

Technische specificatie 005 Uitrusting openbare verlichting

C4/11-2: Voorschriften voor verlichtingstoestellen Fotometrische vereisten

Versie juni 2016

INHOUDSTAFEL

1. ALGEMEENHEDEN	3
1.1. TOEPASSINGSGEBIED	3
1.2. WOORDENSCHAT	4
1.3. REFERENTIE NORMEN	5
2. INLEIDING	5
2.1. VERLICHTINGSTOESTEL(LEN) VOOR DE OPENBARE VERLICHTING	5
2.2. VEREISTEN VOOR EEN FOTOMETRISCHE STUDIE	5
3. METHODE VOOR DE BEPALING VAN DE PARAMETERS DIE IN AANMERKING GENOMEN WORDEN	7
3.1. POWER DENSITY INDICATOR (D_p)	7
3.1.1. <i>Berekening van de Power Density Indicator</i>	7
3.1.2. <i>In aanmerking te nemen oppervlakken</i>	8
3.1.3. <i>In aanmerking te nemen gemiddelde horizontale continue verlichtingssterkte</i>	8
3.1.4. <i>In aanmerking te nemen systeemvermogen</i>	9
3.2. ANNUAL ENERGY CONSUMPTION INDICATOR (D_E)	9
3.2.1. <i>Berekening van de annual Energy Consumption Indicator</i>	9
3.2.2. <i>In aanmerking te nemen oppervlak</i>	10
3.2.3. <i>In aanmerking te nemen systeemvermogen P_j</i>	10
3.2.4. <i>Duur van de werkingstijd t_j</i>	10
4. BEPALING VAN DE ENERGIEPRESTATIE	12
4.1. INTERPRETATIE VAN D_p EN D_E	12
4.2. VERGELIJKING VAN VERSCHILLENDE VERLICHTINGSUITRUSTINGEN VOOR DEZELFDE OPPERVAKTES	12
4.3. REFERENTIEWAARDEN	13
4.3.1. <i>Referentiewaarden voor klasse M wegen</i>	14
4.3.2. <i>Referentiewaarden voor klasse C wegen</i>	15
4.4. VOORBEELDEN VOOR DE BEPALING VAN DE ENERGIEPRESTATIE (EENBAANSWEG)	16
4.5. VERBETERING VAN DE WAARDEN D_p EN D_E	17
5. OPMERKINGEN	18
BIJLAGE A (INFORMATIEF): EEN STRAAT MET TWEE VERLICHTINGSKLASSEN	19

1. ALGEMEENHEDEN

1.1. Toepassingsgebied

Deze technische specificatie beschrijft de energieprestaties waaraan een installatie van openbare verlichting moet voldoen. Zij legt meer bepaald de basis om te oordelen over de relevantie en de energie efficiëntie van het gebruik van een openbaar verlichtingstoestel in een wegconfiguratie of een bepaalde oppervlakte.

Deze technische specificatie is alleen van toepassing op verlichte oppervlaktes die binnen de verlichtingsklassen M of C (volgens de norm EN 13201) vallen. Verlichte oppervlaktes die voldoen aan verschillende verlichtingsklassen worden behandeld in bijlage A (op informatieve wijze).

Deze technische specificatie is niet van toepassing op volgende verlichtingsinstallaties:

- In de grond ingebouwde projectoren,
- Bollards of een geheel van verlichtingspalen met een hoogte die lager is dan 3 m;
- Projectoren

De methode die in dit document voorgesteld wordt omvat eveneens het eventueel gebruik van technologieën voor het dimmen.

De voorgestelde methode kan gebruikt worden enerzijds om het niveau van de energieprestatie van een installatie te vergelijken met de verwachte referentiewaarden voor een installatie die goede prestaties levert en anderzijds, om de efficiëntie te vergelijken van verschillende installatieprojecten die voor een zelfde oppervlakte werden ontworpen.

Ze stelt de realisatie van een fotometrische studie voor in overeenstemming met de vereisten van de norm NBN EN L18-004. Nadien worden de energieprestaties van de installatie geëvalueerd.

1.2. Woordenschat

Openbare verlichtingsinstallatie	<p>Het geheel bestaande uit verlichtingstoestellen, lichtbronnen, elektrische onderdelen en de ondersteuning die een gegeven openbare ruimte verlicht. De inplantingsmodaliteiten (hoogte, afstand, inclinatie...) zijn parameters die een openbare verlichtingsinstallatie bepalen.</p>
Dimming	<p>Tijdelijke vermindering van de lichtstroom van de lichtbronnen van een openbaar (LED) verlichtingstoestel met het doel om energie te besparen en/of de lichtvervuiling te beperken.</p>
Power Density Indicator PDI (van een verlichtingsinstallatie in een gegeven werkingstoestand) D_p	<p>Waarde van het vermogen van de installatie gedeeld door de waarde van het product van de verlichte oppervlakte en de gemiddelde continue verlichtingssterkte van deze verlichtingsinstallatie. Deze gemiddelde continue verlichtingssterkte is het resultaat van een fotometrische studie in overeenstemming met de norm EN 13201-3 (eenheid: $W \cdot lx^{-1} \cdot m^{-2}$)</p>
Annual Energy Consumption Indicator AECI (van een verlichtingsinstallatie over een volledig jaar) D_E	<p>Totale elektrische energie verbruikt door een verlichtingsinstallatie (zowel overdag als s' nachts) gedurende een volledig jaar in relatie met het totale oppervlak dat door deze installatie verlicht wordt. (eenheid : $Wh \cdot m^{-2}$)</p>
System Power P	<p>Totaal vermogen van een openbare verlichtingsinstallatie nodig om te voldoen aan de vereisten van de verlichtingsklasse zoals bepaald door de norm NBN L18-004 voor alle deelopervlakken met inbegrip van de vermogens nodig voor de correcte werking en controle van de verlichtingsinstallatie. (eenheid: W)</p>
Constant Light Output CLO	<p>Regelsysteem van een openbare verlichtingsinstallatie met als doel een constant lichtstroom te bewerkstelligen gedurende de levensduur van de OV-installatie. NOTE 1 het doel van deze functionaliteit is om de lichtstroomverliezen veroorzaakt door veroudering van de lichtbronnen te compenseren.</p>
Virtual Power Output VPO	<p>Constante vermindering van het elektrische vermogen van een lichtbron tot een door de gebruiker te configureren waarde met als doel een over-verlichting te voorkomen.</p>
Edge Illuminance Ratio EIR	<p>Verhouding tussen de gemiddelde horizontale verlichting op een aangrenzende strook aan de buitenzijde van de weg gedeeld door de gemiddelde horizontale verlichting op een grenstrook aan de binnenzijde van de weg. De twee stroken hebben de breedte van een rijstrook van de weg.</p>

