

Handleiding bepalen van UGR buiten door meten en berekenen

DECEMBER 2022



Colofon

*Opdrachtgever:***Gemeente Den Haag**

Postbus 12600

2500 DJ Den Haag

Spui 70

2511 EL Den Haag

Projectleider:

De heer ing. R. (René) Oomkes

*Opdrachtnemer:***De Kruijter Public Lighting**

Postbus 102

3941 XJ Doorn

Hoofdstraat 252

3972 LK Driebergen-Rijsenburg

The Netherlands

Projectleider:

Ing. N.J. (Nico) de Kruijter

Auteurs:

F.J.M. (Frank) Koenen

N.J. (Nico) de Kruijter

Inhoudsopgave

COLOFON	1
INHOUDSOPGAVE	2
1. INLEIDING EN PROBLEEM ANALYSE	3
1.1 AANLEIDING	3
1.2 DE VIER PARAMETERS.....	4
2. DE UGR BUITEN METHODE	5
2.1 STAPPENPLAN UGR REKENMODEL.....	5

1. Inleiding en probleem analyse

1.1 Aanleiding

De huidige methodieken voor het berekenen van hinder door verblinding, en met name in verblijfsgebieden, leveren in de praktijk niet het gewenste resultaat op. Veel van deze methodes zijn ontwikkeld voor conventionele verlichtingsarmaturen welke zijn voorzien van een gasontladingsbuis of bol en met een aluminium spiegel of kunststof refractiekap voor de juiste verdeling van het licht. Een groot lichtgevend oppervlak is het resultaat. Sterkte piekluminanties komen door gebruik van gematiseerd aluminium bij conventionele lichtbronnen minder vaak voor. De noodzaak voor een herziening van de berekeningsmethode was er niet.

De nieuwe ledarmaturen bestaan uit een printplaat (PCB), voorzien van leds met een lens voor de lichtdistributie, soms nog afgeschermd door een interne diffusor. Naast deze directe varianten, komen er ook indirecte varianten voor maar het lijkt erop dat deze langzaam uit het straatbeeld verdwijnen doordat deze techniek minder efficiënt is. Combinaties van beide methoden in één armatuur zijn een opkomende trend.

Het gevolg is een armatuur dat is voorzien van zeer heldere puntlichtbronnen welke een helderheid kunnen hebben van wel 20.000.000 cd/m² en dat de omgeving zeer efficiënt verlicht. De huidige methodieken gaan (in het slechte geval) uit van een punt (Ti) of (al beter) een egaal lichtgevend oppervlak (D-klasse). Maar voor een lichtgevend oppervlak met zeer sterke pieken en dalen, zoals dat van de huidige led armaturen, is geen reken- / meetmethode beschikbaar.

Methode	Helderheid omgeving	Helderheid lichtbron	Afmeting lichtbron	Positie in blikveld
Ti	ja	Ja (luxwaarde)	nee	ja
D-klasse	nee	Ja (i-waarde)	ja	nee
GR L	ja	ja	nee	Ja
G-klasse	nee	Ja (i-waarde)	nee	nee
UGR	Ja	Ja	Ja	Ja

Tabel 1 Welke parameters worden meegenomen in de verschillende methoden
(**groen** = inbegrepen, **oranje** = inbegrepen maar kan beter, **rood** = niet inbegrepen)

Nieuw inzicht

De universiteit van Leuven heeft de UGR-methode voor binnenverlichting dusdanig aangepast dat deze toepasbaar is voor armaturen die bestaan uit puntlichtbronnen. Deze aangepaste methode houdt rekening met de vier aspecten die verantwoordelijk zijn voor het ervaren van verblinding. Geen enkele methode welke nu gebruikt wordt voor het bepalen van verblinding in de buitenruimte heeft deze 4 componenten al in de methodiek opgenomen.

Dit document beschrijft deze methode voor het gebruik in de openbare buitenruimte. Het mag duidelijk zijn dat de situatie buiten anders is dan binnen. Echter, het menselijk oog is hetzelfde. Een exacte schaal voor de mate van hinderlijkheid buiten bestaat nog niet. Wel kan worden vastgesteld hoe een armatuur presteert in een reeks van gemeten armaturen. Hoe hoger het getal, hoe meer hinder er is.

