

Handleiding bepalen van UGR buiten in ray tracing software

NOVEMBER 2022



Colofon

*Opdrachtgever:***Gemeente Den Haag**

Postbus 12600

2500 DJ Den Haag

Spui 70

2511 EL Den Haag

Projectleiders:

De heer R. (René) Oomkes

De heer R. (Ruben) van Bochove

*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 PROCES	3
1.1 AANLEIDING	3
1.2 DOEL VAN DE HANDLEIDING	3
1.3 AANPAK PROCES	4
<i>Inleiding</i>	<i>4</i>
<i>Paragraaf A. Profiel, lichtberekeningen</i>	<i>6</i>
<i>Paragraaf B. Vervaardigen ray files</i>	<i>6</i>
<i>Paragraaf C. Zelf doen</i>	<i>7</i>
<i>Paragraaf D. Uitbesteden aan KU Leuven</i>	<i>7</i>
<i>Paragraaf E. Conversie files</i>	<i>7</i>
<i>Paragraaf F en G. Ontwerp armatuur</i>	<i>8</i>
<i>Paragraaf H. Waarnemer met hoogste i-waarde</i>	<i>9</i>
<i>Paragraaf J. Locatie waarnemer vastleggen</i>	<i>10</i>
<i>Paragraaf K. Vervaardigen luminantiebeeld</i>	<i>10</i>
<i>Paragraaf L. Bepalen lichtgevend oppervlak</i>	<i>11</i>
<i>Paragraaf M. Bepalen gemiddelde helderheid armatuur</i>	<i>12</i>
<i>Paragraaf N. Bepalen gemiddelde helderheid omgeving</i>	<i>12</i>
<i>Paragraaf O. Indexpositie in het blikveld</i>	<i>13</i>
<i>Paragraaf P. Invullen van de formule</i>	<i>15</i>
<i>Paragraaf Q. Te leveren documenten</i>	<i>15</i>
<i>Paragraaf R. Te behalen UGR waarde</i>	<i>16</i>
BIJLAGEN	17
1. CHECKLIST IN PDF	17

1. Inleiding en proces

1.1 Aanleiding

Sinds enige tijd is in de openbare verlichting de vervanging van conventionele armaturen door led armaturen in gang gezet. Ook in nieuwe projecten wordt vrijwel uitsluitend gekozen voor led verlichtingsarmaturen. In de meeste gevallen gaat deze ombouw naar nieuwe ledverlichting gepaard met een hoge mate van hinder door verblinding. Dit wordt door gemeentes, provincies en andere wegbeheerders gezien als een steeds groter wordend probleem.

Voor leveranciers van led armaturen is dit een reden om armaturen te ontwerpen die zo min mogelijk verblinden. Om hier een objectief oordeel over te kunnen vellen, is het zaak om lichtcomfort, c.q. verblinding, meetbaar te maken. Dit kan met de huidige verblindingsparameters maar geen van deze methodes geeft een betrouwbaar resultaat. De UGR formule echter bevat alle parameters die een rol spelen in het beleven van verblinding.

1.2 Doel van de handleiding

Het doel van deze handleiding is het vastleggen van de methode voor het bepalen van de UGR-buiten door middel van software. We gaan in op de uitgangspunten die gehanteerd moeten worden, het referentieprofiel met haar verlichtingsklasse, het maximale verblindingsniveau (UGR) en de aan te leveren documenten.

Het gaat hierbij om een methode die lijkt op de UGR methode voor binnenverlichting. Het is echter geen 1 op 1 kopie. In de UGR-buiten methode kunnen parameters, grenswaarden en / of berekeningswijzen afwijken van de oorspronkelijke methode.

De handleiding start met een stroomdiagram met alle onderdelen van het te doorlopen proces. Aan elke stap is een letter van het alfabet toegekend met een verwijzing naar een uitgebreide toelichting van dat onderdeel. Indien er delen van het proces niet eigenhandig kunnen worden uitgevoerd, wordt een oplossing gegeven waar kennis en werkzaamheden kunnen worden ingekocht.