1.3. Referentienormen

De meest recente versie van de volgende normen, en eventueel hun addenda, zijn van toepassing:

NBN EN 13201-2	Wegverlichting – Deel 2: Prestatie-eisen
NBN EN 13201-3	Wegverlichting – Deel 3: Prestatieberekening
NBN EN 13201-5	Wegverlichting – Deel 5: Energy performance indicators
NBN L 18-004	Wegverlichting – Selectie van verlichtingsklassen

2. Inleiding

2.1. Verlichtingstoestel(len) voor de openbare verlichting

De verlichtingstoestel(len) voor openbare verlichting die de verlichtingsinstallatie vormen moeten bij voorkeur conform zijn aan de elektrische en technische vereisten vastgelegd in de volgende Synergrid voorschriften:

C4/11-1	Technische specificatie 005 – uitrusting openbare verlichting. Voorschriften met betrekking tot verlichtingstoestellen: constructie en onderhoudsvereisten
C4/11-3	Voorschriften voor verlichtingstoestellen uitgerust met LED technologie

2.2. Vereisten voor een fotometrische studie

Een fotometrische studie met betrekking tot een verlichtingsinstallatie voor openbare verlichting moet voldoen aan de volgende vereisten:

- De vereiste niveaus moeten in overeenstemming zijn met de niveaus beschreven in de normen NBN L18-004 en NBN EN 13201-2¹, met inbegrip van de aangrenzende oppervlakken. Daarboven zullen de waarden van de gemiddelde continue verlichting en de gemiddelde continue luminantie de voorgeschreven waarden niet met meer dan 25% overschrijden;
- De berekeningsmodaliteiten zijn in overeenstemming met de norm NBN EN 13201-3;
- De fotometrische lichtverdelingen die gebruikt worden zijn opgesteld in overeenstemming met de normenreeks EN 13032 voor verlichtingstoestellen met ontladingslampen en de norm

¹ Voor sommige oppervlakten wordt het vereiste niveau bepaald in de norm NBN EN 12464-2 – ‘Verlichting voor werkplekken buiten’

IEC DIS 025/E:2014 voor LED verlichtingstoestellen. De fotometrische lichtverdelingen zullen bij voorkeur gemeten worden door een ISO 17025 erkend laboratorium.

- In het geval van openbare verlichtingstoestellen voorzien van ontladingslampen, is de onderhoudsfactor die gebruikt moet worden diegene vermeld in de norm NBN L18-004;
- In de afwezigheid van normen, moet de onderhoudsfactor van de LED verlichtingstoestellen vastgesteld worden, rekening houdend met:
 - De levensduur van het LED verlichtingstoestel
 - De onderhoudsmodaliteiten (reinigingsintervallen...)
 - De depreciatie van de lichtstroom van de LEDs voor de verwachte levensduur
 - De depreciatie van de optische prestaties van het LED verlichtingstoestel (vervuiling, veroudering van de lenzen, de overkapping...) voor de verwachte levensduur, rekening houdend met de onderhoudsmodaliteiten die voorzien zijn;
- de wegdekbeclading die in aanmerking genomen wordt is diegene aanbevolen in de norm NBN L18-004, zijnde R3008;
- In het geval van ontladingslampen, is de lichtstroom die in aanmerking genomen wordt diegene vermeld in het voorschrift C4/9 - "Voorschriften met betrekking tot lampen". Bij gebrek, wordt de lichtstroom vermeld door de fabrikant gebruikt;
- Het vermogen dat in aanmerking genomen wordt voor elke verlichtingstoestel is het volgende:
 - Voor een verlichtingstoestel uitgerust met een ontladingslamp: het forfaitair vermogen opgenomen in het document C4/9-A – Forfaitair verbruik van lampen voor openbare verlichting
 - Voor een LED verlichtingstoestel: het forfaitair vermogen bepaald bij de erkenning volgens het voorschrift C4/11-3. Indien het verlichtingstoestel niet gehomologeerd werd, is het vermogen dat in aanmerking dient genomen te worden hetgeen dat gemeten werd volgens het voorschrift C4/15 "Regels voor de elektriciteitsafname van LED-systemen voor openbare verlichting aangesloten op het netwerk van de DNB's zonder meter."

3. Methode voor de bepaling van de parameters die in aanmerking genomen worden

De energetische evaluatie van een openbare verlichtingsinstallatie voor een bepaald oppervlakte moet rekening houden met de Power Density Indicator (D_P) en de Annual Energy Consumption Indicator (D_E).

De Power Density Indicator is kenmerkend voor het vermogen van de uitrustingen dat geïnstalleerd werd ten opzichte van de oppervlakten die verlicht worden onafhankelijk van elk vorm van verlichtingsbeheer (namelijk dimming, doven...). De Annual Energy Consumption Indicator neemt het verlichtingsbeheer over de periode van een volledig jaar in rekening.