1.2 De vier parameters

De vier parameters die van invloed zijn op de mate van verblinding zijn in figuur 1 weergegeven. De eerste parameter (links boven) is de positie van de lichtbron in het blikveld. Een lamp verblindt meer wanneer de waarnemer er recht inkijkt dan wanneer deze zich zijwaarts van de waarnemer bevindt. De tweede parameter is het beeld rechts boven. Overdag (met veel achtergrondlicht) zijn lichtbronnen zoals bijvoorbeeld koplampen minder verblindend dan in de nacht met openbare verlichting. Linksonder is de helderheid van de lichtbron te zien. Deze is in belangrijke mate verantwoordelijk voor de verblinding. Denk aan de gemeten luminantie van 20.000.000 cd/m² die voor tintelingen in de ogen zorgt. En rechts onder wordt de grootte van het lichtgevend oppervlak getoond. Hoe groter het vlak waarover het uitstralende licht wordt verdeeld, hoe lager de hinder is. Een voorbeeld hiervan zijn de oude lagedruk natriumlichtbronnen van een meter lang waar zonder problemen ingekeken kan worden en de latere generatie hogedruk natriumlichtbronnen die met dezelfde lumenstroom behoorlijk verblindend zijn.

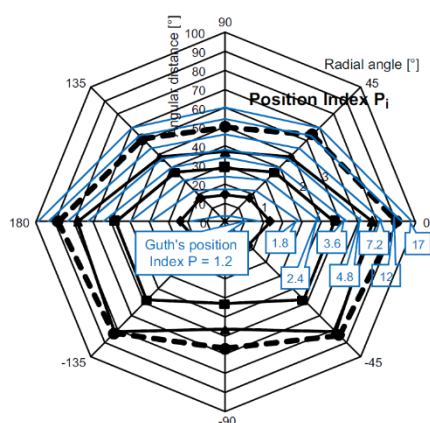
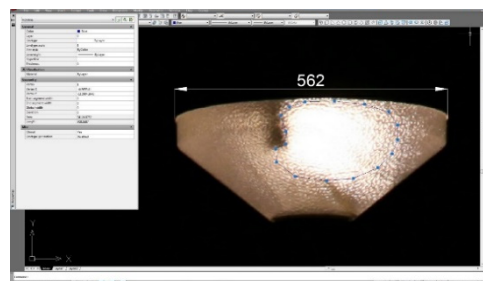
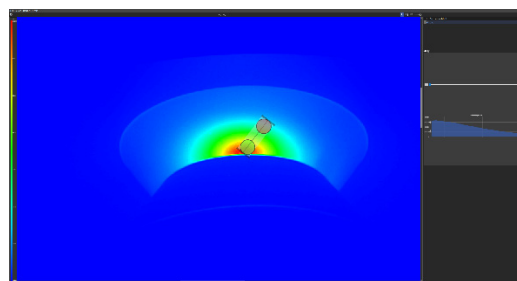
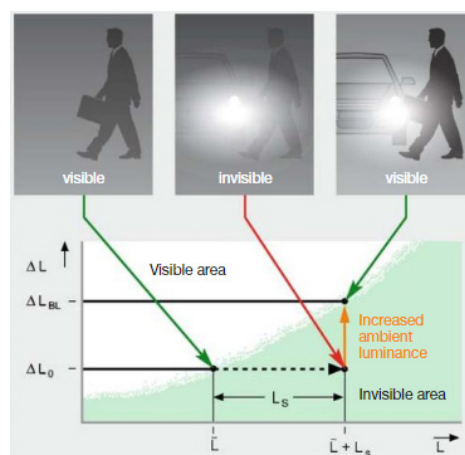


Fig. 9. The Guth's Position Index P and the new position index P_i .