Het eindresultaat van het proces ziet er als volgt uit:

- 1) Een lichtberekening van het profiel waaruit blijkt dat er lichttechnisch wordt voldaan aan de gestelde verlichtingsklasse.
- 2) Een document waaruit blijkt hoe groot de berekende UGR waarde is bij dit profiel.
- 3) De onderbouwing hoe er aan de UGR is gekomen, bestaande uit een luminantiebeeld van het lichtgevend oppervlak, een polair diagram, een berekening van i-maximaal en de afmeting van het armatuur.

1.3 Aanpak proces

Inleiding

In figuur 2 is een stroomschema van het gehele proces te zien. Dit loopt vanaf de ontwikkeling van een armatuur tot aan het leveren van documenten ter beoordeling van het aangeboden armatuur.

Het mag duidelijk zijn dat er per lichtpunthoogte en type profiel een andere lichtverdeling kan gelden en er ook een andere uitkomst voor de UGR waarde is. Dat is de reden dat de UGR-Buiten op basis van een standaardprofiel wordt bepaald voor 4 meter masten.

Het stroomschema dient als leidraad voor de ontwikkeling van een enkel armatuur. Bij de ontwikkeling van twee armaturen moet het proces dus twee keer doorlopen worden om aan de juiste UGR buiten te komen.

Ook is het voordat gestart wordt met de ontwikkeling van een armatuur een vereiste dat de leverancier in zijn software de mogelijkheid heeft om een luminantiebeeld te kunnen vervaardigen. De meeste ray tracing software heeft deze mogelijkheid maar een check voor de start lijkt zinvol.

Ray tracing proces

Om een luminantiebeeld te kunnen vervaardigen, is het noodzakelijk om ray tracing software te gebruiken welke de mogelijkheid heeft om luminantiebeelden te kunnen simuleren. Dit lijkt logisch maar niet alle ray tracing software heeft deze mogelijkheid. Of de software is toegerust om luminantiebeelden te vervaardigen, is te zien in de specs onder het kopje "Analysis". Een voorbeeld hiervan is te zien in figuur 1 van TracePro®.

ANALYSIS			
Irradiance/Illuminance and Candela Maps (Intensity) for both Photometric and Radiometric output, CIE(x,y), CIE(u,v), and True Color plots	YES	YES	YES
3D Irradiance Maps, Photorealism, and Luminance/Radiance (Lit Appearance)	YES	YES	YES
Flux, Ray History, Enclosed Energy, and Path Sorting	YES	YES	YES
Polarization Maps, Volume Flux, OPL, and Time-of-Flight Reports	NO	YES	YES