3.1. Power Density Indicator (D_P)

3.1.1. Berekening van de Power Density Indicator

De Power Density Indicator van een oppervlak – eventueel opgedeeld in deeloppervlakken – moet volgens de gegeven formule berekend worden:

$$D_P = \frac{P}{\sum_{i=1}^n (\bar{E}_i \cdot A_i)}$$

Waarbij:

- D_P de Power Density Indicator is uitgedrukt in $W \cdot lx^{-1} \cdot m^{-2}$
- P het systeemvermogen van de verlichtingsinstallatie dat gebruikt wordt om de betrokken oppervlakken te verlichten, uitgedrukt in W
- \bar{E}_i is de gemiddelde horizontale continue verlichting van de deeloppervlakken « i », uitgedrukt in lx
- A_i is de grootte van de verlichte deeloppervlakte "i" uitgedrukt in m^2
- n is het aantal verlichte deeloppervlakken

De Power Density Indicator is berekend voor een installatie die werkzaam is op nominaal vermogen zonder rekening te houden met een eventuele dimming.

3.1.2. In aanmerking te nemen oppervlakken

De oppervlakken die in aanmerking moeten genomen worden bij de berekening van de Power Density Indicator komen overeen met het geheel van de nuttige oppervlakken die door de openbare verlichtingsinstallatie verlicht worden. Het oppervlak wordt onderverdeeld in deeloppervlakken in geval van verschillende classificaties (voetpad vs rijbaan vs fietspad) of niet aan elkaar grenzende oppervlakken. De deeloppervlakken zijn beperkt tot een representatieve lengte zoals hieronder gedefinieerd.

De aangrenzende deeloppervlakken die in aanmerking worden genomen bij de berekening van het EIR worden niet opgenomen.

De representatieve lengte die in aanmerkingen genomen wordt is de volgende:

- Wanneer één enkel verlichtingssysteem voorzien is:
 - Voor enkelzijdige, middenberm en dubbelzijdige opstellingen: de afstand tussen twee opeenvolgende verlichtingstoestellen
 - Voor geschrante opstellingen: de afstand tussen twee opeenvolgende verlichtingstoestellen (aan dezelfde zijde) gedeeld door 2
- Wanneer verschillende verlichtingssystemen gecombineerd worden om eenzelfde oppervlak te verlichten, moet de lengte die in aanmerking wordt genomen dezelfde zijn voor alle deeloppervlakken.

3.1.3. In aanmerking te nemen gemiddelde horizontale continue verlichtingssterkte

Voor elk deel-oppervlak (met inbegrip van de M klasse) is de waarde die in aanmerking moet genomen worden de gemiddelde horizontale continue verlichting die in de fotometrische studie behaald werd (niet de waarde die voorgeschreven wordt door de norm NBN L18-004).

Voor de oppervlaktes met klassen C en P (waarvoor de vereisten uitgedrukt worden in verlichtingssterkte), wordt de gemiddelde horizontale continue verlichtingssterkte berekend volgens de norm EN 13201-3.

Voor de oppervlaktes van de klasse M (waarvoor de vereisten uitgedrukt worden in luminantie) voorziet het document prEN 13201-5 dat de gemiddelde horizontale continue verlichting berekend wordt door gebruik te maken van het rekenrooster voor luminanties. Het gebruik van het rekenrooster voor de verlichtingssterkte zoals gedefinieerd in de norm EN 13201-3 is echter eveneens toegelaten.

3.1.4. In aanmerking te nemen systeemvermogen

Het systeemvermogen voor een bepaald deel-oppervlak omvat:

- Het vermogen van de verlichtingstoestellen zoals gedefinieerd in §2.2. ;
- Het extra equivalent vermogen per verlichtingstoestel voor de voeding van eventuele andere onderdelen (nl. sensoren, individuele stueenheden van verlichtingstoestellen, centrale stueenheden...) die gebruikt worden om de verlichtingsinstallatie te sturen moet vermenigvuldigd worden met het aantal verlichtingstoestellen betrokken bij de verlichting van het betreffende deel-oppervlak.

3.2. Annual Energy Consumption Indicator (D_E)

3.2.1. Berekening van de annual Energy Consumption Indicator

De Annual Energy Consumption Indicator van een installatie die een oppervlak verlicht dat onderworpen is aan eenzelfde beheerscenario wordt berekend als volgt:

$$D_E = \frac{\sum_{j=1}^m (P_j \cdot t_j)}{A}$$

Waarbij:

D_E is de Annual Energy Consumption Indicator voor een verlichtingsinstallatie, uitgedrukt in $\text{Wh}\cdot\text{m}^{-2}$;

P_j is het systeemvermogen tijdens de werkingsperiode J, uitgedrukt in W;

t_j is de duur van de werkingsperiode J overeenkomstig het vermogen P_j tijdens een periode van één jaar, uitgedrukt in h;

A is de grootte van de verlichte oppervlak per verlichtingsinstallatie en onderworpen aan hetzelfde beheerscenario, uitgedrukt in m^2 ;

m is het aantal periodes met verschillende systeemvermogens P_j . Een mogelijk stand-by verbruik terwijl de verlichting niet functioneert, moet eveneens in aanmerking genomen worden.

3.2.2. In aanmerking te nemen oppervlak

Het oppervlak dat in aanmerking genomen moet worden voor de Annual Energy Consumption Indicator komt overeen met het verlichte oppervlak door de verlichtingsinstallatie en onderworpen aan hetzelfde beheerscenario. Eenzelfde beheerscenario omvat het volgende:

- hetzelfde dimming scenario in termen van vermogen
- dezelfde CLO en/of VPO functionaliteit
- hetzelfde standby-vermogen

Indien er meer dan één beheerscenario is binnen eenzelfde installatie, dan moet D_E berekend worden voor elk oppervlak dat een verschillende scenario volgt. De totale waarde voor D_E die in aanmerking moet genomen worden is de som van de D_E van elke oppervlakte.