Figuur 1 De vier parameters

Wanneer echter de vier belangrijkste parameters uit figuur 1 worden meegenomen in de beoordeling van een armatuur, is er al een hele stap gemaakt ten opzicht van de huidige reken- en meetmethodieken. Het verfijnen van de UGR buiten methode, op basis van opgedane kennis, is dan ook een aangelegenheid voor de toekomst.

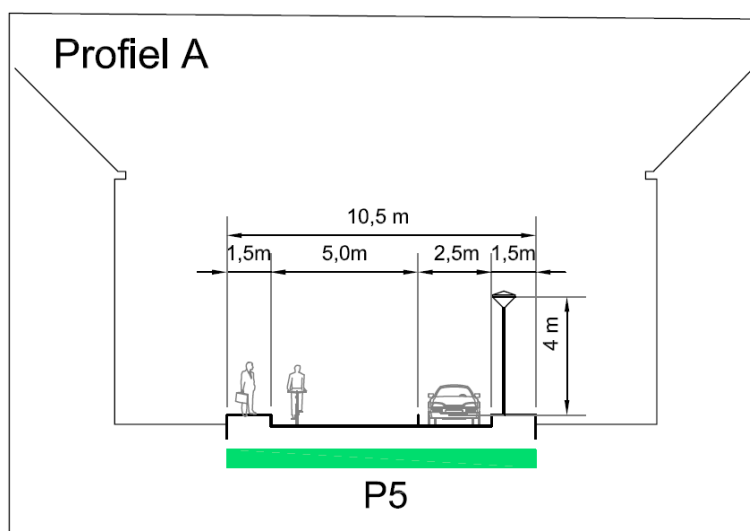
2. De UGR buiten methode

2.1 Stappenplan UGR rekenmodel

Om de meting of berekening goed te kunnen uitvoeren, is het van belang om de situatie in kaart te brengen en aan te geven wat er gemeten of berekend moet worden. In figuur 2 is een voorbeeld van een woonstraat te zien. Wat zijn nu de stappen die achter elkaar moeten worden genomen.

Stap 1)

Het onderstaande profiel en opstelling voor de woonstraat overnemen in een professioneel lichtberekeningsprogramma. Voorbeelden van enkele programma's zijn Dialux, Relux, Calculux, Lighting reality, OxyTech en Ulysse. Dit profiel dient dus als uitgangspunt en zal de basis zijn voor het bepalen van de UGR waarden van een armatuur. Alleen bij gebruik van hetzelfde profiel en lichtmastopstelling kan een eerlijk onderling vergelijk worden gemaakt.



Figuur 2 Standaardprofiel aan de hand waarvan de UGR_{buiten} wordt bepaald (lichtpuntafstand = 4 meter, mastafstand = 25 meter en enkelzijdig rechts)

De lichtberekeningen dienen gemaakt te worden conform de uitgangspunten van NEN-EN 13201-3, Prestatieberekeningen. Het raster dient over de gehele breedte van het profiel te worden gelegd (per klasse, zie figuur 2) en tussen twee opeenvolgende lichtmasten.

