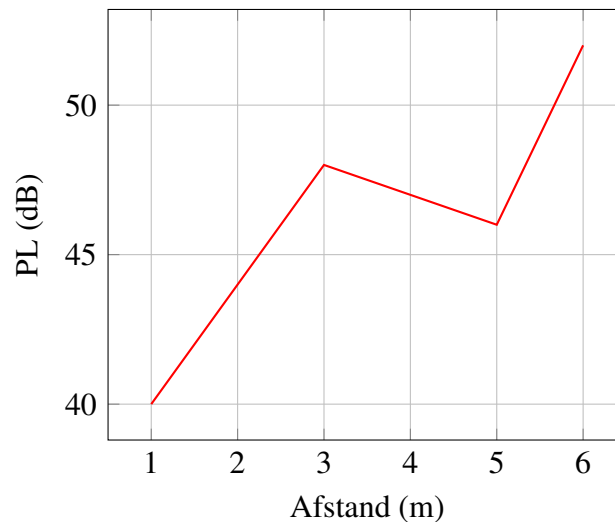
Figuur 4: Signaalverlies over afstand.

6 Discussie

In figuur 4 is het te zien dat de hoeveelheid path loss die optreed niet afhankelijk lijkt te zijn van het signaal vermogen. Dit komt ook overeen met de verschillende modellen die in paragraaf 3 zijn behandeld. Om een beter beeld te krijgen van het signaalverlies is in figuur 5 de gemiddelde path loss getoond en in figuur 6 de mediane path loss.



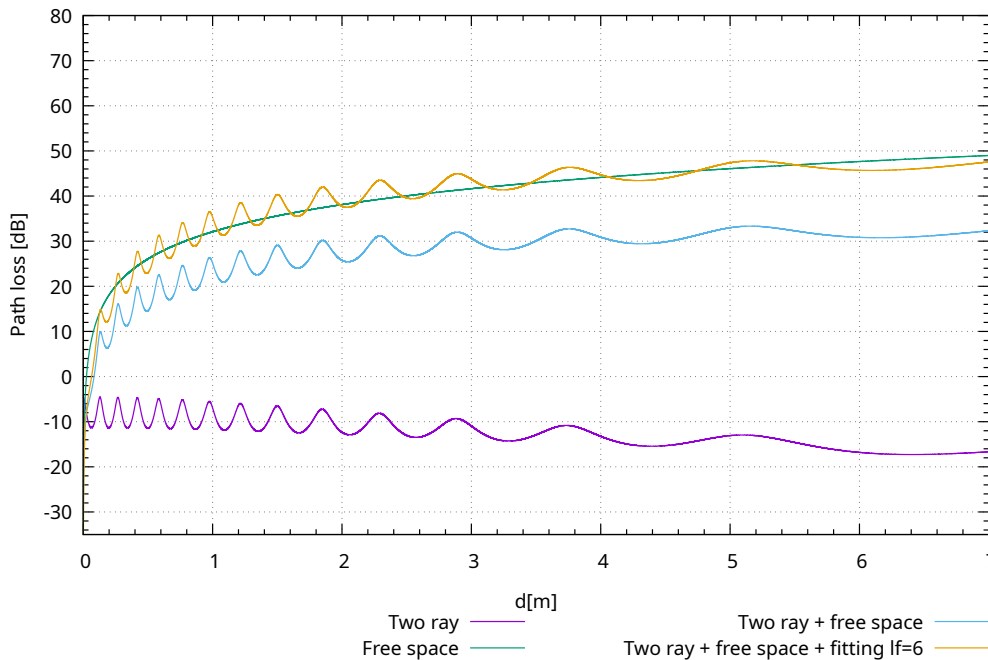
Figuur 5: Gemiddeld signaalverlies over afstand.



Figuur 6: De mediaan van het signaalverlies over afstand.

Om te controleren of de gemeten data overeen komt met de modellen uit paragraaf 3, is in figuur 7 de verwachting van verschillende modellen geplot. Hierbij is voor ϵ_r een waarde van 3.4 gebruikt. Deze ϵ_r komt overeen met de ϵ_r van beton bestaande uit kleine korrels [6].

Om uit de meetdata informatie te halen over de fittingscoëfficiënt wordt vergelijking (6.1) gebruikt. In figuur 8 is te zien wat de fittingscoëfficiënt is voor de gemeten path loss waardes. De



Figuur 7: Verwachte path loss van verschillende modellen

gemiddelde fittingscoëfficiënt van de metingen komt uit op 7.71 en de mediane fittingscoëfficiënt komt uit op 7.80.