3.2.3. In aanmerking te nemen systeemvermogen P_j

Het in aanmerking te nemen systeemvermogen omvat eveneens het vermogen van de verlichtingsuitrusting die de verlichting verzorgt:

- Voor een verlichtingstoestel uitgerust met een ontladingslamp, is het forfaitair vermogen opgenomen in het document C4/9-A "Forfaitair vermogen van lampen voor openbare verlichting" rekening houdend met het dimming-regime dat gerealiseerd wordt tijdens de werkingsperiode J . Voor een LED verlichtingsuitrusting, wordt het vermogen van het toestel gemeten conform het voorschrift C4/11-4 'Methode voor de meting van het vermogen van LED systemen voor openbare verlichting' met inbegrip van de dimming. Ingeval van de implementatie van een Constant Light Output (CLO), is het vermogen P_j dat in aanmerking genomen moet worden het gemiddelde verwachte vermogen voor de werkingsperiode van de CLO.
- Het extra equivalent vermogen per verlichtingsuitrusting voor de voeding van mogelijke andere elektrische onderdelen (sensoren, individuele stureenheden van de verlichtingsuitrusting, centrale stureenheden...) die gebruikt worden voor de sturing van de verlichtingsinstallatie.

3.2.4. Duur van de werkingstijd t_j

Ter informatie: indien de openbare verlichtingsinstallatie permanent onder spanning blijft (zelfs wanneer de verlichting uit is), is de som van t_j gelijk aan 8760h.

Voor een klassieke openbare verlichtingsinstallatie waarvan de voeding overdag is uitgeschakeld, benadert de som van t_j 4200h.

4. Bepaling van de energieprestatie

4.1. Interpretatie van D_p en D_E

Voor een verlichtingsinstallatie, geeft de coëfficiënt D_p het vermogen per oppervlakte-eenheid weer nodig om een resultaat te verkrijgen conform de normen. Het geeft eigenlijk een idee van de energieprestatie van de installatie, onafhankelijk van elk mogelijk beheerscenario. Het vertaalt dus de prestatie van de gekozen uitrusting (lampen, verlichtingsuitrustingen...) en hun adequate inplanting voor het betrokken te verlichten oppervlak. Hoe lager D_p , hoe hoger de initiële energieprestatie.

Voor een verlichtingsinstallatie, komt de D_E coëfficiënt overeen met het jaarlijks verbruik per verlichtte m^2 . Het geeft een idee van de energieprestatie van een installatie in werking, met inbegrip van de implementatie van eventuele beheersscenario's voor de verlichting. Hoe lager de waarde voor D_E , hoe hoger de energieprestatie van de installatie in werking.

Om een installatie vanuit energetisch oogpunt correct te kunnen beoordelen, moeten beide parameters in aanmerking genomen worden.

4.2. Vergelijking van verschillende verlichtingsuitrustingen voor dezelfde oppervlaktes

Aangezien de berekening van D_p en D_E impliceert dat de overwogen oplossingen conform zijn aan de geldende normen, moet deze vraag niet meer gesteld worden bij een vergelijking.

Daarom is het evident dat, vanuit een energetisch standpunt, de installatie met de laagste D_p en D_E als meest efficiënte zal beschouwd worden.

Wanneer men geconfronteerd wordt met een situatie waarbij onder de verschillende aangeboden oplossingen, niet dezelfde installatie zowel de laagste waarde voor D_p als voor D_E heeft, is een overweging nodig. Concreet betekent dit dat verschillende beheersscenario's zijn opgenomen in de voorgestelde oplossingen. Alleen al op energetisch niveau, dient men a priori de installatie met de laagste waarde voor D_E het voordeel te geven aangezien zij de laagste energiefactuur met zich mee zal brengen. Deze redenering is echter enkel van toepassing indien met overtuigd is van het behoud van het voorgestelde beheerscenario voor de volledige levensduur van de gehele installatie. Bij twijfel of omwille van een waarschijnlijke evolutie is het aangewezen om een oplossing met een hogere D_E en een lagere D_p te verkiezen.

4.3. Referentiewaarden

Het is eveneens mogelijk om de energieprestatie van een installatie in absolute termen te evalueren door hun referentie waardes te vergelijken.

De referentiewaarden die hieronder weergegeven worden zijn de maximum waarden die toegelaten zijn voor een nieuwe verlichtingsinstallatie. Dit zijn voorwaardelijke cijfers vatbaar voor wijzigingen in functie van de technische evolutie.

Enkel de waarden voor D_p worden vermeld. Voor D_E is het wegens de het groot aantal beheersscenario's onmogelijk om soortgelijke waarden vast te leggen. Dit moet inderdaad gedaan worden in functie van de publieke ruimte (bv. een winkelstraat heeft andere eisen dan een straat in een woonwijk).

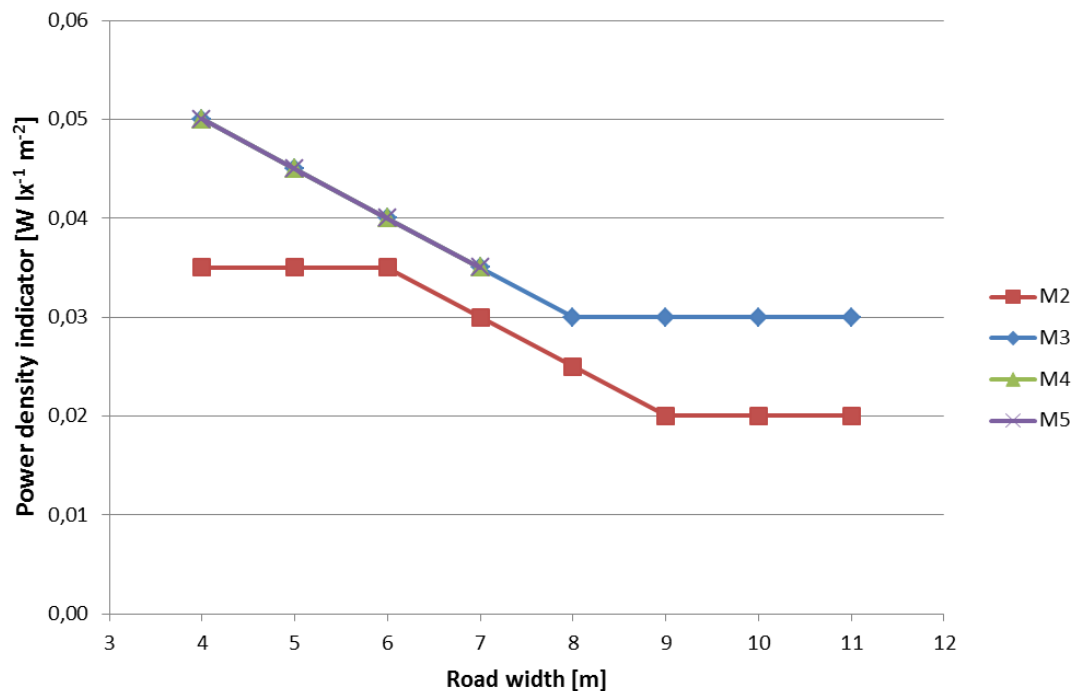
Voor de straatbreedtes die niet opgenomen zijn in de tabel moeten de waarden voor D_p op lineaire manier geïnterpoleerd of geëxtrapoleerd worden.