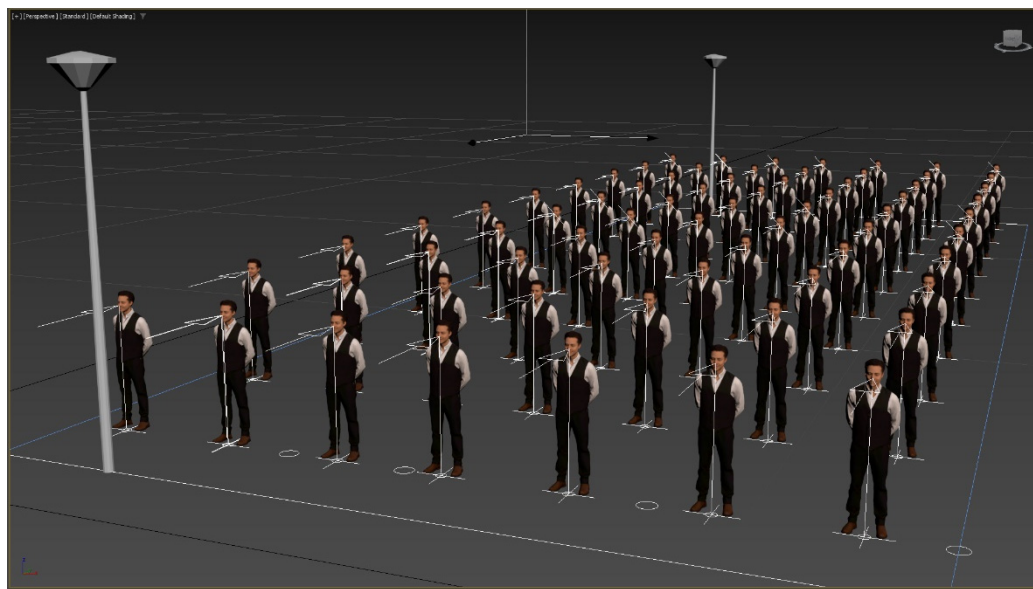
KLASSE P5: $E_{\text{gem}} = 3,00 \text{ lux}$, $E_{\text{min}} = 0,60 \text{ lux}$, $U_h = 0,20$, Evert (gezicht) $B \geq 0,50 \text{ lux}$. Voor het bepalen van de verticale verlichtingssterkte mag de reflectie van de ondergrond worden meegenomen en moet worden uitgegaan van $Q_0 = 0,08$ of $\rho = 0,25$.

Voor de reflectiefactor van de omgeving moet worden gekozen voor tabel R1 of Lambertiaanse reflectie (ook wel diffuse reflectie genoemd).

Stap 2)

Bepaal de locatie waar de verblinding het hoogste is. Dit is het vraagstuk dat hier opgelost moet worden. Met de komst van led armaturen en de sterk afgesneden bundels is het herkennen van personen en met name gezichten in de openbare ruimte een grotere uitdaging geworden.

Binnen de Europese regelgeving is in 2015 besloten om op het CEN rekenraster op een hoogte van 1,5 meter verticale punten te plaatsen die kijken in de lengterichting van het profiel om zo op te sporen waar er onvoldoende licht op het gezicht van de waarnemer in de openbare ruimte is.

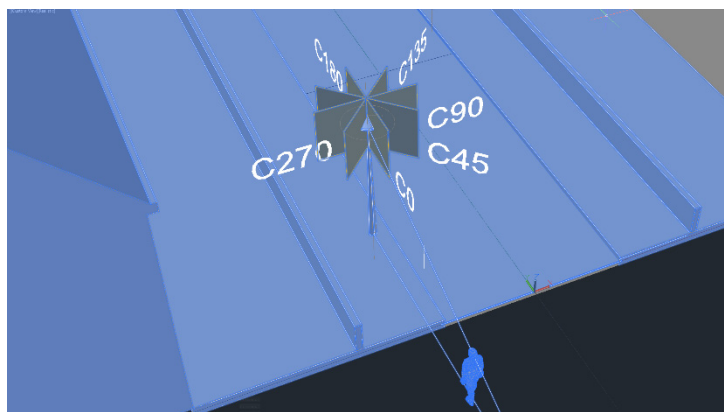


Figuur 3 Waarnemers op het CEN raster woonstraat die recht voortuit kijken (net als de eis voor Evert-min (NPR 13201:2018) ooghoogte = 1,5 meter)

Dit raster kan in de software eenvoudig worden voorzien van waarnemers. Door voor al deze waarnemers de i-waarde te berekenen, kan worden nagegaan welke waarnemer aan de hoogste i-waarde wordt blootgesteld. Dit is de plek waar de meeste hinder te verwachten is. Indien de licht-berekeningssoftware (bijvoorbeeld Dialux Evo) geen mogelijkheid heeft om de i-waarde voor waarnemers te kunnen berekenen, kan deze ook worden bepaald aan de hand van de i-tabel.