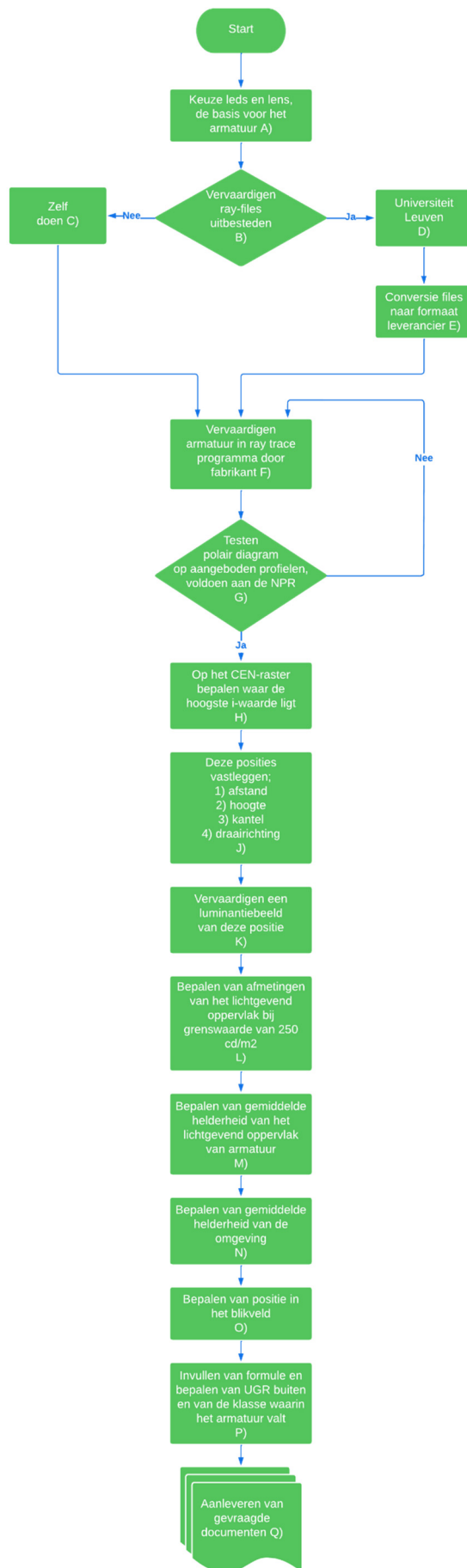
Figuur 1 TracePro®'s built-in luminance map module met de mogelijkheid om helderheden te meten in cd/m²

Naast de mogelijkheid van het vervaardigen van een luminantiebeeld is ook van belang dat de materialenbibliotheek van de software op orde is en is uitgerust met de reflectietabellen BRDF en BTDF.

De belangrijkste informatie is die van de led met lens zelf. In veel gevallen wordt deze led met lens extern aangekocht (inclusief ray files). Indien deze ray files niet worden bijgeleverd of over onvoldoende stralen beschikken, is het noodzakelijk om deze te laten meten.

De universiteit van Leuven heeft in de stad Gent op de campus een meetlaboratorium waar deze files, aan de hand van de geleverde leds inclusief lens, gemeten kunnen worden. De kosten hiervan liggen rond de € 1.500,- per file, inclusief conversie naar de software waarmee gewerkt wordt. Voor een betrouwbaar resultaat van het luminantiebeeld is het van belang dat de ray files voldoende stralen bevatten. Voor de input is de eis ten minste 100 miljoen stralen.

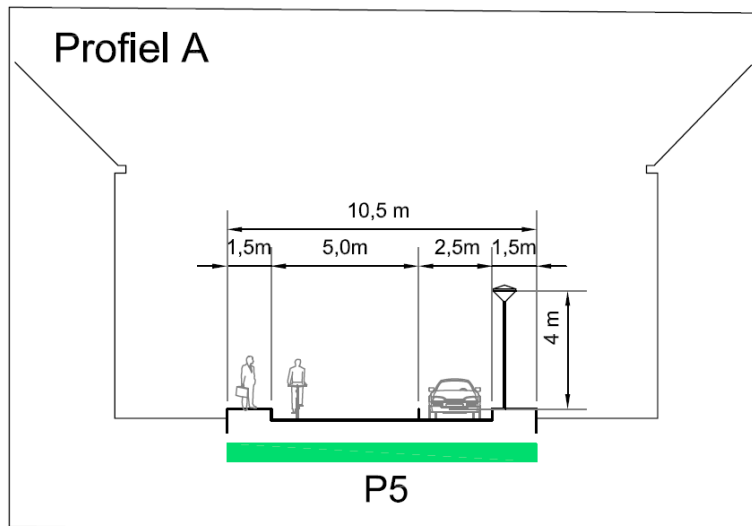
In figuur 2 is het proces weergegeven dat geadviseerd wordt te doorlopen om tot de juiste uitkomsten te komen. Het proces loopt van de keuze van de juiste led en lens tot het opleveren van de gevraagde documenten.