$$l_f = \frac{PL - PL_{FS} - PL_{TR}}{\log(50d)} \quad (6.1)$$

6.1 Mogelijke bronnen van fouten

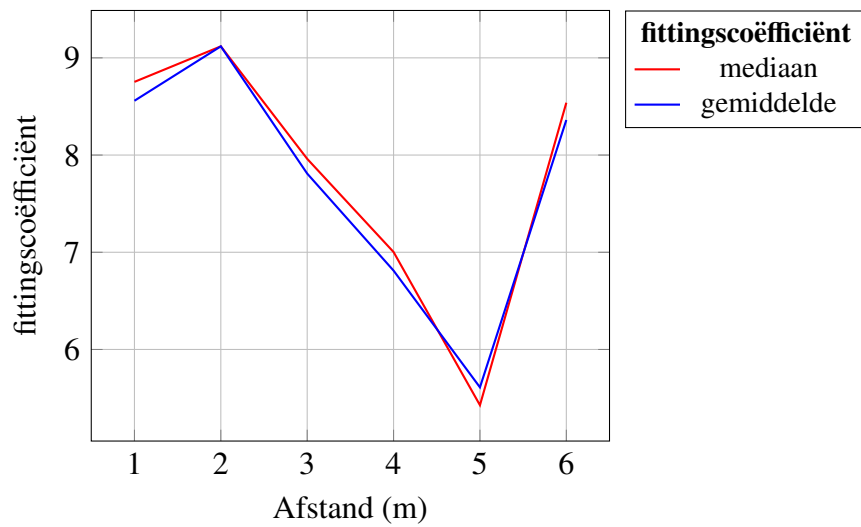
Het is duidelijk dat de gemeten fittingscoëfficiënt erg van waarde verandert over afstand. Dit kan door verschillende dingen komen. Bij het meten is het ontvangstvermogen met de hand afgelezen. Hierbij is op te merken dat de ontvangstvermogenswaarde die op de spectrumanalyzer af te lezen was erg veel veranderde over tijd. Doordat er maar een enkele waarde per vermogen per afstand is afgelezen kan dit onbedoeld tot een dergelijke fout leiden.

Een ander mogelijk is dat de metingen verstoord zijn doordat er mensen langs de testopstelling zijn gelopen terwijl er werd gemeten. Dit leek tijdens het doen van de metingen een redelijke invloed te hebben op de meetresultaten.

Als derde bron van fouten was de ondergrond niet van beton maar van lag er een tapijt. Dit zorgt er voor dat de gekozen ϵ_r in dit meetrapport niet de goede waarde heeft. Naast dat de ϵ_r mogelijk fout is heeft dit ook een invloed op hoe de elektromagnetische golven weerkaatsen op een oppervlak.

6.2 Aanbevelingen

Voor een vervolg meeting wordt het aangeraden om meer samples te nemen per afstand per vermogen. Ook wordt het aangeraden om de afstand tussen de antennes met kleinere stappen te vergroten.



Figuur 8: De mediaan van het signaalverlies over afstand.

Een andere richting van interesse voor vervolg onderzoek kan het volgende zijn: het onderzoeken van het effect van het plafond. Wanneer kan het effect van een plafond worden verwaarloosd en wanneer kunnen de effecten van het plafond niet worden verwaarloosd.

7 Conclusie

In dit meetrapport is er gemeten wat de fittingscoëfficiënt voor de path loss in het Jacoba Mulder Huis is. In de analyse van de gemeten data is naar voren gekomen dat de gemeten data niet betrouwbaar genoeg is om een eenduidige waarde te vinden voor de fittingscoëfficiënt. Aangezien een hogere fittingscoëfficiënt meer energie kost maar er wel voor zorgt dat een systeem het minimale bereik kan halen, wordt er aangeraden om voorlopig voor de fittingscoëfficiënt l_f een waarde van 7.80 te gebruiken.

Referenties

- [1] A. Bensky, *Short-range wireless communication*, Third edition. Newnes, 2019, ISBN: 978-0-12-815405-2.
- [2] Y. Karasawa en K. Fujimoto, „Essential Techniques in Mobile Antenna Systems Design,” in *Mobile antenna systems handbook*, K. Fujimoto, red., Third edition, Artech house, 2008, hfdstk. 2, p. 25–53, ISBN: 978-1-59693-126-8.
- [3] O. Brini, „A system-level methodology for the design and deployment of reliable low-power wireless sensor networks,” proefschrift, École de technologie supérieure, 2019.
- [4] M. Bacco, E. Ferro en A. Gotta, „UAVs in WSNs for agricultural applications: An analysis of the two-ray radio propagation model,” in *SENSORS, 2014 IEEE*, IEEE, 2014, p. 130–133.
- [5] C. Sommer, S. Joerer en F. Dressler, „On the applicability of two-ray path loss models for vehicular network simulation,” in *2012 IEEE Vehicular Networking Conference (VNC)*, IEEE, 2012, p. 64–69.
- [6] S. S. Zhekov, O. Franek en G. F. Pedersen, „Dielectric properties of common building materials for ultrawideband propagation studies [measurements corner],” *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, jrg. 62, nr. 1, p. 72–81, 2020.