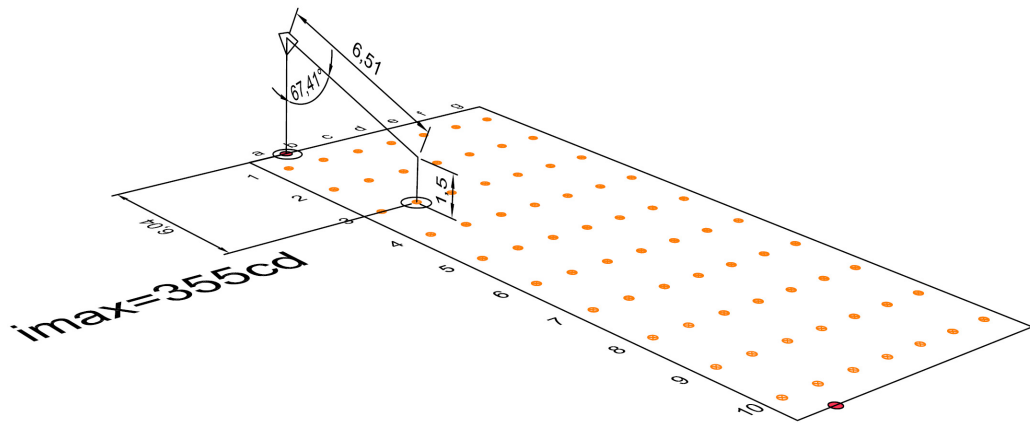
Handmatige bepaling hoogste i-waarde

Aan de hand van de i-tabel kan per waarnemer worden nagagaan welke bijpassende i-waarde van toepassing is. Dit gebeurt door lijnen te trekken tussen de uiteinden van de pijlen en het hart van het verlichtingsarmatuur. Door nu per richting van de lijn het juiste C-vlak te kiezen en op dit C-vlak de juiste hoek van de waarnemer te selecteren, kan de i-waarde worden afgelezen.



Figuur 4 Verdeling van de C-vlakken voor openbare verlichtingsarmaturen (de C-vlakken liggen op een andere plek dan bij armaturen voor binnenverlichting)

Leg de plek vast waar de i-waarde op het oog van de waarnemer het hoogst is. Dit is een x en y coördinaat in het veld (locatie lichtmast = 0,0) met een draai en kantel in de richting van de waarnemer naar het armatuur. Let wel op dat het armatuur juist gericht staat. De bundel van een openbare verlichtingsarmatuur is namelijk niet rondstralend maar produceert een ovaal lichtbeeld voor de lichtmast en in de lengterichting van het profiel. Op het armatuur staat vaak een kenmerk met straatkant en woningkant.



Figuur 5 locatie waar de Indal 2000 PLL24W de hoogste candela waar geeft (op CEN raster +1,5m)

Nu de positie van de waarnemer met de meeste hinder vast ligt en ook de hoek en afstand tot het armatuur, kan de volgende stap worden doorlopen.

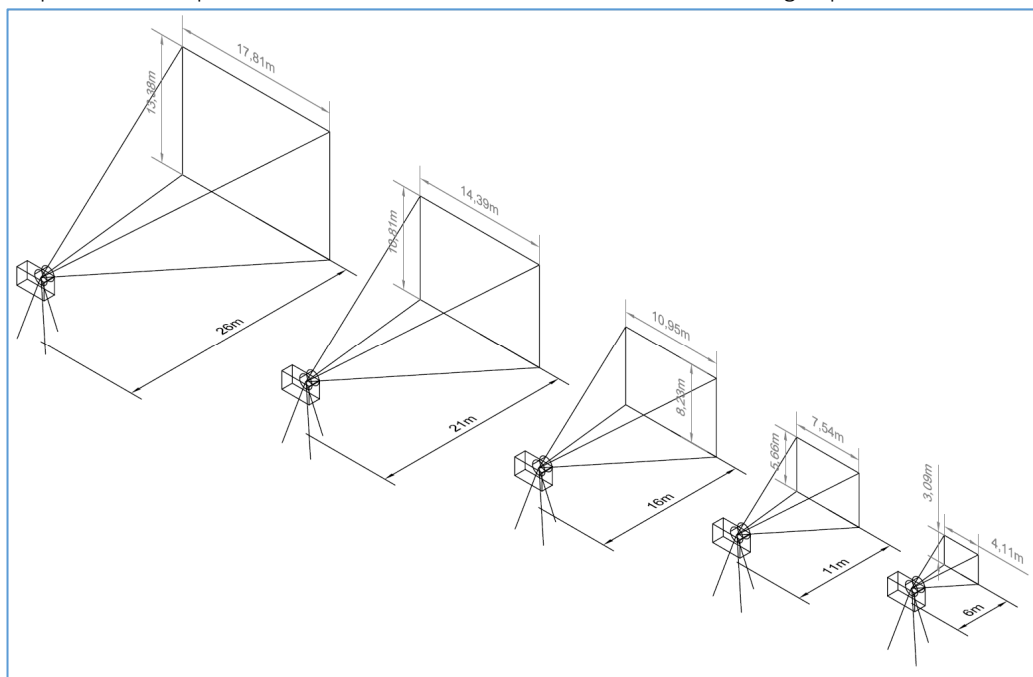
Stap 3)