Figuur 2 Stroomdiagram gehele ontwerpproces, inclusief bepaling UGR (bron: <https://lucid.app/>)

Paragraaf A. Profiel, lichtberekeningen

De uitkomst van de waarde van de UGR zal verschillen per profiel. Voor de UGR buiten is gekozen voor een in Nederland veel voorkomend profiel. Dit profiel is afgebeeld in figuur 3. Dit profiel dient dus als uitgangspunt en zal de basis zijn voor het bepalen van de UGR waarden van een armatuur.



Figuur 3 Standaardprofiel aan de hand waarvan de UGR_{buiten} wordt bepaald (lichtpuntafstand = 4 meter, mastafstand = 25 meter)

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 3) en tussen twee opvolgende 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 $\rho = 0,25$.

Paragraaf B. Vervaardigen ray files

Om een goede basis te hebben voor de simulatie van het lichtgevend oppervlak is het noodzakelijk dat er een ray file beschikbaar is met ten minste 100 miljoen stralen. Naast de ray files is ook het 3d model van de lens van belang. Dit model van de lens wordt immers gebruikt in de ray tracing software om het luminantiebeeld te genereren.

Indien het 3d model van de lens niet bekend is of wanneer de fysieke lens geen overeenkomsten heeft met het geleverde 3d model van de lens dan moet hiervan een accuraat en correct 3d model gemaakt worden. Dat het 3d model niet overeenkomt met de bestelde lens komt vaak voor bij aanbieders als LEDiL en Corelight.

Paragraaf C. Zelf doen

Een andere mogelijkheid is het zelf vervaardigen van ray files en 3d modellen van de lens. Indien besloten wordt om zelf te gaan meten of de ray files van de toeleverancier te gaan gebruiken, dan dient er een controlestap in het proces te worden doorlopen. De controle bestaat uit het checken van de ray files op juiste hoeveelheid stralen en of het 3d model van de lens overeenkomt met de te bestellen lens.

Paragraaf D. Uitbesteden aan KU Leuven

De universiteit van Leuven biedt alle mogelijkheden voor de start van het ray tracing proces. Men kan de metingen uitvoeren. Indien gewenst, kunnen deze metingen dus aan de KU Leuven worden uitbesteed. De bestanden worden in het door de klant gewenste formaat aangeleverd. Deze service is aan te vragen bij het hoofd laboratorium Frédéric Leloup.

KU Leuven – Laboratorium voor Lichttechnologie

Adres:

Campus Rabot

Gebroeders De Smetstraat 1

9000 Gent

T: +32 (0)9 331.65.35

E: frederic.leloup@kuleuven.be

S: iiw.kuleuven.be/onderzoek/lichttechnologie

Paragraaf E. Conversie files

De conversie van de ray files naar het softwareformaat van de leverancier.

De universiteit van Leuven converteert de gemeten ray files naar een formaat dat voor de leverancier geschikt is om mee te werken. Indien het 3d model van de lens niet overeenkomt met het geleverde exemplaar dan dient deze ook gemeten te worden. Van belang is dat aangegeven wordt in welk formaat men dit lensmodel wenst.

Paragraaf F en G. Ontwerp armatuur

Het ontwerp van een armatuur dat voldoet aan de lichttechnische uitgangspunten zoals de klasse, de opstelling en het profiel zoals opgegeven in opgeven in paragraaf A.

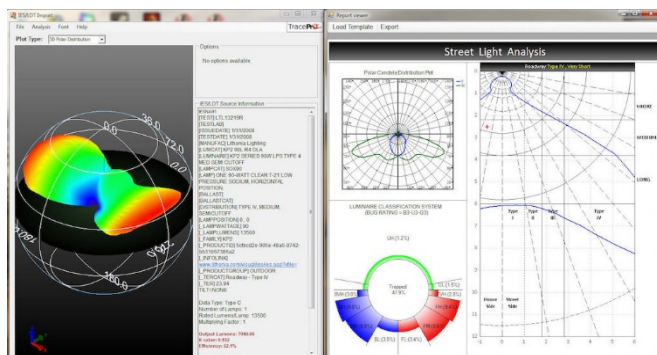
Het proces bestaat uit:

1. Inladen van een ray file,
2. 3d modelleren van het armatuur en aanbrengen van de reflectie- en refractie-eigenschappen van de materialen (uit bibliotheek of gemeten),
3. Oplossing bedenken om piekluminanties tegen te gaan (diffusor / reflectievak / anders),

Eerste tip: hoe groter het lichtgevend oppervlak uiteindelijk wordt, hoe lager de UGR.

