

Spektrální vlastnosti světla *l.a*

ing. Radim Václavíček, doc. ing. Petr Baxant, Ph. D.

Umělé světlo





Hodnocení světla: Technické parametry

Jsou běžné veličiny univerzální pro všechny světelné úlohy?





Hodnocení světla: Technické parametry

Jsou běžné veličiny univerzální pro všechny světelné úlohy?



WhiteLED:40 lx

4 000 K /CRI 70

EDI_{mel} (D65): 20 lx

Bc: 20%

Bc: <1%

EDI_{mel} (D65): 2,6 lx

WhiteLED:25 lx

/~1 700 K /CRI 58

Rokycany, ČR



Základní pojmy: Kandela, Lumen/Lux, CCT, CRI, SPD ...

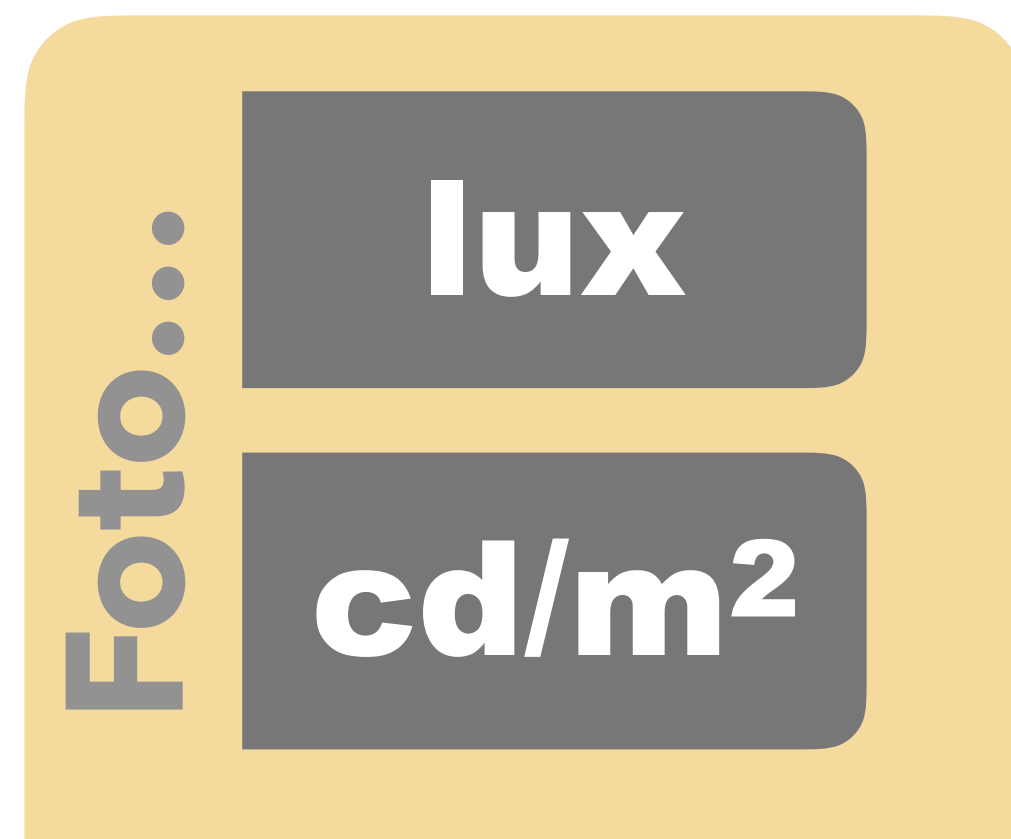
Fotometrické veličiny stojí na spektrálních základech (radiometrie).

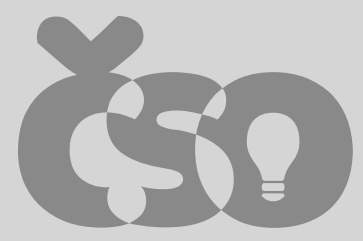
Parametry osvětlování jsou běžně míchány z několika vědních oborů:

- ▶ **Radiometrie** (SPD)
- ▶ **Fotometrie** (lm, lx, cd)
- ▶ **Kolorimetrie** (CCT, CRI)
- ▶ Optika ...



Pak zůstávají skryty rozdíly v metodice a základních předpokladech platnosti.





Základní pojmy: Kandela, Lumen/Lux, CCT, CRI, SPD ...

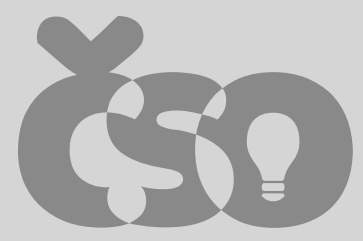
Fotometrické veličiny stojí na spektrálních základech (radiometrie).

Parametry osvětlování jsou běžně míchány z několika vědních oborů:

- ▶ Radiometrie (SPD)
- ▶ Fotometrie (lm, lx, cd)
- ▶ Kolorimetrie (CCT, CRI)
- ▶ Optika ...

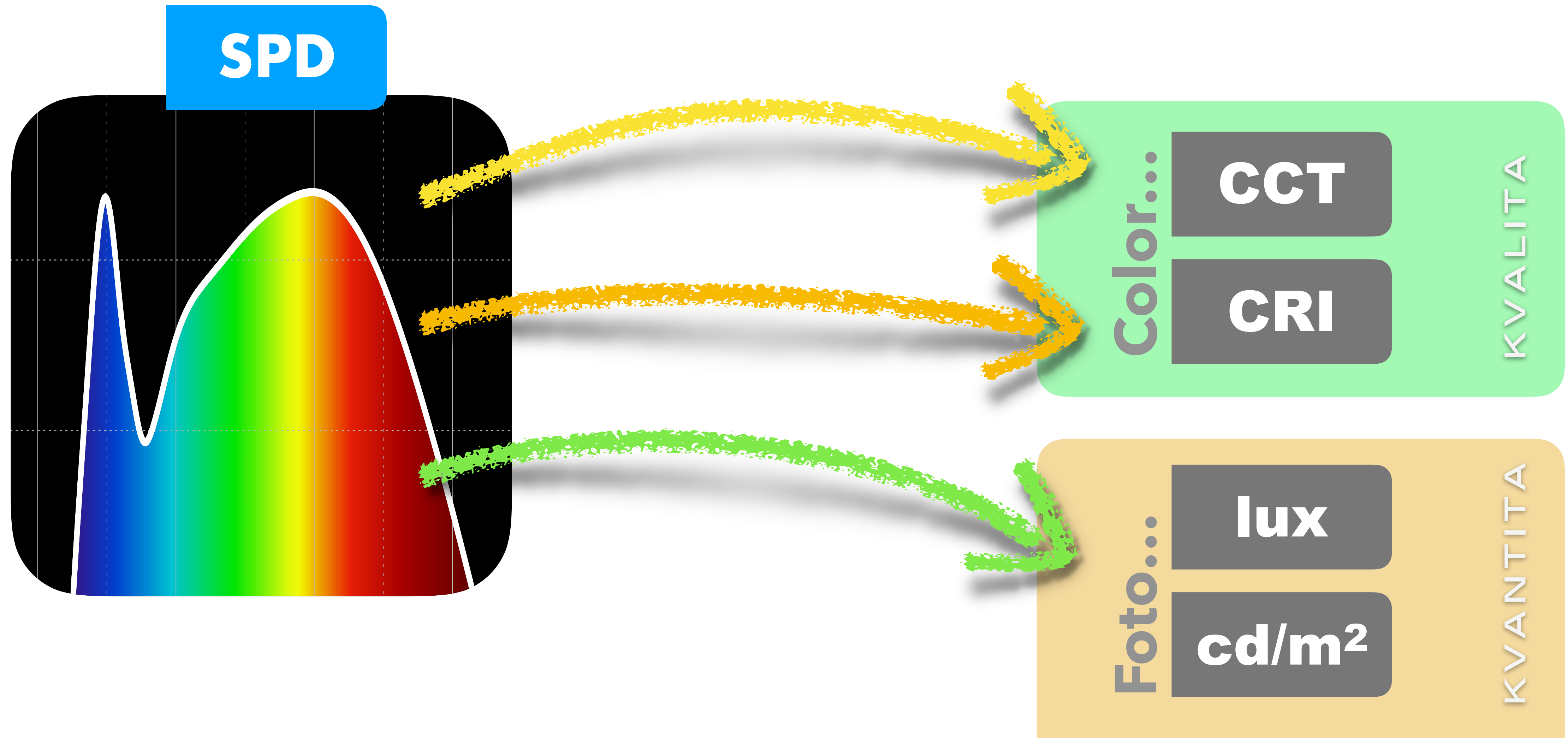
Pak zůstávají skryty rozdíly v metodice a základních předpokladech platnosti.

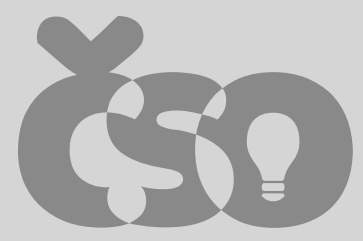




Základní pojmy: Kandela, Lumen/Lux, CCT, CRI, SPD ...