Het gaat hier om een luminantiebeeld te verkrijgen van het lichtgevend oppervlak gezien vanuit de waarnemer vanuit de in stap 3 ingestelde waarnemerspositie met de hoogste candela waarde.

De luminantiecamera dient dan ook op dezelfde afstand en hoek te staan als het oog van de waarnemer. Door uit te rekenen wat de pixeldichtheid is op die afstand van het armatuur, kan middels het tellen van pixels de grootte van het lichtgevend oppervlak worden bepaald.

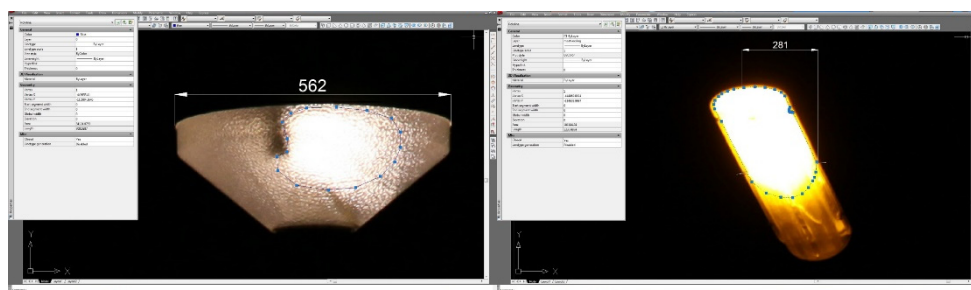
Indien bekend is wat de beeldhoek is van de camera, kunnen deze hoeken worden uitgezet op de verschillende afstanden waarop wordt gemeten. Wanneer de camera is geplaatst op 26 meter voor een wand, levert dat een beeldhoogte op van 13,38 meter en een beeldbreedte van 17,81 meter en dus een oppervlakte van 238,3 m². De beeldchip heeft over dit beeld een gelijkmatig verdeeld aantal pixels van totaal 12 miljoen. Indien er wordt gesproken over 6 miljoen pixels, dan is de oppervlakte van dit object 50% van 238,3 m² (119,15 m²). Zo kan per locatie middels de software en het tellen van pixels het lichtgevend oppervlak worden bepaald (zie figuur 6).

De pixeldichtheid per cm² is aan de hand van de onderstaande afbeelding bepaald.



Figuur 6 De 12 megapixels in relatie tot de afstand om de schaal te bepalen

Het waarnemerspunt is ten opzichte van de te beoordelen mast uitgezet. Het meetbereik dient minimaal te liggen tussen 100 cd/m² en 10.000.000 cd/m², eventueel verdeeld over een reeks opnamen. Immers het dynamisch bereik van het lichtgevend oppervlak van het armatuur kan ruimer zijn dan een beeldchip kan verwerken. Met de meting wordt de luminantie van het lichtgevend oppervlak van het armatuur bepaald. Hierbij is de grenswaarde van belang waar volgens de waarnemer de helderheid van de lichtkap stopt.