Tweede tip: een te hoog lumenpakket (hoger dan nodig is voor 3,0 lux gemiddeld) resulteert in een onnodig hoge UGR.

4. Renderen van polair diagram,
5. Export maken van polair diagram (in een ies of ldt file),
6. Invoeren van polair diagram in lichtberekeningssoftware,
7. Check of de i-tabel / file het gebied conform de opgegeven klasse verlicht,
8. Model aanpassen stap 2) t/m 5) in de ray tracing software,
9. Check of de i-tabel / file het gebied conform de richtlijn verlicht op basis van reguliere lichtberekeningssoftware als Calculux, Dialux, Relux, Ulysse, Litestar 4D, Lighting reality,
10. Herhalen van procedure totdat het armatuur voldoet,
11. Opslaan 3d model van het 3d armatuur en dit gebruiken in stap K van het proces (zie figuur 2),
12. Uitdraai bewaren van de lichtberekening die voldoet als in te dienen document.



Figuur 4 File ies-formaat in het ontwerpproces TracePro®'s

Paragraaf H. Waarnemer met hoogste i-waarde

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 Nederlandse regelgeving is 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.

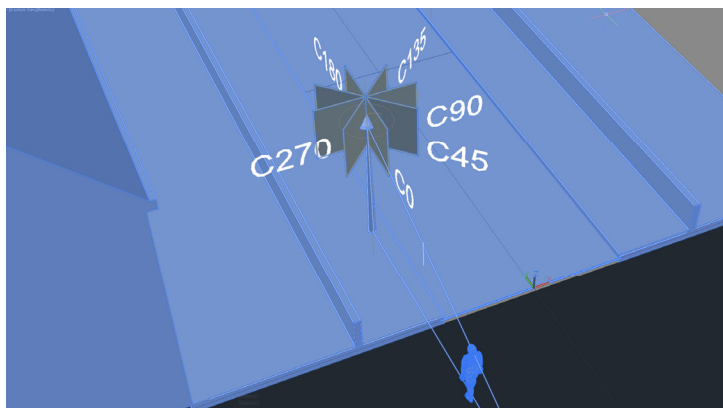


Figuur 5 Waarnemers op het CEN raster woonstraat die recht voortuit kijken (net als de eis voor Evert-min (NPR 13201:2018) ooghoogte = 1,5 meter)

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 lichtberekeningssoftware (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 6 Verdeling van de C-vlakken voor openbare verlichtingsarmaturen (de C-vlakken liggen op een andere plek dan bij armaturen voor binnenverlichting)

Paragraaf J. Locatie waarnemer vastleggen

Vastleggen waarnemer met meeste hinder.

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.

Nu de positie van de waarnemer met de meeste hinder vast ligt, kan de volgende stap worden doorlopen.

Paragraaf K. Vervaardigen luminantiebeeld

Het gaat hier om het lichtgevend oppervlak gezien vanuit de waarnemer vanuit de in stap J ingestelde waarnemerspositie.

Dit beeld moet in de ray tracing software gerenderd worden onder dezelfde hoek, richting en kantel als in paragraaf J is bepaald. Uit ervaring blijkt dat het meetbereik van de render moet liggen tussen 100 cd/m² en 10.000.000 cd/m². Om een betrouwbaar beeld te verkrijgen, is het noodzakelijk om het luminantiebeeld te renderen met de instelling medium of high. Mocht er hierbij ondersteuning gewenst zijn, dan kan de universiteit van Leuven daarbij helpen.