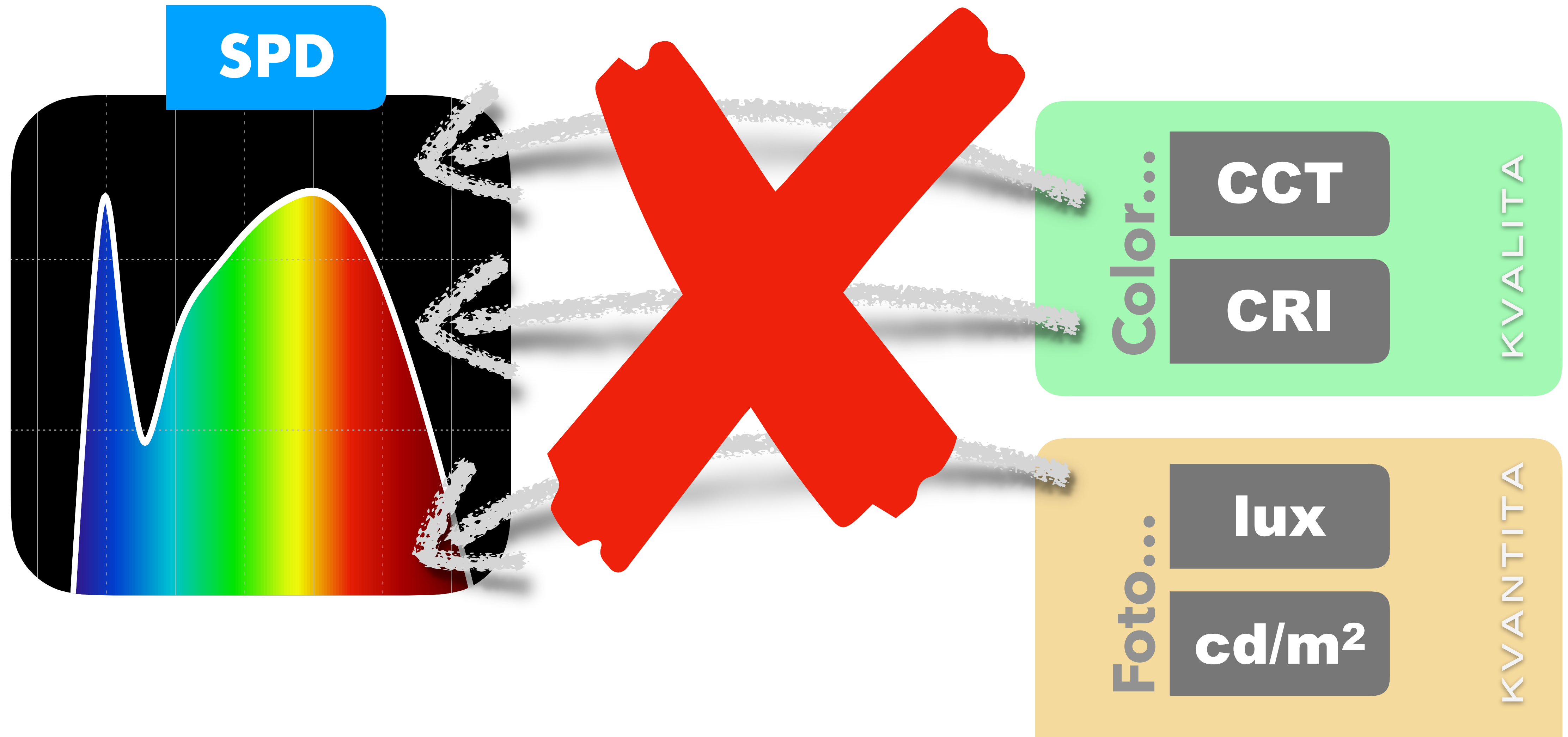
SPD - *Spectral Power Distribution*: **Základ** pro odvození ostatních veličin.





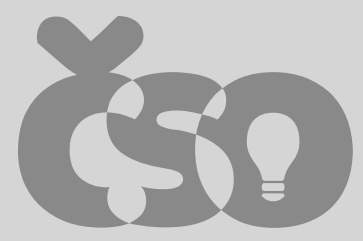
Základní pojmy: Kandela, Lumen/Lux, CCT, CRI, SPD ...

SPD - *Spectral Power Distribution*: **Základ** pro odvození ostatních veličin.