Figuur 7 Lichtgevend oppervlak volgens de waarnemers

Hoe groot dit vlak in de praktijk is, kan worden bepaald door het opmeten met een meetlint of digitaal in het vervaardigde beeld. Dit is dan ook de methodiek voor het bepalen van het lichtgevend oppervlak. Maar waar stopt het lichtgevend oppervlak? Het heeft namelijk geen harde scheiding van wel en geen licht.

De universiteit van Leuven heeft bepaald dat de grens voor binnenverlichtingsarmaturen op 500 cd/m² ligt. Indien deze waarde voor de openbare verlichting wordt aangehouden, blijft er niet veel meer over van het lichtgevend oppervlak. In de praktijk blijkt een waarde van 250 cd/m²* als grenswaarde beter overeen te komen met wat het oog ervaart waar de grens tussen lichtbron en omgeving ligt (zie figuur 7).

**grens lichtgevend oppervlak is bepaald door een groep waarnemers in de leeftijd van 23 t/m 60 jaar en middels fotografie en verschillende sluitertijden, iso-waarden en diafragma's en vergelijking van het beeld op het scherm met de eigen beleving in het veld.*

Blurren van de lichtpunten in het lichtgevend oppervlak geeft een vertekend beeld van de te verwachten verblindingshinder en is niet gewenst. De waarden voor piekluminantie worden zo

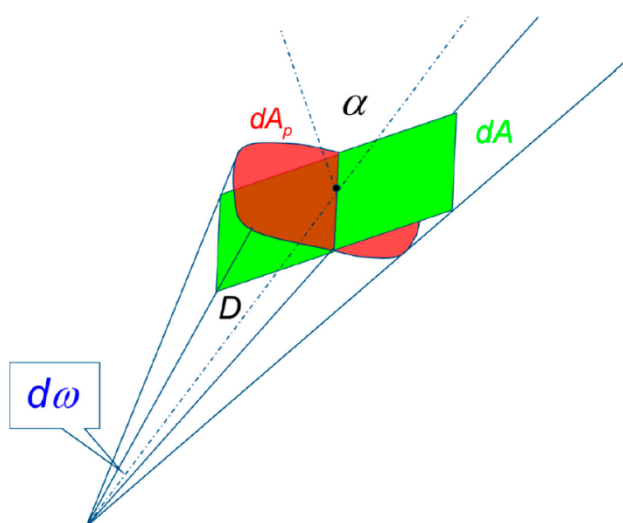
vereffend en de hinder geminimaliseerd. Om een betrouwbaar luminantiebeeld te verkrijgen, is een resolutie van 144 pixels per cm² bij een afstand van 3 tot 4 meter tot het armatuur de norm.

Stap 4)

Nu de oppervlakte is bepaald, dient de ruimtehoek (solid angle ω_{eff}) bepaald te worden aan de hand van de onderstaande formule (zie figuur 8). De solid angle is de grootte van het zichtbare lichtgevend oppervlak (dA_p in figuur 8 rode vlakje) in het beeld van de waarnemer. Om dit te berekenen, moet de oppervlakte A (oppervlakte van het lichtgevend oppervlak) gedeeld worden door de afstand (waarnemer - lichtbron) in het kwadraat. Het bepalen van de afstand D is te vinden in stap 2.

De waarden opgeven in m²

$$\omega = n\omega_{pix} \text{ which is equivalent to } \omega = \frac{A_p}{D^2} \quad (7)$$



Figuur 8 Berekening solid angle (bron: Sustainability 2022, 14, 13199)

Stap 5)

De gemiddelde helderheid van de omgeving is gelijk aan het niveau waaraan de waarnemer wordt blootgesteld in het openbaar gebied. De waarnemer kijkt volgens de opgegeven rekenmethodiek in de NEN-EN 13201-3, Prestatieberekeningen 1 graad naar beneden en de macula in het oog bestrijkt een zichtgebied met een hoek van rond de 18 graden. In het vrije veld geeft dit een beeldverhouding van 57% straat en 43% lucht. In stedelijk gebied zal deze verhouding anders liggen (meer verlichte omgeving en minder hemel). Deze handleiding gaat uit van de ongunstigste situatie.