4.3.1. Referentiewaarden voor klasse M wegen

Afhankelijk van de breedte van de weg mag de waarde van D_p niet groter zijn dan de waarden opgenomen in onderstaande tabel en figuur:

Breedte weg (m)	Verlichtingsklasse			
	M2	M3	M4	M5
4	0,035	0,050	0,05	0,05
5	0,035	0,045	0,045	0,045
6	0,035	0,040	0,040	0,040
7	0,03	0,035	0,035	0,035
8	0,025	0,030		
9	0,020	0,030		
10	0,020	0,030		
11	0,020	0,030		

Tabel 1 Maximum DP waarde (uitgedrukt in $W lx^{-1} m^{-2}$) voor klasse M wegen



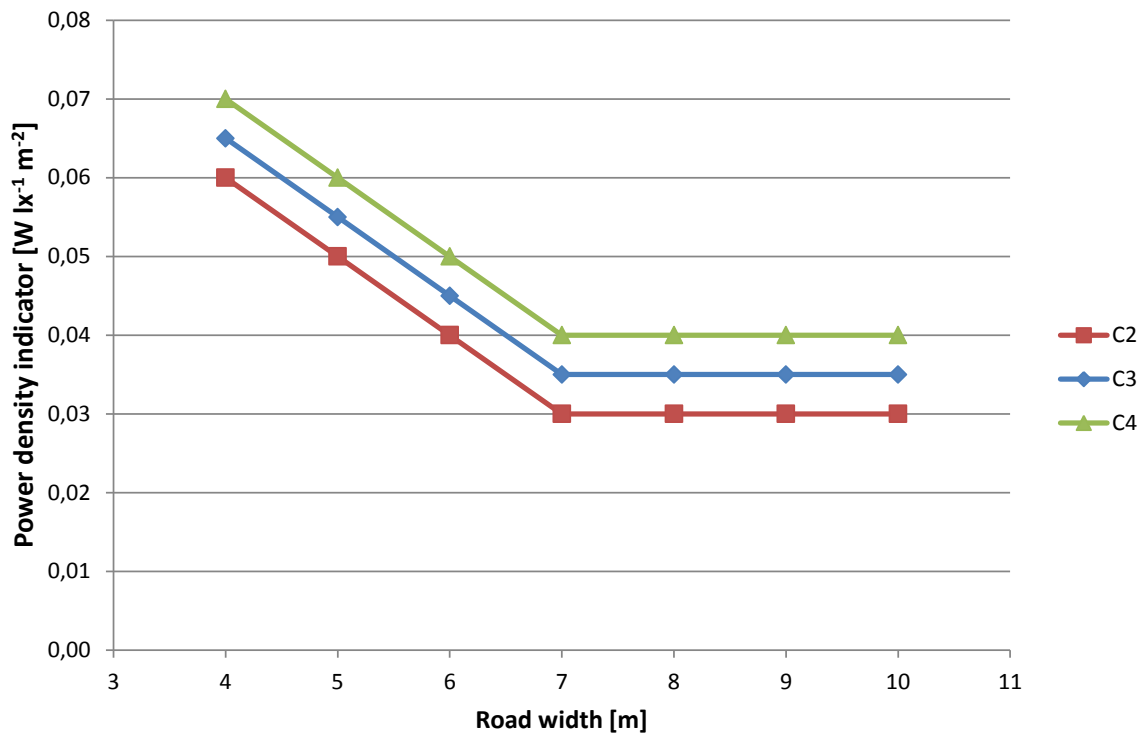
Figuur 1 Maximum DP waarde voor klasse M wegen

4.3.2. Referentiewaarden voor klasse C wegen

Afhankelijk van de breedte van de weg mag de waarde van D_p niet groter zijn dan de waarden opgenomen in onderstaande tabel en figuur:

Breedte weg (m)	Verlichtingsklasse		
	C2	C3	C4
4	0,060	0,065	0,070
5	0,050	0,055	0,060
6	0,040	0,045	0,050
7	0,030	0,035	0,040
8	0,030	0,035	0,040
9	0,030	0,035	0,040
10	0,030	0,035	0,040