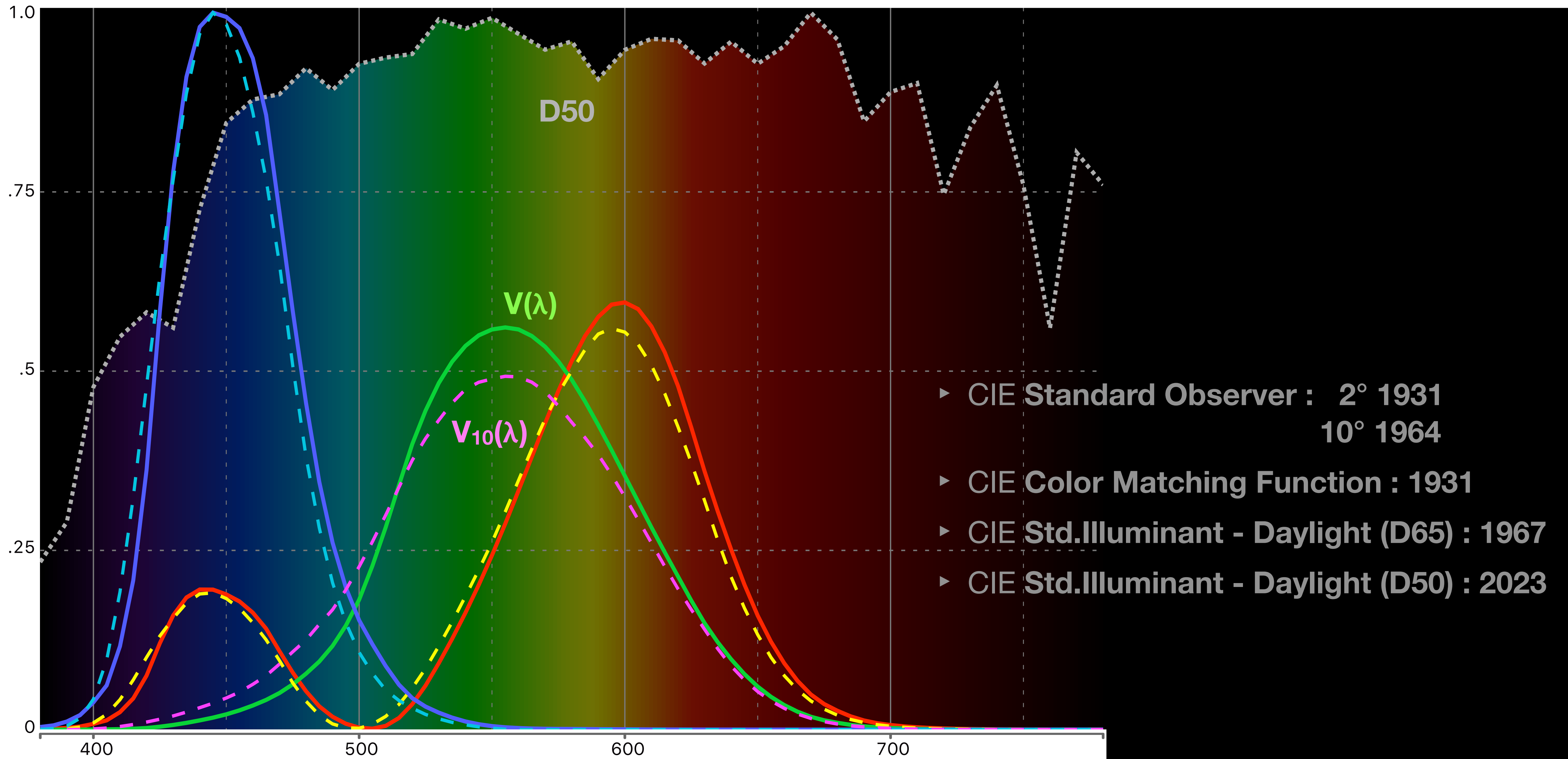


Zrak / Oko



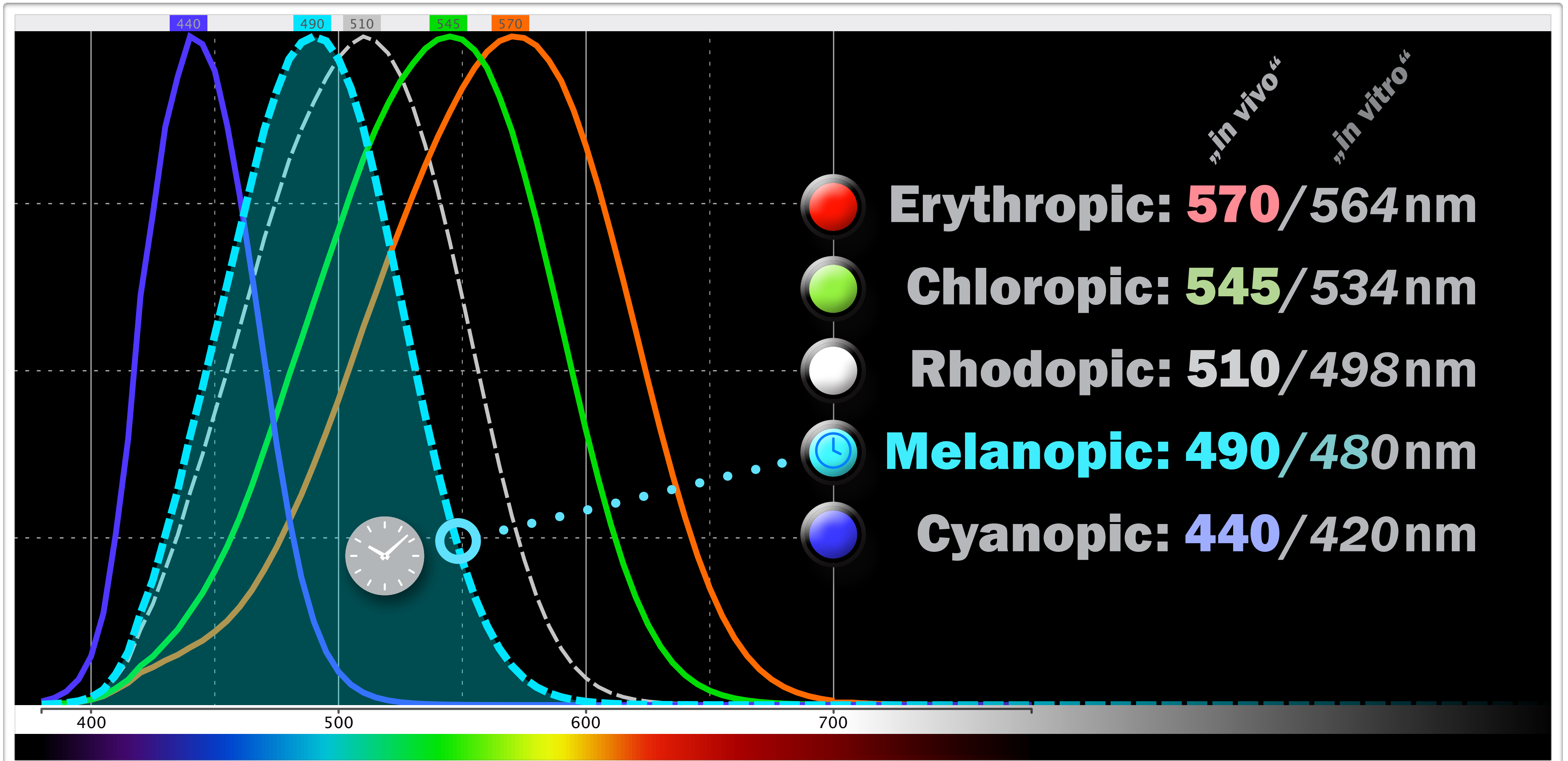


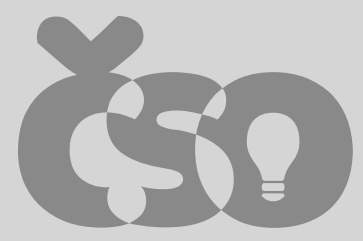
Kontext: Standardní pozorovatel, Illuminanty





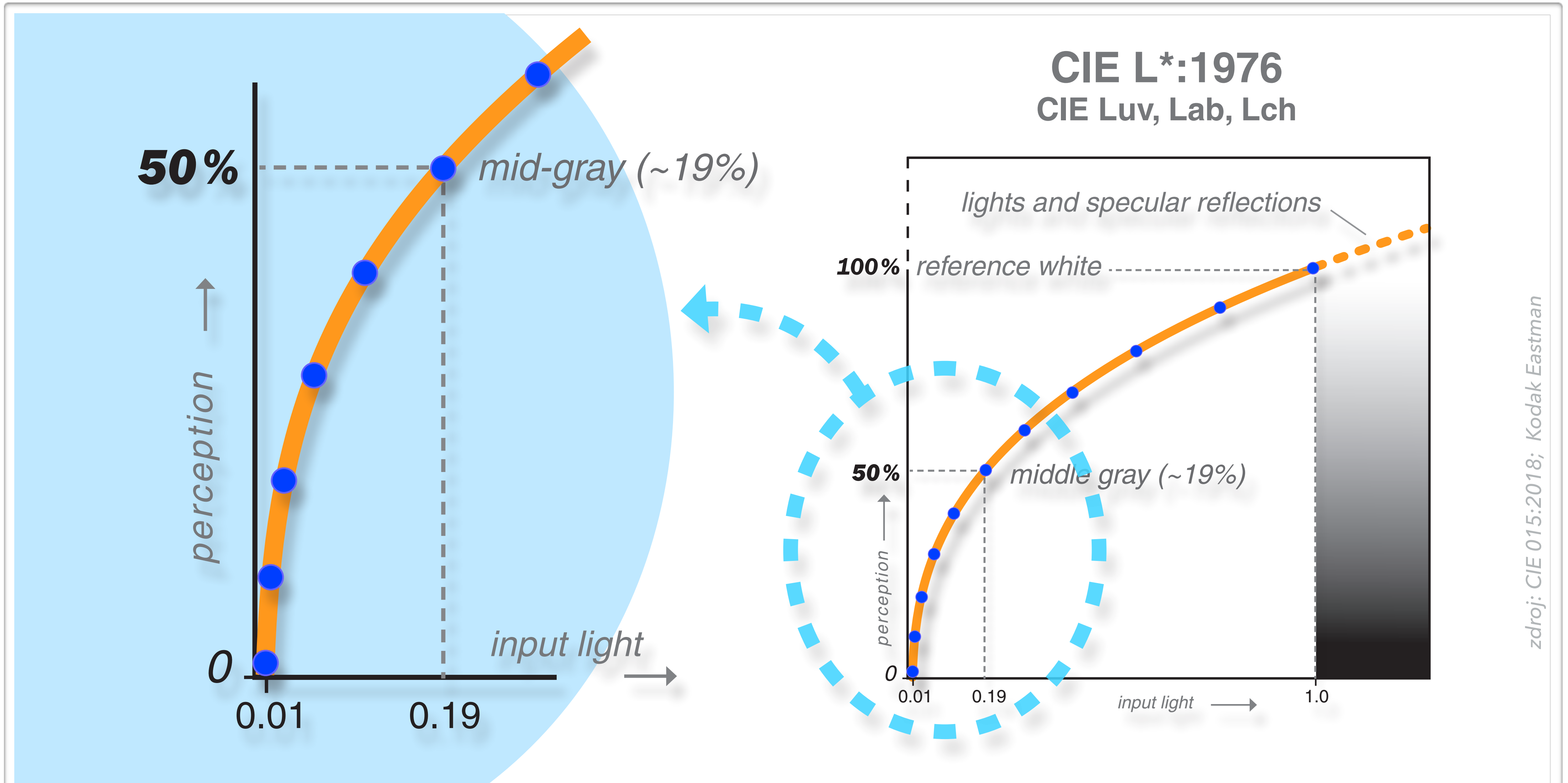
Standardní citlivost oka: α -opic (CIE S 026:2018)





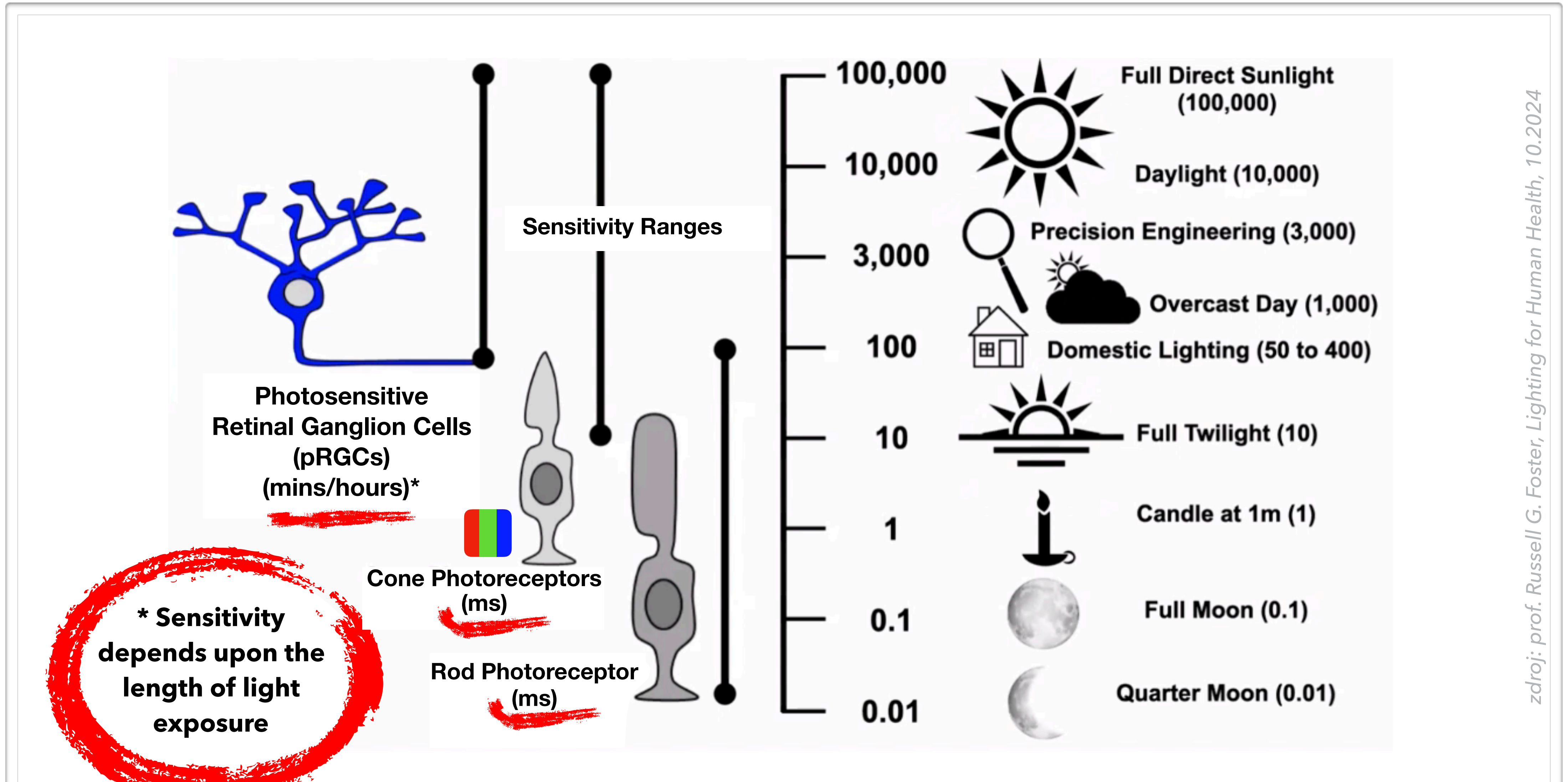
R+G: Nelineární vnímání

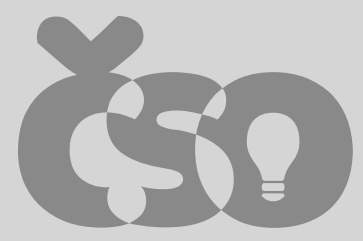
Vnímání nejnižších jasů je **velmi citlivé** i na malé změny energie!