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.

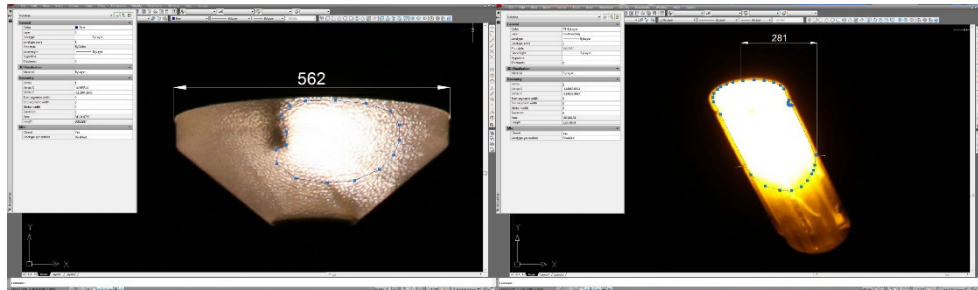
Paragraaf L. Bepalen lichtgevend oppervlak

Het lichtgevend oppervlak is te bepalen op basis van twee methoden: (1) door het aangeven van een grenswaarde in de software en het uitsluiten van het gebied dat onder de 250 cd/m² valt of (2) individueel pixel voor pixel.

1) Methode grenswaarde 250 cd/m²

Na het vervaardigen van een luminantiebeeld van het armatuur is het zaak om de afmeting te bepalen van het lichtgevend oppervlak. Doordat het armatuur in de software op schaal is gemodelleerd, kan deze oppervlakte eenvoudig worden bepaald. Hierbij is het belangrijk waar de grens ligt tussen behuizing en lichtgevend oppervlak. Deze grens ligt bij 250 cd/m²*. Na het aanbrengen van de grenswaarde van 250 cd/m² kan de oppervlakte worden bepaald. Diffuus maken van het beeld is hierbij niet toegestaan!

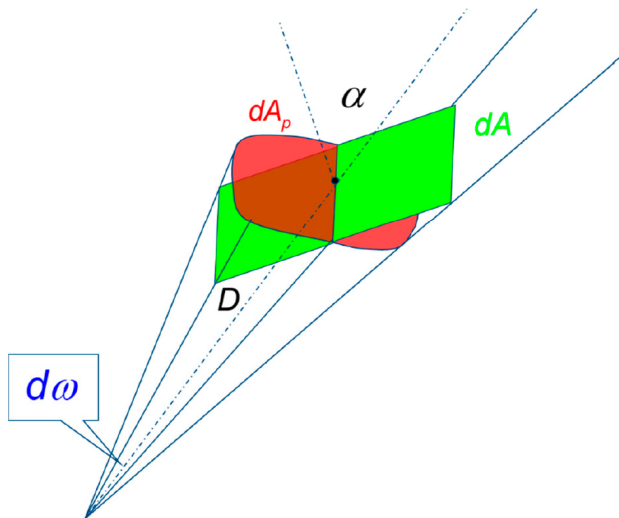
**grens lichtgevend oppervlak is bepaald door een groep waarnemers in de leeftijd van 23 t/m 60 jaar en middels fotografie en verschillende sluitertijden, iso-waarden en diafragma's en vergelijking van het beeld op het scherm met de eigen beleving.*



Figuur 7 Lichtgevend oppervlak volgens de waarnemers uit het onderzoek

Nu de oppervlakte is bepaald, dient de ruimtewinkel (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) 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 paragraaf I.