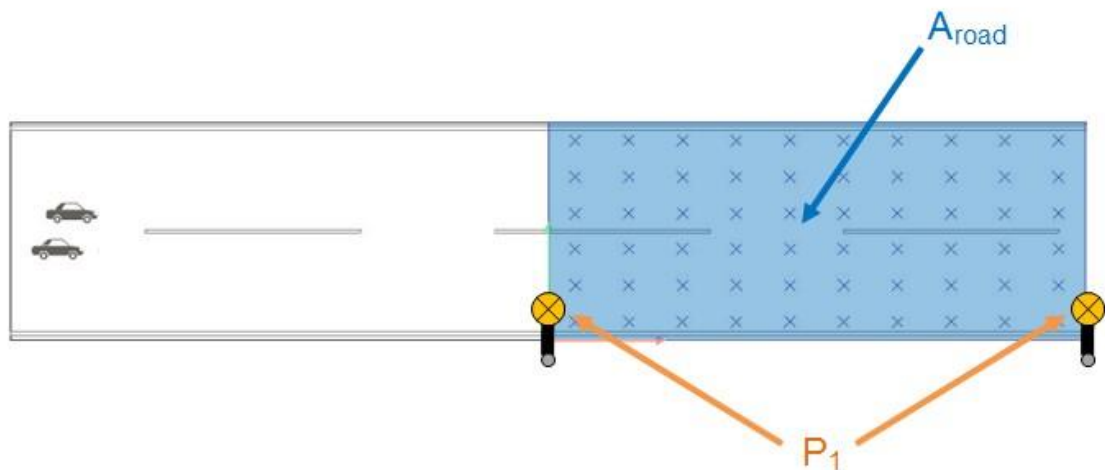
Tabel 2 Maximum DP waarden ((uitgedrukt in $W lx^{-1} m^{-2}$) voor klasse C wegen



Figuur 2 Maximum DP waarden voor klasse C wegen

4.4. Voorbeelden voor de bepaling van de energieprestatie (eenbaansweg)

De verlichte gebieden die gekenmerkt worden door één enkele M- of C-klasse moeten geëvalueerd worden zoals in onderstaand figuur:



Beschrijving van de we gen van de verlichtingsuitrusting:

- Breedte van de straat: 7 m (2 rijbanen elk met een breedte van 3,5 m)
- Afstanden tussen de verlichtingspalen: 36 m
- Gebied A_{road} : 252 m²
- Hoogte van de verlichtingstoestellen: 8 m
- Vermogen van het verlichtingstoestel P_1 : 115 W (NAHP lamp 100W met elektronische voorschakelapparatuur)
- Lichtstroom van de lamp: 10000 lm (NAHP lamp 100W)
- Onderhoudsfactor: 0,92 (Lamp NaHP, IP66, glazen kap)
- Jaarlijkse werkingstijd t : 4282 h
- Classificatie van de weg: M3 (1,00 cd/m²)
- Gemiddelde onafgebroken luminantie verkregen op A_{road} : 1,04 cd/m² (met inbegrip van de onderhoudsfactor)
- Gemiddelde onafgebroken verlichtingssterkte E_{road} verkregen op A_{road} : 14,4 lx (met inbegrip van de onderhoudsfactor)

Volgens de vergelijking in §3.1.1. , wordt de Power Density Indicator (D_p) als volgt berekend:

$$D_p = \frac{P_1}{E_{road} A_{road}} = \frac{115 W}{14,4 lx \cdot 252 m^2} = 0,032 Wm^{-2}lx^{-1}$$

De installatie beantwoordt aan de vereisten van C4/11-2 (versie 2015), want:

- De gemiddelde onafgebroken luminantie berekend op basis van de weg is niet meer dan 25% hoger dan de voorgeschreven waarden (klasse M3 = 1,00 cd/m²)
- De Power Density Factor is lager dan de waarde opgenomen in Tabel 1 voor een weg met een breedte van 7 m en klasse M3 (<0,035).

Volgens de vergelijking van §3.1.2. is de Annual Energy Consumption Indicator (D_E):

$$D_E = \frac{P_1 \cdot t}{A_{voirie}} = \frac{115 \text{ W} \cdot 4282 \text{ h}}{252 \text{ m}^2} = 1954 \text{ Whm}^{-2}$$

4.5. Verbetering van de waarden D_P en D_E

Zowel D_P als D_E zijn afhankelijk van het nodige vermogen om het verwachte niveau te bereiken, of in andere woorden van het lichtrendement van de uitrusting.

Deze laatste kan als volgt berekend worden:

$$\eta_{inst} = C_L \cdot f_M \cdot f_U \cdot \eta_{ls} \cdot \eta_{LOR} \cdot \eta_P \quad (5)$$

Waarbij:

- η_{inst} is het lichtrendement van de uitrusting, uitgedrukt in lm.W⁻¹;
- C_L is de correctiefactor voor de luminantie of de hemisferische verlichting gebaseerd op de fotometrische studie;
- f_M is de onderhoudsfactor (MF) van de verlichtingsuitrusting;
- f_U is de gebruiksfactor van de verlichtingsuitrusting;
- η_{ls} is het lichtrendement van de gebruikte lichtbron uitgedrukt in lm.W⁻¹;
- η_{LOR} is het optisch rendement van het gebruikte verlichtingstoestel;
- η_P is het elektrisch rendement van het gebruikte verlichtingstoestel.

Om het lichtrendement (η_{inst}) te verhogen, kan men:

- η_{inst} , η_{LOR} en η_P verhogen door de meest efficiënte technologieën te kiezen;
- f_U verhogen, dit is de verhouding tussen de nuttige lichtstroom die de te verlichten oppervlakken bereikt en de lichtstroom die het verlichtingstoestel verlaat, door de keuze van de inplanting of de lichtverdeling van het verlichtingstoestel die de nuttige lichtstroom maximaliseert voor eenzelfde lichtstroom uit het verlichtingstoestel (bv. door te spelen

met de hoogte waarop het verlichtingstoestel wordt geplaatst in functie van de breedte van de te verlichten weg of door te kiezen voor een andere technologie voor het verlichtingstoestel).

Daarenboven is D_E afhankelijk van de verschillende managementscenario's die toegepast worden. Het verminderen van het aantal werkingsuren en/of het verlichtingsniveau tot wat werkelijk nodig is op het betrokken moment kan de waarde van D_E verminderd worden.