Standardní citlivost oka: α -opic (CIE S 026:2018)

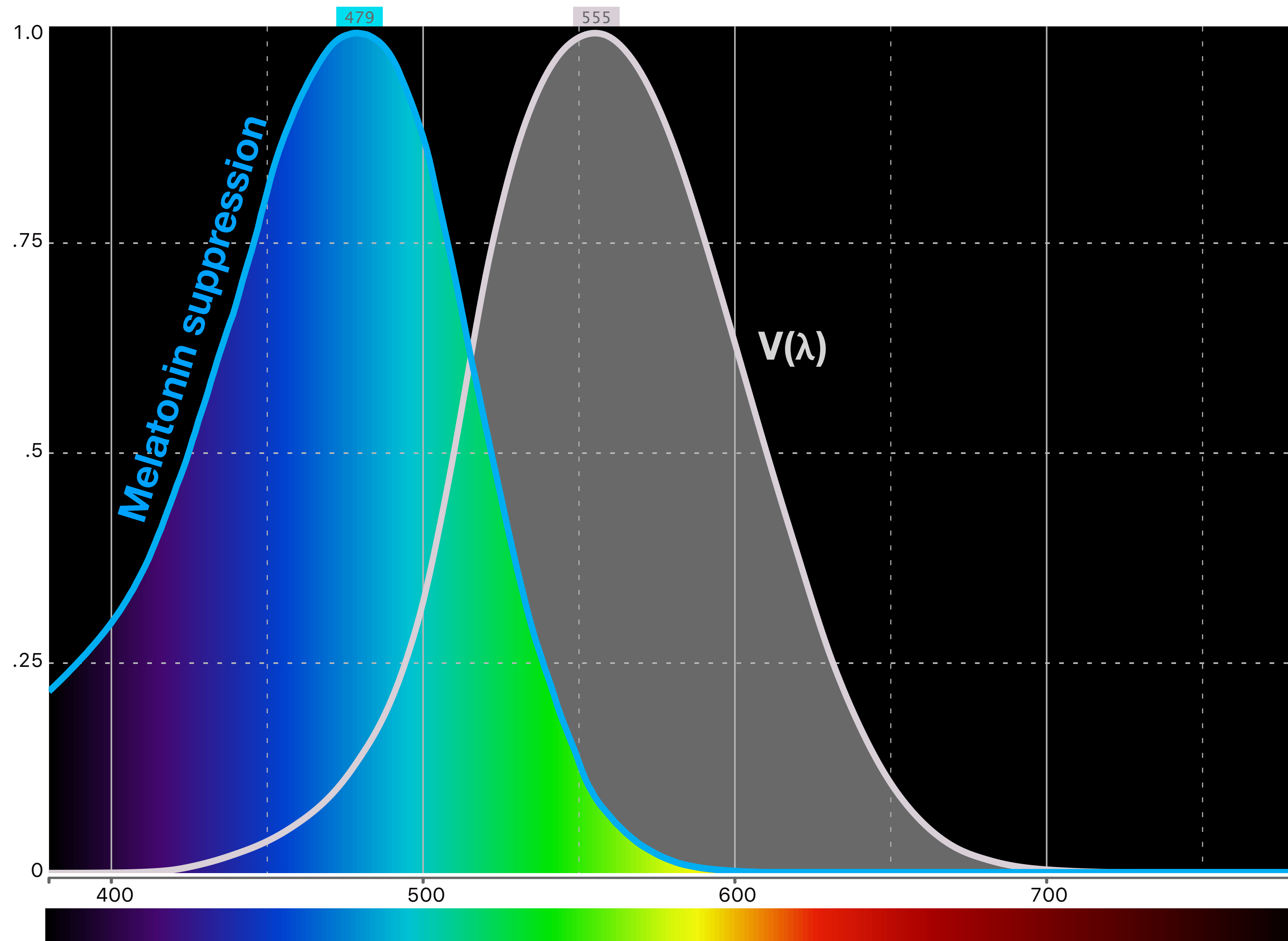
Citlivost jednotlivých fotoreceptorů se řádově liší a zároveň **závisí na čase expozice!**





Komplexní citlivost: Photopic vs. Melatonin suppression

Pro praktické aplikace potřebujeme znát celkovou odezvu člověka.



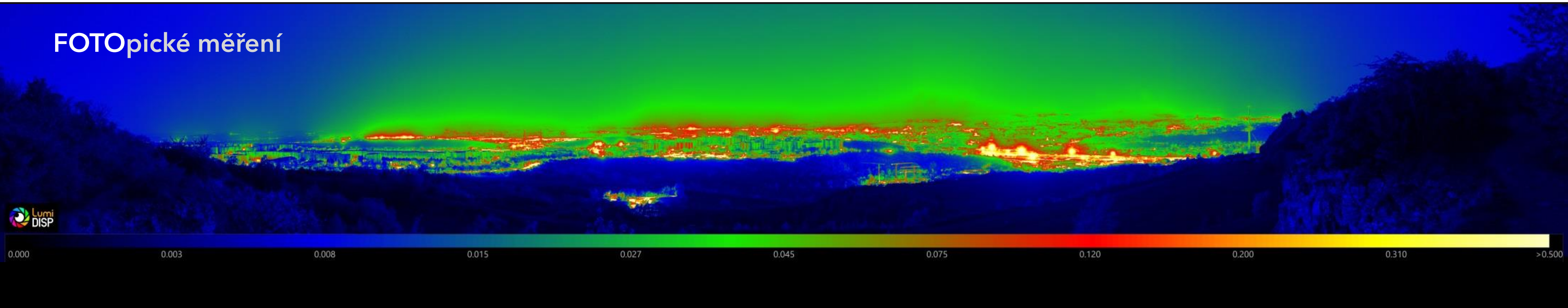
zdroj: R. J. Lucas, 2013, Human melanopsin forms a pigment maximally sensitive to blue light



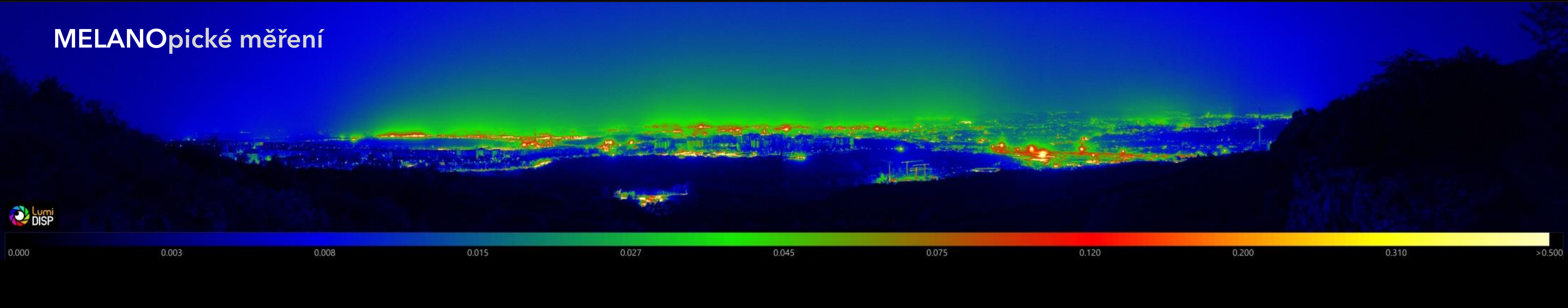
Komplexní citlivost: Photopic vs. Melatopic

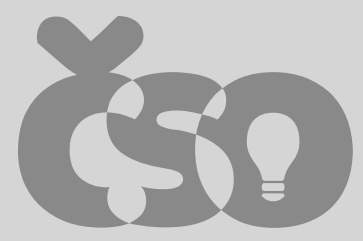
Pro praktické aplikace potřebujeme nástroje s melanopickým měřením.