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



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

2) Methode pixel voor pixel

Om het effectieve lichtgevend oppervlak te bepalen op basis van pixels kunnen ook de onderstaande stappen ook worden doorlopen. Dit wordt ook wel de ω_{eff} genoemd.

$$\omega_{eff} = \sum_{i=1}^{np} v_i \omega_i$$

Hierbij is:

ω_{eff}	De effectieve ruimtehoek van het lichtgevend oppervlak
np	Het aantal te beoordelen pixels
v_i	De weegfactor op basis van de luminantiewaarde
ω_i	De ruimtehoek van pixel i

$v_i = 0$ voor de pixels waarbij de luminantiewaarde kleiner is dan 250 cd/m² (threshold).

$$L_{eff} = \sum_{i=1}^{np} w_i L_i$$

Hierbij is:

L_{eff}	De effectieve luminantie van het lichtgevend oppervlak
np	Het aantal te beoordelen pixels
w_i	De weegfactor voor de luminantie op de luminantiewaarde van pixel i
L_i	De luminantie van pixel i

$w_i = 0$ voor de pixels waarbij de luminantiewaarde kleiner is dan 250 cd/m² (threshold).

Paragraaf M. Bepalen gemiddelde helderheid armatuur

Na het renderen van het luminantiebeeld van het armatuur moet de gemiddelde helderheid van het lichtgevend oppervlak van het armatuur worden bepaald. Tot dit vlak behoren alleen de luminantiewaarden die hoger zijn dan 250 cd/m².

Dit is dan ook de helderheid van het lichtgevend oppervlak dat later moet worden ingevuld in de formule.

Paragraaf N. Bepalen gemiddelde helderheid omgeving

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 $L_b = 0,06 \times 0,43 + L_{\text{gem-weg}} \times 0,57$.

Invullen voor $L_{\text{gem-weg}}$

$P_5 = 3$ lux gemiddeld en $0,24 \text{ cd/m}^2$ (uitgaan van $Q_0 = 0,08$)

$P_4 = 5$ lux gemiddeld en $0,40 \text{ cd/m}^2$ (uitgaan van $Q_0 = 0,08$)

$M_4 = 0,75 \text{ cd/m}^2$

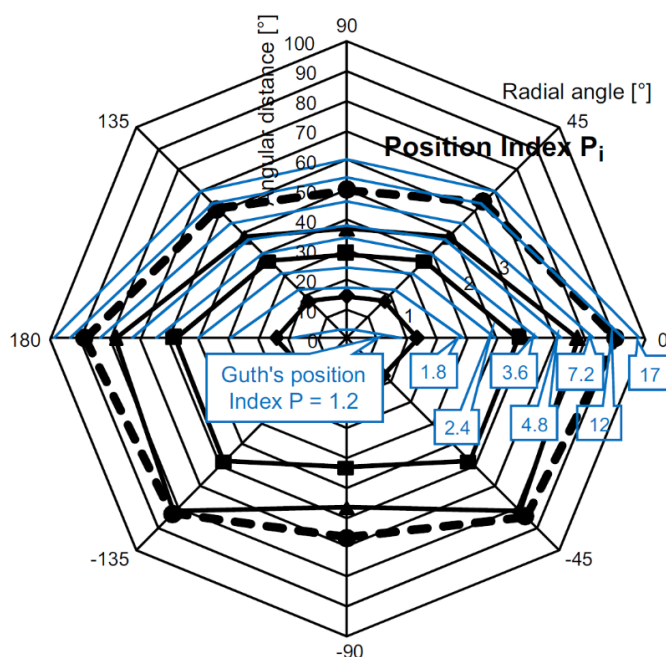
$M_3 = 1,00 \text{ cd/m}^2$

Paragraaf O. Indexpositie in het blikveld

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 paragraaf I 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.*

Paragraaf P. Invullen van de formule

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.

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

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

Hierbij is:

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

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

P = position index (zie paragraaf O),

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

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.

Paragraaf Q. Te leveren documenten

Het proces kan uiteindelijk deze documenten opleveren:

- 1) Een lichtberekening van het profiel waaruit blijkt dat er lichttechnisch wordt voldaan aan de gestelde verlichtingsklasse.
- 2) Een document waaruit blijkt hoe groot de berekende UGR waarde is bij dit profiel.
- 3) De onderbouwing hoe er aan de UGR is gekomen, bestaande uit een luminantiebeeld van het lichtgevend oppervlak, een polair diagram, een berekening van i-maximaal en de afmeting van het armatuur.