De formule voor de omgevingsluminantie is $L_b = 0,06 \times 0,43 + L_{gem-weg} \times 0,57$.

Invullen voor $L_{gem-weg}$

P5 = 3 lux gemiddeld en 0,24 cd/m² (uitgaan van Q0 = 0,08)

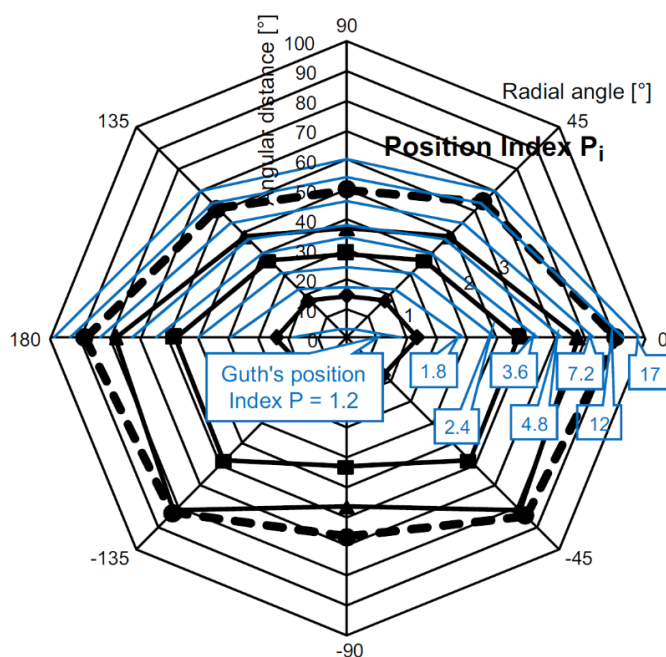
P4 = 5 lux gemiddeld en 0,40 cd/m² (uitgaan van Q0 = 0,08)

Stap 6)

Vanuit de waarnemer dient de positie van de lichtbron in het blikveld te worden bepaald. Dit is om de factor (ook wel Guth's Position Index genoemd) te bepalen. Dit is vanuit de locatie van de waarnemer met de meeste hinder en welke in stap 2 is bepaald.



Figuur 9 Voorbeeld van een beeld vanuit een waarnemer



Figuur 10 De Guth's Position Index P en de new position index P_i^*

In figuur 10 is te zien hoe de indexwaarde wordt bepaald. Van links naar rechts en van boven naar beneden is het blikveld voor de waarnemer. Haaks op de waarnemer rechts bevindt zich de X-as 0 en haaks op de waarnemer links de X-as 180 graden. Op de Y-as loopt het blikveld van 0 voor recht vooruit kijkend en recht omhoog kijkend 90 graden en recht naar beneden kijkend -90 graden. Deze parameter moet worden ingevuld in de formule onder p (position index).

**De getoonde grafiek komt uit recent onderzoek dat is uitgevoerd door de Kyung Hee University in Zuid Korea.*

Stap 7)

Dit is de stap waar alles samenkomt. De in de vorige stappen verzamelde data kunnen nu rekenkundig worden gebruikt voor het bepalen van de UGR-buiten.

$$UGR' = 8 \log \left[\frac{0.25}{L_b} \frac{L_{eff}^2 \omega_{eff}}{p^2} \right]$$

Figuur 11 Berekening UGR (bron: Sustainability 2022, 14, 13199)

Hierbij is:

L_b = de achtergrondluminantie (gemeten gemiddelde cd/m² in het blikveld (zie stap 5),

L_{eff} = de gemiddelde luminantie bij grenswaarde >250 cd/m² van de lichtbron (zie stap 3),

P = position index (zie stap 6),

ω_{eff} = de solid angle van het lichtgevend oppervlak van het armatuur vanuit de waarnemer (zie stap 4).

Bij de berekening van het lichtgevend oppervlak van het armatuur wordt uitgegaan van een depreciatiefactor van 1,0. Het armatuur moet tijdens zijn levensduur geen of minimale verblinding opleveren. Dit is anders dan bij het behalen van de verlichtingsklasse. Daar moet tot het einde van de levensduur worden voldaan aan het niveau.