FOTOpické měření



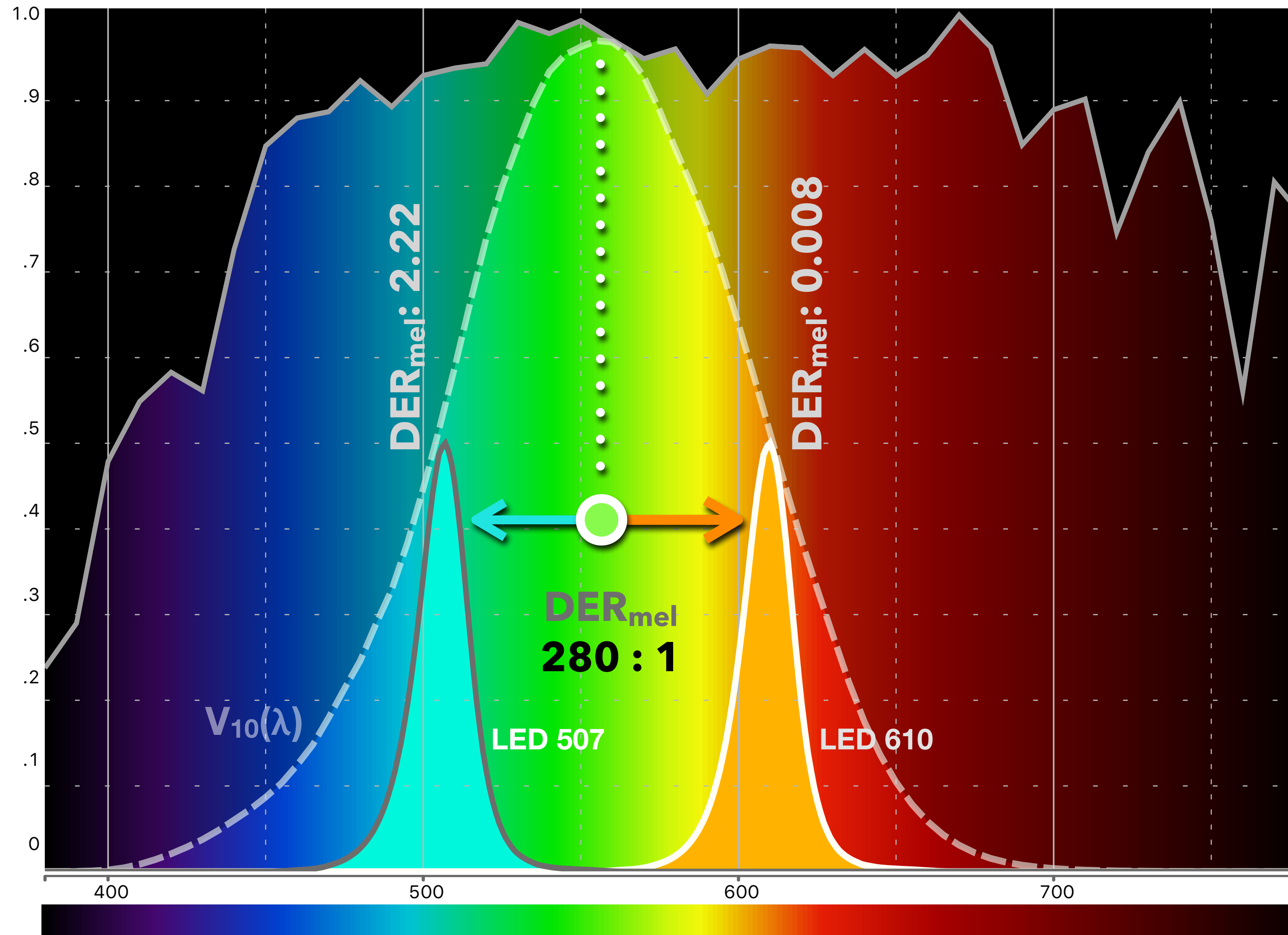
MELANOpické měření





Jasová energie: Kandela / Lumen / Lux

Různá světla stejné intenzity se mohou velmi lišit svými vlastnostmi a účinky!

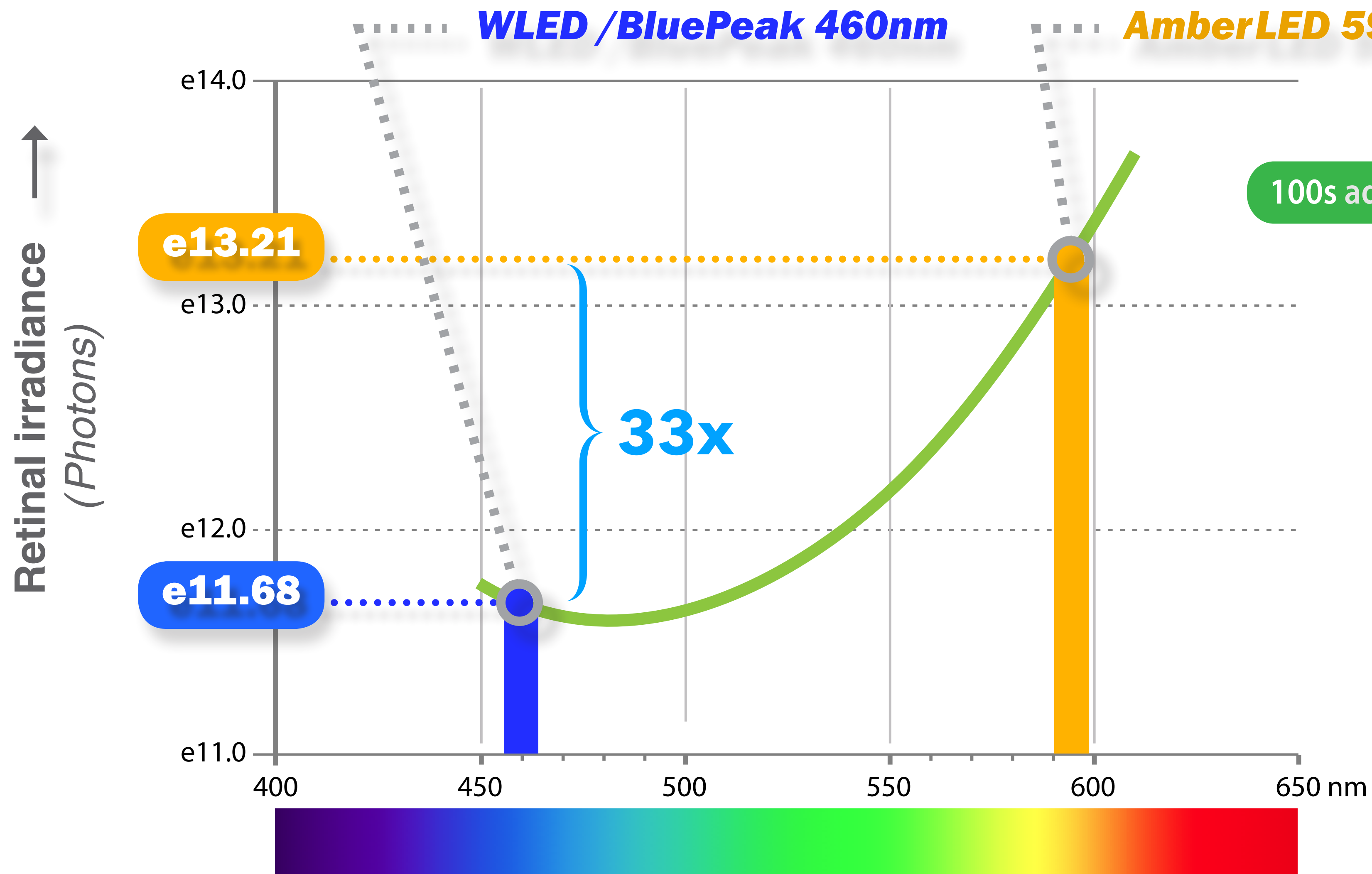


V rámci funkce $V(\lambda)$ není problém nalézt dvojici sv. zdrojů, které budou mít stejný “fotometrický jas”, ale zcela rozdílné spektrální vlastnosti a odlišný dopad na vnímání v obrazové i biologické rovině.



Účinnost zraku: Pupilární reflex

Pupilární reflex (PLR) dovoluje v pásmu ~ 600 nm účinnější expozici sítnice.