5. Opmerkingen

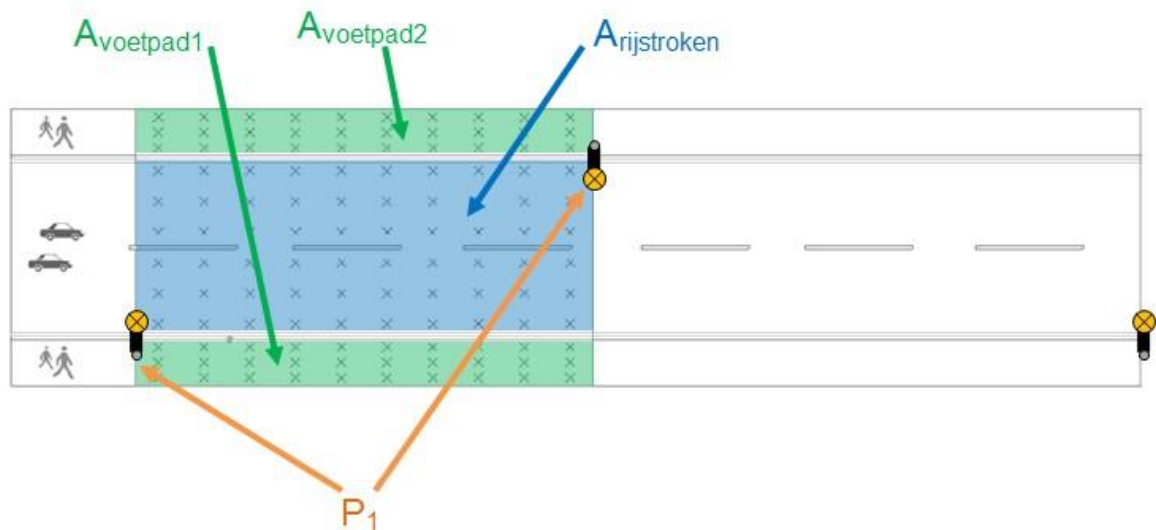
Zelfs indien het energetisch rendement van een openbaar verlichtingsinstallatie hoog is, is dit niet de enige factor die in aanmerking genomen moet worden om de "beste" oplossing voor een te verlichten oppervlakte te bepalen.

Andere elementen kunnen/moeten eveneens in overweging genomen worden, en in het bijzonder:

- de esthetiek van de installatie, zowel overdag als 's nachts (kleur van het licht, beperking van verblinding, verlichte ruimte, beperking van lichtvervuiling...)
- de investeringskost van de verlichtingsinstallatie
- de exploitatiekost (total cost of ownership), met de integratie van de levensduur van de vooropgestelde installatie
- de 'Life Cycle Analysis' of bilan van de 'grijze energie', uit milieuoverwegingen
- de technische kwaliteit van de voorgestelde installatie
- enz.

BIJLAGE A (Informatief): Een straat met twee verlichtingsklassen

Onderstaand voorbeeld is informatief en maakt geen deel uit van de scope van het document C4/11-2.



Beschrijving van de straat en de verlichtingsinstallatie:

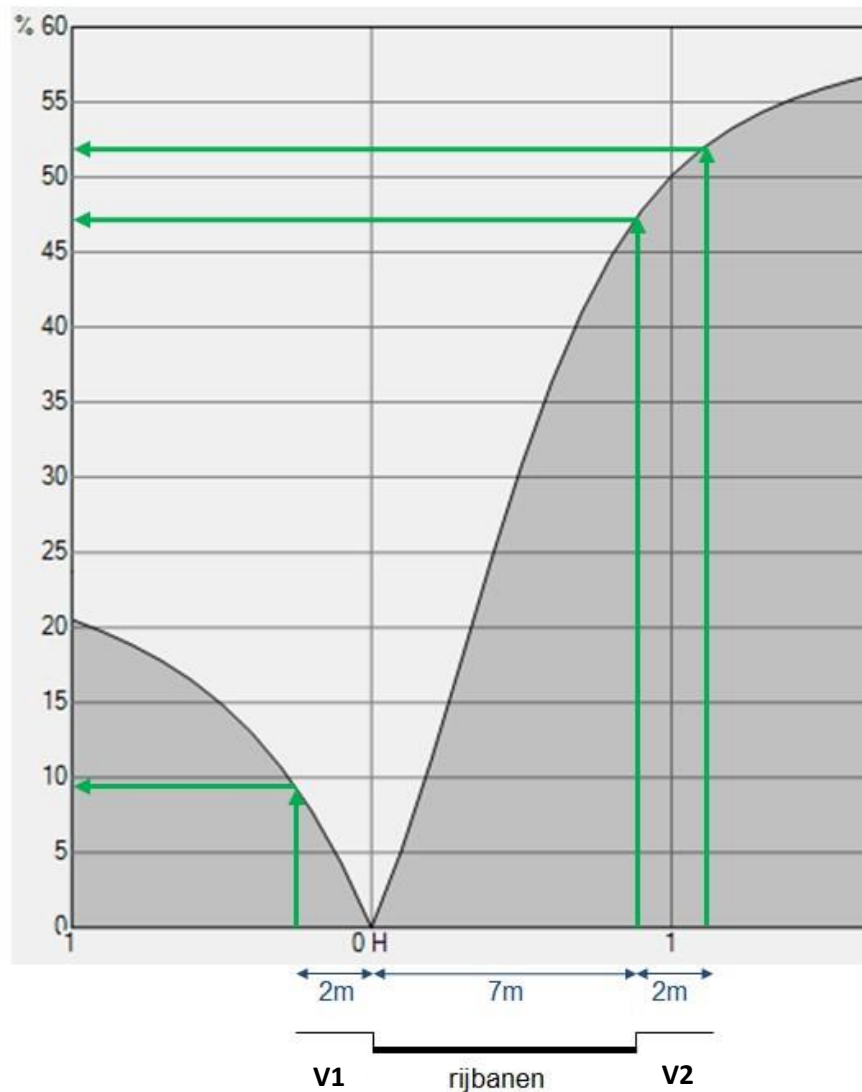
- Breedte van de straat: 7 m (2 rijstroken van 3,5 m elk)
- Breedte van het voetpad: 2 m
- Afstand tussen de verlichtingspalen: 25 m
- Oppervlak $A_{rijstroken}$: 175 m²
- Oppervlak $A_{voetpad1}$: 50 m²
- Oppervlak $A_{voetpad2}$: 50 m²
- Hoogte van de verlichtingstoestellen: 8 m
- Vermogen van verlichtingstoestel P_1 : 103 W (MHHP lamp van 90W met elektronische voorschakelapparatuur)
- Lichtstroom van de lamp: 10500 lm (MHHP lamp 90W)
- Onderhoudsfactor: 0,87 (Lamp MHHP, IP66, glazen kap)
- Jaarlijkse werkingstijd t : 4282 h
- Classificatie van de straat: M3 (1,00 cd/m²)
- Gemiddelde continue luminantie verkregen voor $A_{rijstroken}$: 1,01 cd/m² (met inbegrip van de onderhoudsfactor)
- Gemiddelde continue verlichting $E_{rijstroken}$ verkregen voor $A_{rijstroken}$: 17,4 lx (met inbegrip van de onderhoudsfactor)
- Classificatie van de voetpaden: C4 (10,0 lx)
- Gemiddelde continue verlichtingssterkte $E_{voetpad1}$ verkregen voor $A_{voetpad1}$: 12,2 lx (met inbegrip van de onderhoudsfactor)