Een berekening bestaat uit de volgende documenten:

- a) Lichtberekening van het profiel (aantonen dat aan de klasse kan worden voldaan),
- b) Berekening van de positie van de waarnemer met de hoogste i-waarde, inclusief cd-waarde,
- c) Simulatie van het lichtgevend oppervlak,
- d) Inge vulde UGR berekening met uitkomst.

De bovengenoemde documenten kunnen worden beoordeeld op het behalen van de maximaal toegestane UGR en of het armatuur kan voldoen in het opgegeven profiel.

In bijlage 1 is een checklist opgenomen die handzaam kan zijn ter verificatie van het proces.

Paragraaf R. Te behalen UGR waarde

De UGR waarde van de aangeboden armaturen moet beter zijn dan die van de oude fluorescentie armaturen die veelvuldig gebruikt zijn in de Nederlandse woonstraten. Eén van de alom geaccepteerde armaturen is de Indal 2000 kegel van Industria voorzien van PLL 24W en geplaatst op een lichtpunthoogte van 4 meter.

UGR buiten	Type	cd	m2	L tot armatuur (m)	Solid angle	Hoek armatuur t.a.v. kijkhoek	Guth index	Lb
33,04	Industria Indal 2000	385 cd	0,0685	6,54	0,001602	23,59	2,4	0,1626
	PLL 24W	5620,437	cd/m2					
32,84	Industria Indal 2065	403 cd	0,0396	7,50	0,001036	36	3,6	0,1626
	Led	10176,77	cd/m2					
29,77	Focus Space symetrisch	568 cd	0,0482	4,84	0,00032	36	3,6	0,1626
	Led	11784,23	cd/m2					

Tabel 1 Grenswaarde UGR voor 4 meter profiel

In tabel 1 is te zien dat de berekende waarde voor een woonstraat met 3 verschillende armaturen (twee led armaturen en één conventioneel armatuur) een UGR score behalen van tussen de 30 en 33.

Van de boven getoonde armaturen is de Focus Space het minst verblindend.

Bijlagen

1. Checklist in pdf

Bijlage 1 Checklist in PDF

Checklist ray tracing proces

Naam bedrijf	
Vestigingsadres	
Vestigingsplaats	
KVK nummer	
Vertegenwoordiger	
Datum	
Plaats	
Armatuur nummer/naam/type	

Proces	Select	Omschrijving actie	Actie	Status
	A	☐ Selecti keuze leds en lenzen	☐ Select	
	B	☐ Selecti vervaardigen ray files	☐ Select	
	C	☐ Selecti zelf doen	☐ Select	
	D	☐ Selecti uitbesteden aan universiteit Leuven	☐ Selecti	
	E	☐ Selecti conversie gemeten ray files	☐ Selecti	
	F	☐ Selecti vervaardigen armatuur in ray tracing software	☐ Select	
	G	☐ Selecti testen polair diagram	☐ Selecti	
	H	☐ Selecti op CEN raster bepalen waar hoogste i-waarde ligt	☐ Select	
	J	☐ Selecti positie met meeste hinder waarnemer vastleggen	☐ Select	
	K	☐ Selecti vervaardigen van lumiantiebeeld vanuit positie	☐ Select	
	L	☐ Selecti bepalen van afmeting van lichtgevend oppervlak	☐ Select	
	M	☐ Selecti bepalen van gemiddelde helderheid van lichtgevend oppervlak	☐ Select	
	N	☐ Selecti bepalen van gemiddelde helderheid van omgeving	☐ Select	
	O	☐ Selecti bepalen positie in het blikveld	☐ Select	
	P	☐ Selecti leveren van gevraagde documenten	☐ Select	

Opmerkingen	
-------------	--