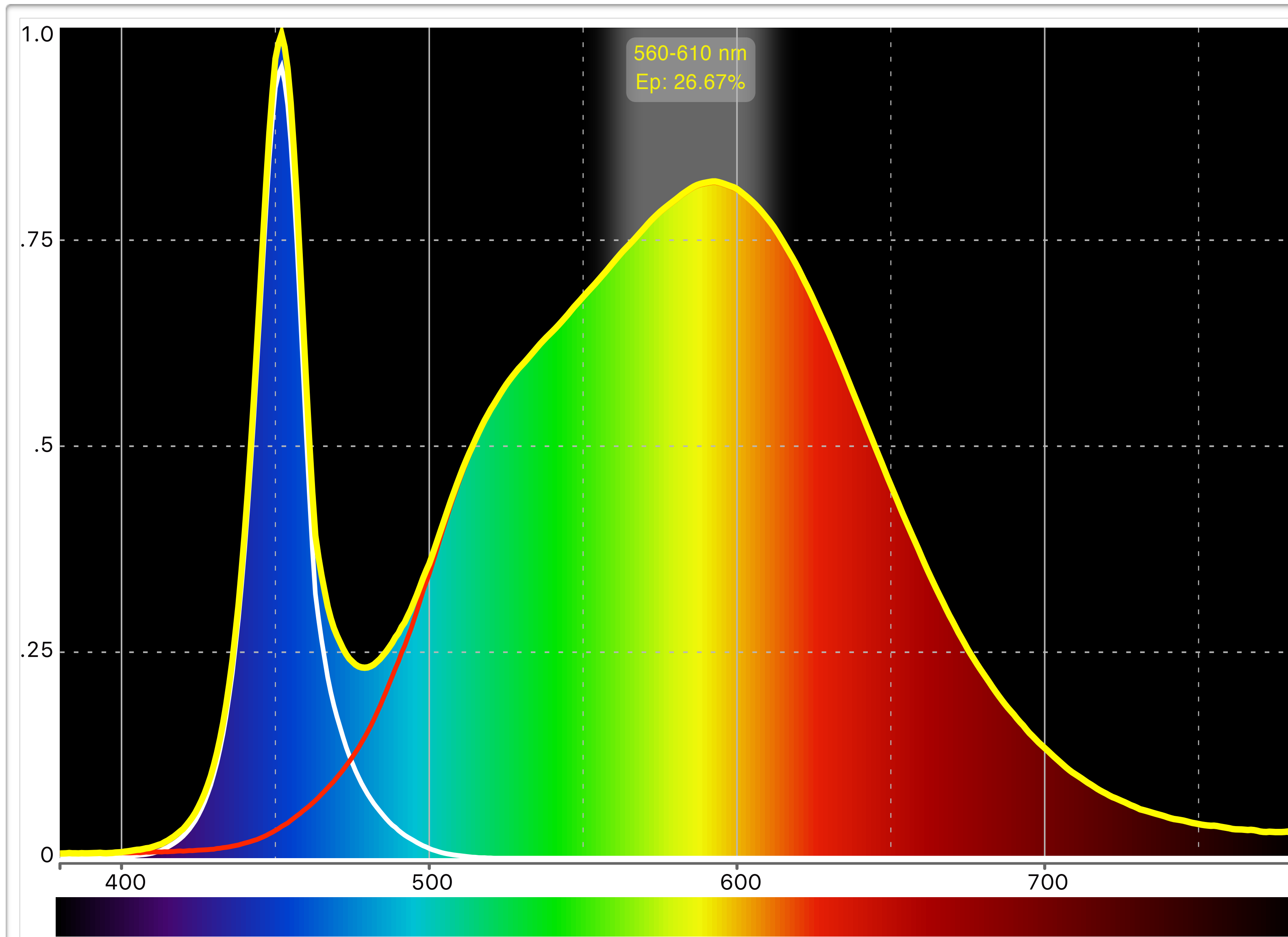


Spektrální závislost pupilárního reflexu lidského oka vykazuje nelineární průběh a dokumentuje řádově odlišnou reakci na modré světlo (450-500 nm) oproti oranžovému světlu např. ze sodíkových výbojek (~ 590 nm).



Bílá LED: BluePeak + YAG luminofor

2-barevný mix základní BlueLED a žlutého luminoforu



WhiteLED

Kmax: 320 lm/W

CRI/CFI: 82/83

CCT: 4000 K

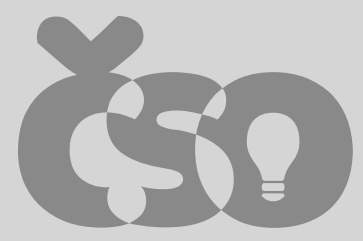
DER_{mel}(D65): 0.6

Ep(560-610): 26%

Bc U500: 22%

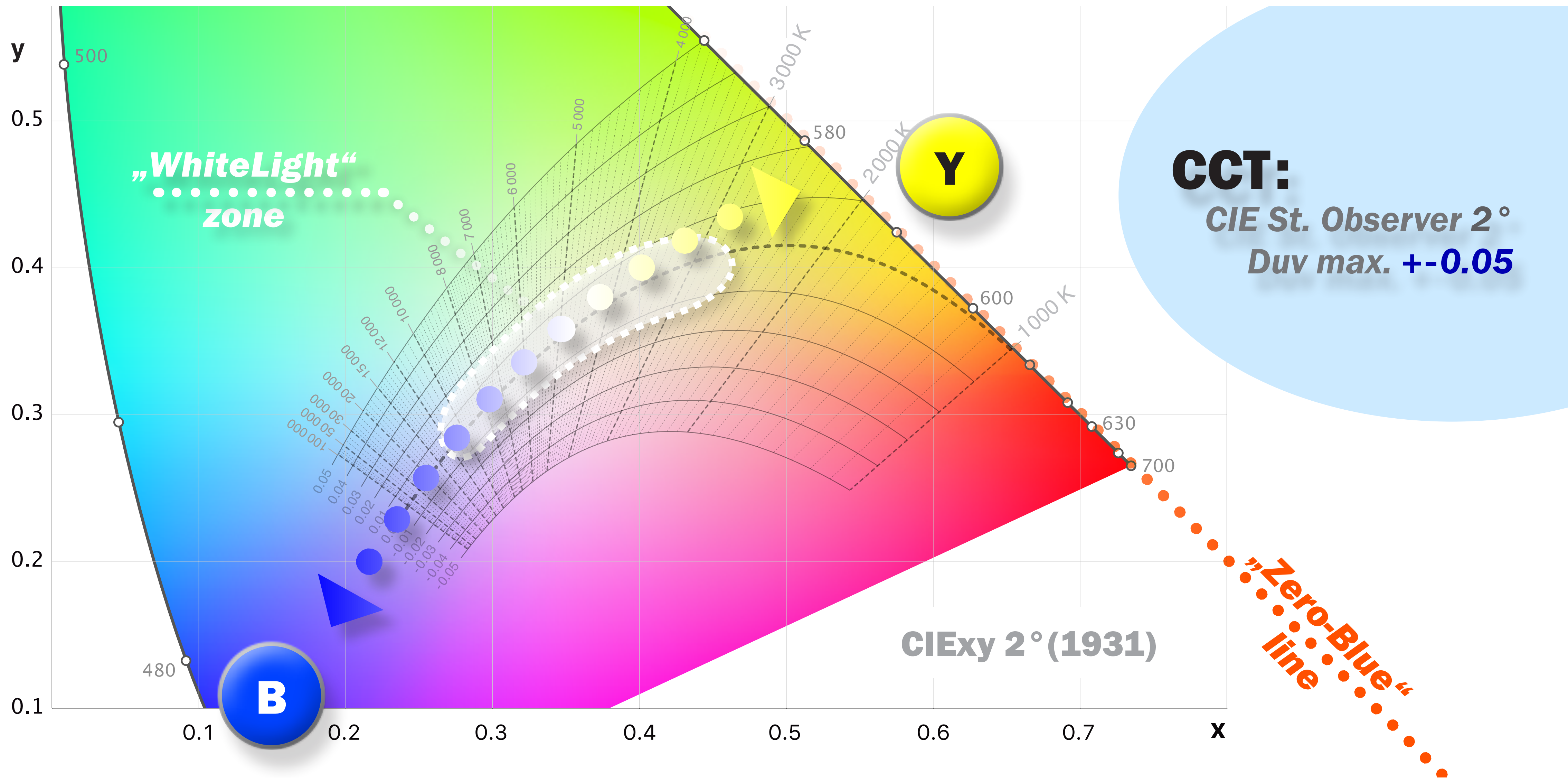
Noční metrika





Metrika pro denní osvětlení: Bílé světlo + CCT

Změna hodnot **CCT** u "bílého" světla je spojována s vyvážením "modré složky" a "žluté" energie.





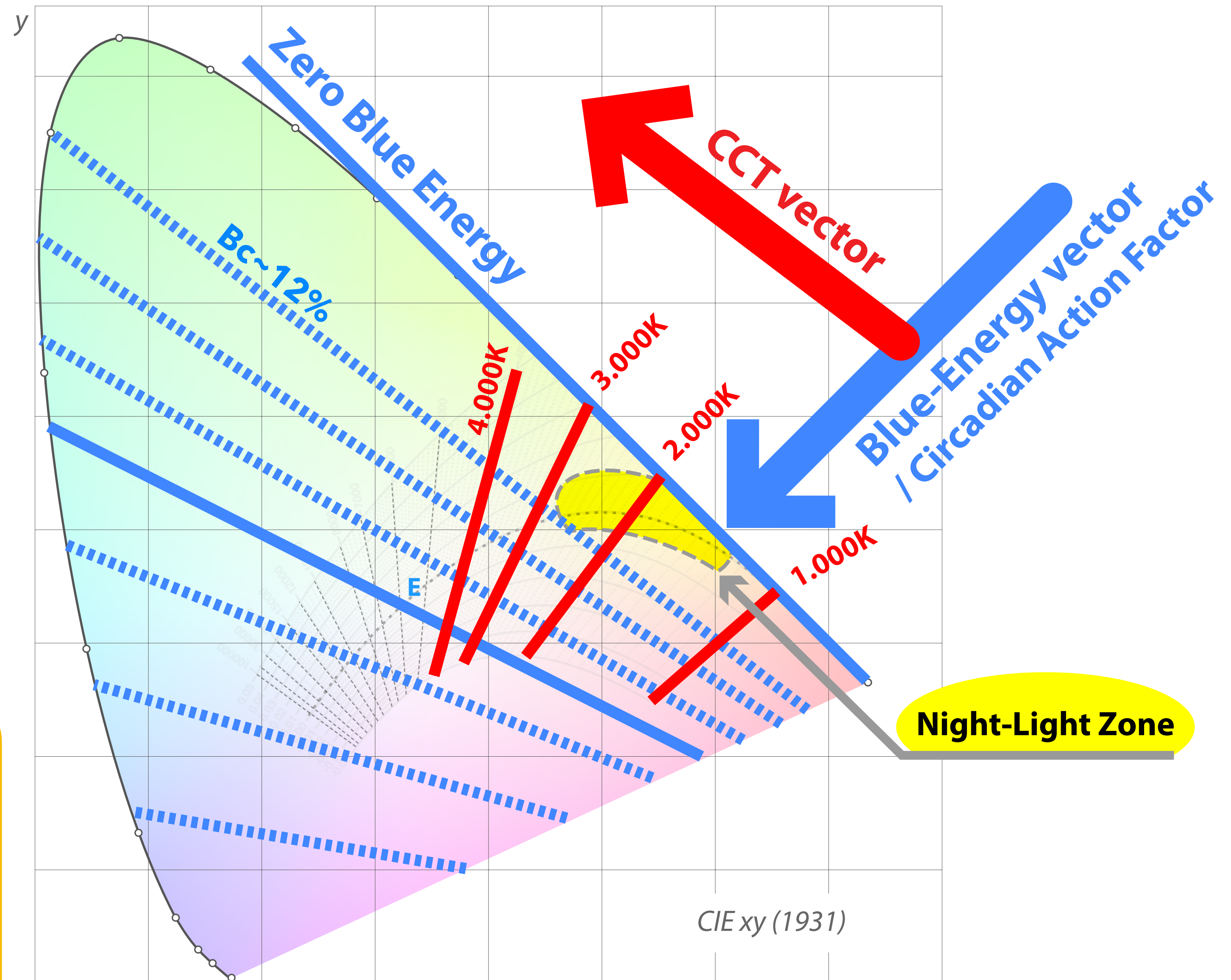
Metrika pro noční osvětlení: Blue-energy vs. CCT