- Gemiddelde continue verlichtingssterkte E_{voetpad2} verkregen voor A_{voetpad2} : 12,2 lx (met inbegrip van de onderhoudsfactor)

In het geval van een straat waarvoor verschillende verlichtingsklassen gecombineerd worden, kunnen drie methoden gebruikt worden om de Power Density Indicator (D_p) te bepalen.

1. Absolute methode

De absolute methode bestaat erin om voor elk deeloppervlakte (i.e. per verlichtingsklasse) te controleren of deze in overeenstemming is met de vereisten in de tabel(len) 1 en/of 2. Daartoe dient men aan de hand van de gebruikscurve van het verlichtingstoestel het gedeelte van de lichtstroom te bepalen voor elk deeloppervlakte.



In het voorbeeld:

- H (hoogte van het verlichtingstoestel) = 8 m
- Gebruiksfactor van de rijbanen = 47%
- Gebruiksfactor van voetpad 1 = 9%
- Gebruiksfactor van voetpad 2 = 5%

De toepassing van deze percentages op het vermogen dat de straat verlicht geeft als resultaat dat:

- 77% van het vermogen gebruikt wordt om de rijbaan te verlichten
- 23% (14,8% + 8,2%) van het vermogen gebruikt wordt om de voetpaden te verlichten

Volgens de vergelijking van §3.1.1. wordt de Power Density Indicator (D_p) voor de rijbanen en de beide voetpaden als volgt berekend:

$$D_{Prijbanen} = \frac{77\% * 103 W}{17,4 lx \cdot 175 m^2} = 0,026 Wm^{-2}lx^{-1}$$

$$D_{Pvoetpaden} = \frac{23\% * 103 W}{12,2 lx \cdot 50 m^2 + 12,2 lx \cdot 50 m^2} = 0,018 Wm^{-2}lx^{-1}$$

De Power Density Indicator voor de rijbanen ($D_{Prijbanen}$) is lager dan de waarde opgenomen in Tabel 1 voor rijbanen met een breedte van 7 m en klasse M3 (<0,035).

De Power Density Indicator voor de voetpaden ($D_{Pvoetpaden}$) is lager dan de waarde opgenomen in Tabel 2 voor een voetpad van een breedte van 4 m en klasse C4 (<0,070).

2. Vereenvoudigde absolute methode (equivalente klasse)

Gebaseerd op Tabel 3 wordt een equivalente klasse gekozen voor een van de deeloppervlakken teneinde één enkele klasse vast te leggen voor de volledige oppervlakte die verlicht wordt. Deze unieke klasse dient hoger dan of gelijk te zijn aan de verschillende oorspronkelijke klassen.

In het voorbeeld hierboven behoort de C4 klasse van de voetpaden aan een M4 klasse. Aangezien de M4 klasse lager is dan de M3 klasse van de rijbanen, is de equivalente klasse die gekozen wordt voor de totale oppervlakte M3.

M1	M2	M3	M4	M5	M6
C1	C2	C3	C4	C5	C6

Tabel 3 Verlichtingklassen van voor vergelijkbare lichtniveaus

Op basis van de vergelijking in §3.1.1. wordt de Power Density Indicator (D_p) voor de twee oppervlaktes (rijbanen en voetpaden) als volgt berekend:

$$D_{Prijbaan} = \frac{103 \text{ W}}{12,2 \text{ lx} \cdot 50 \text{ m}^2 + 12,2 \text{ lx} \cdot 50 \text{ m}^2 + 17,4 \text{ lx} \cdot 175 \text{ m}^2} = 0,024 \text{ W m}^{-2} \text{ lx}^{-1}$$

De Power Density Indicator voor de volledige oppervlakte is kleiner dan de waarde opgenomen in de tabel 1 voor een straat met een breedte van 11 m en M3 klasse (<0,030).

3. Vereenvoudigde vergelijkende methode

Deze methode laat toe om twee verlichtingsinstallaties voor een zelfde oppervlakte te vergelijken. De vereenvoudigde vergelijkende methode bestaat uit de berekening van de Power Density Indicator (D_p) volgens de vergelijking in §3.1.1. voor elke deeloppervlakte en elke verlichtingsinstallatie. De verschillende waarden voor de Power Density Indicator voor elk deeloppervlak worden met elkaar vergeleken en de installatie met de laagste Power Density Indicator (D_p) is de meest efficiënte vanuit energetisch standpunt.

Dezelfde redenering kan toegepast worden voor de Annual Energy Consumption Indicator (D_E).