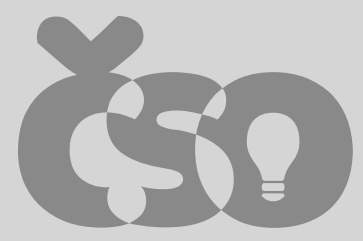
CCT je oblíbeným parametrem pro domnělé “určení barevnosti” světla.

To je způsobeno zejména návykem používat tento parametr v denním režimu u přirozených (teplotních) zdrojů Bílého světla (širokopásmové záření), pro které metodika T_{cp} (CCT) vyhovuje.

Barevná či silně zabarvená světla s nízkou intenzitou (typ. pro noční svícení) ovšem již více-méně neplní předpoklady metodik pro “denní” fotonické vnímání Bílého světla.

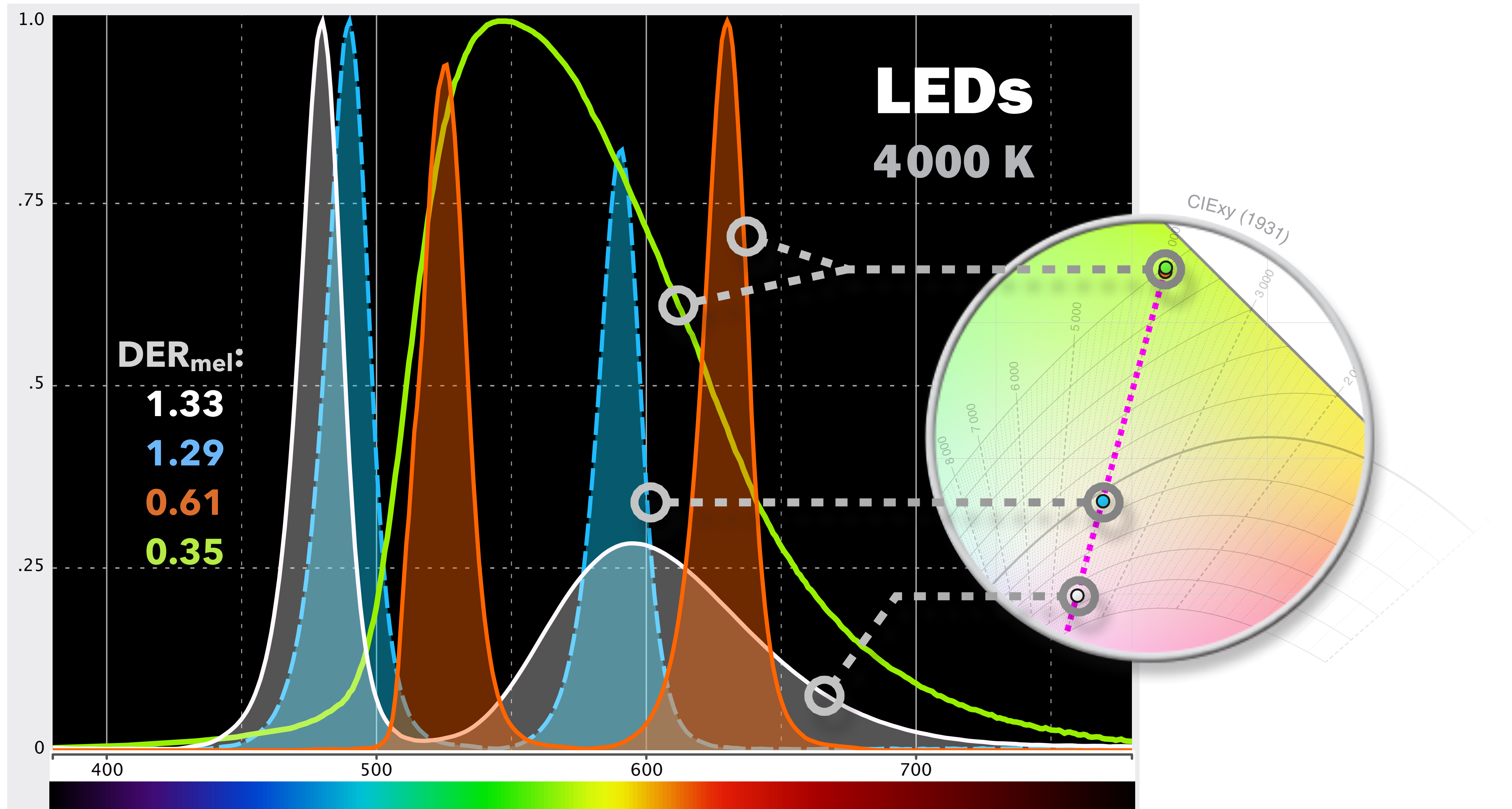
CCT patří mezi velmi nevhodné parametry pro kvantifikaci rušení nočního prostředí!





Metrika pro noční osvětlení: SPD vs. CCT

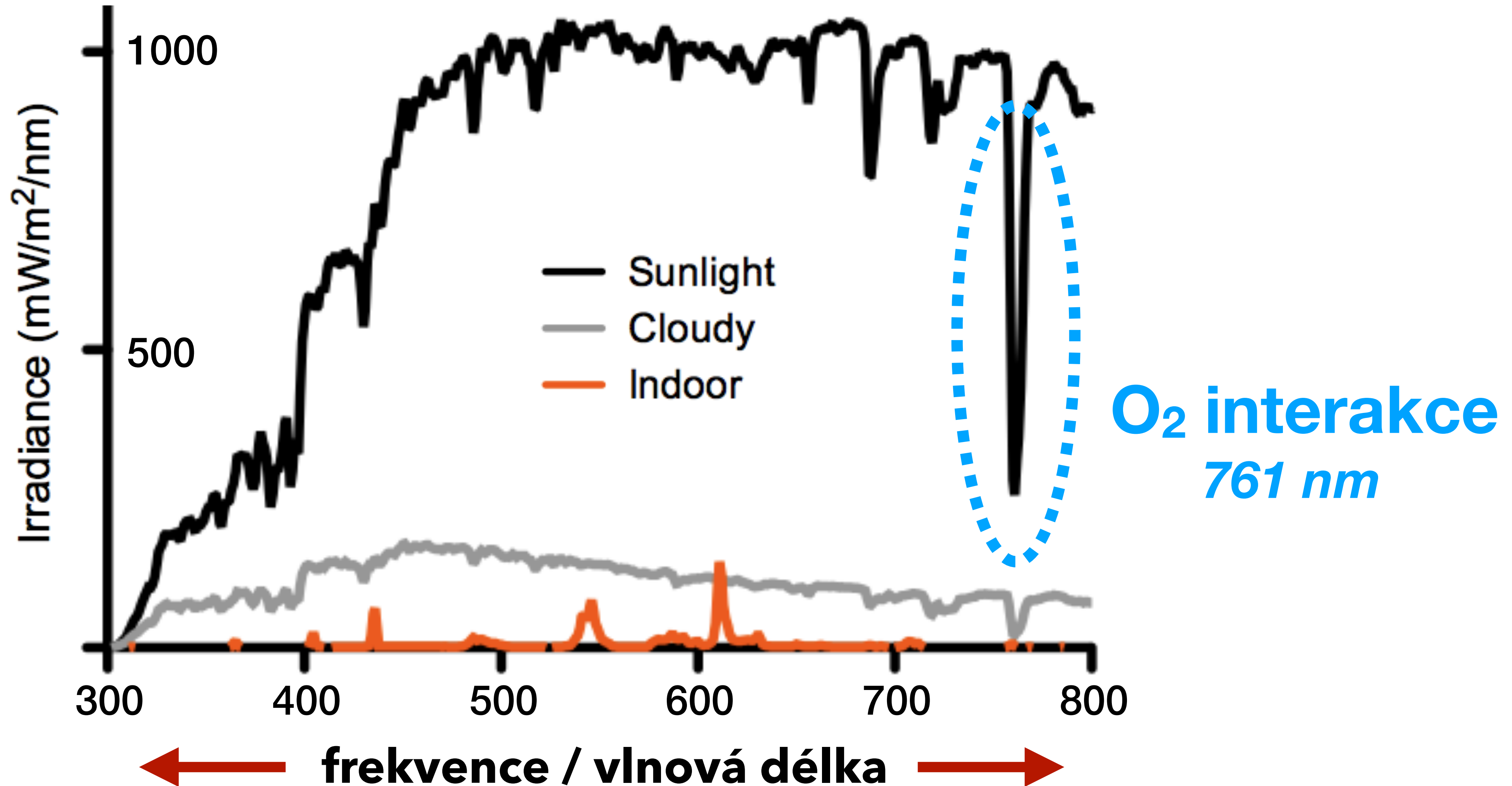
Potenciál LED technologie ukazuje příklad zcela **rozdílných SPD** pro **stejné CCT (4000 K)**.





SPD: Interakce Vlnové délky / Frekvence

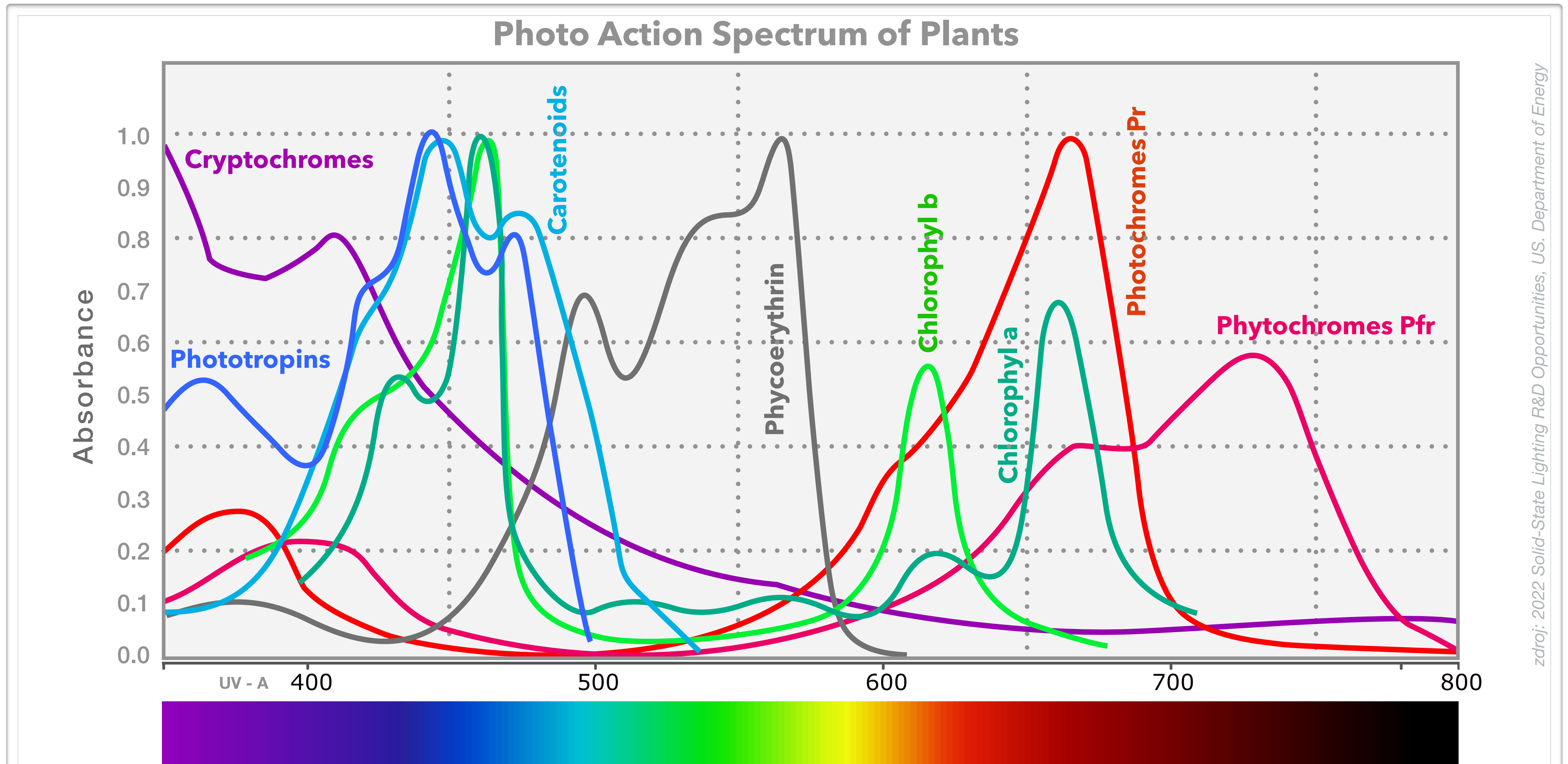
Každá spektrální složka s různou **frekvencí působí** jako dílčí "ingredience".





Plant vs. Human Action Sensitivity / Solid-State Lighting R&D 2022

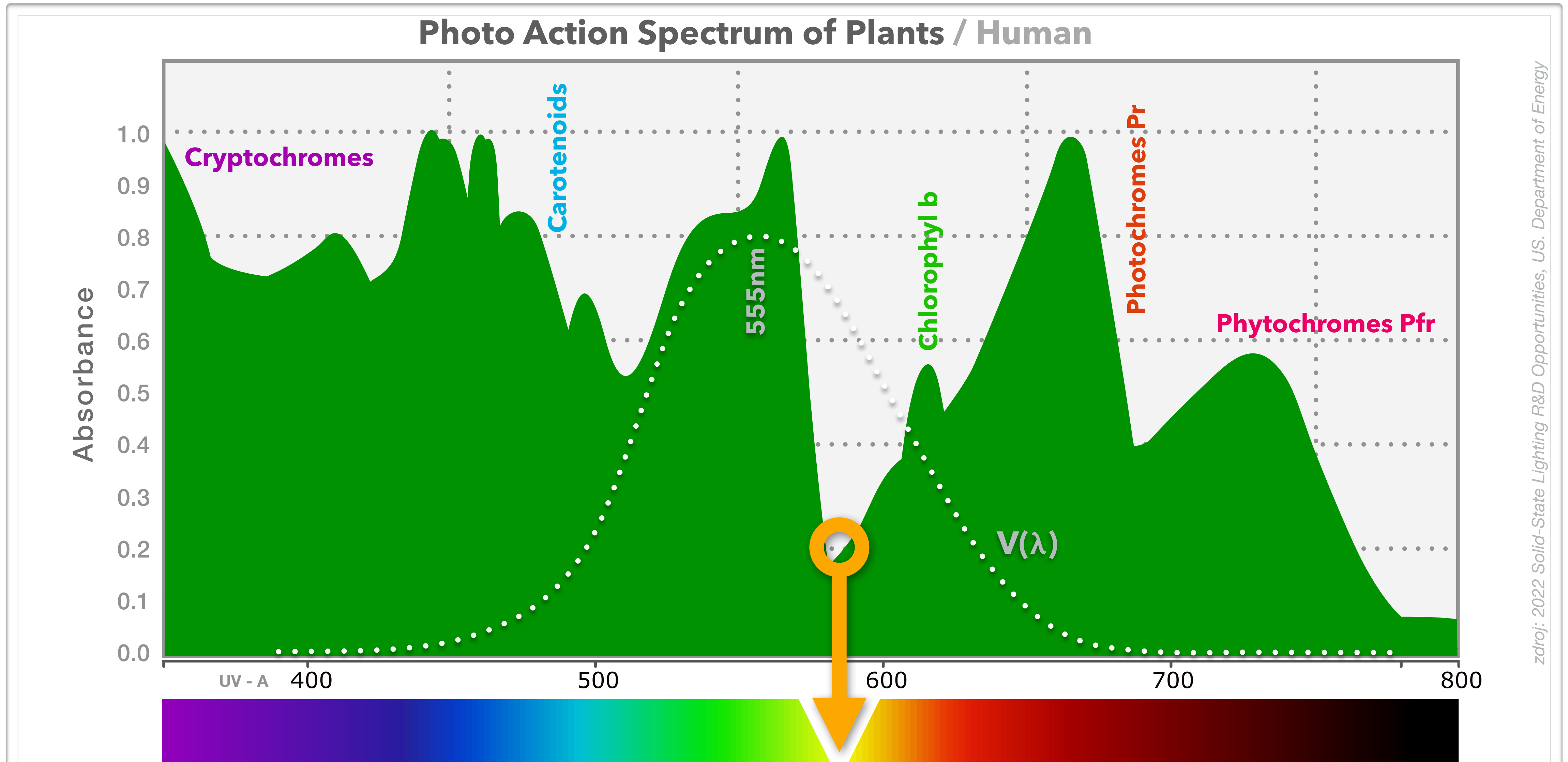
Nejnižší odezvy rostlin na stimulaci světlem jsou typicky v "oranžovém" pásmu 580-600 nm

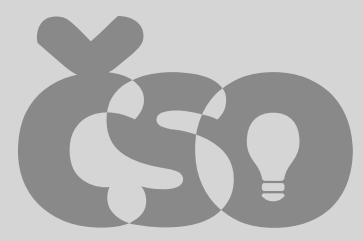




Plant vs. Human Action Sensitivity / Solid-State Lighting R&D 2022

Nejnižší odezvy rostlin na stimulaci světlem jsou typicky v "oranžovém" pásmu 580-600 nm



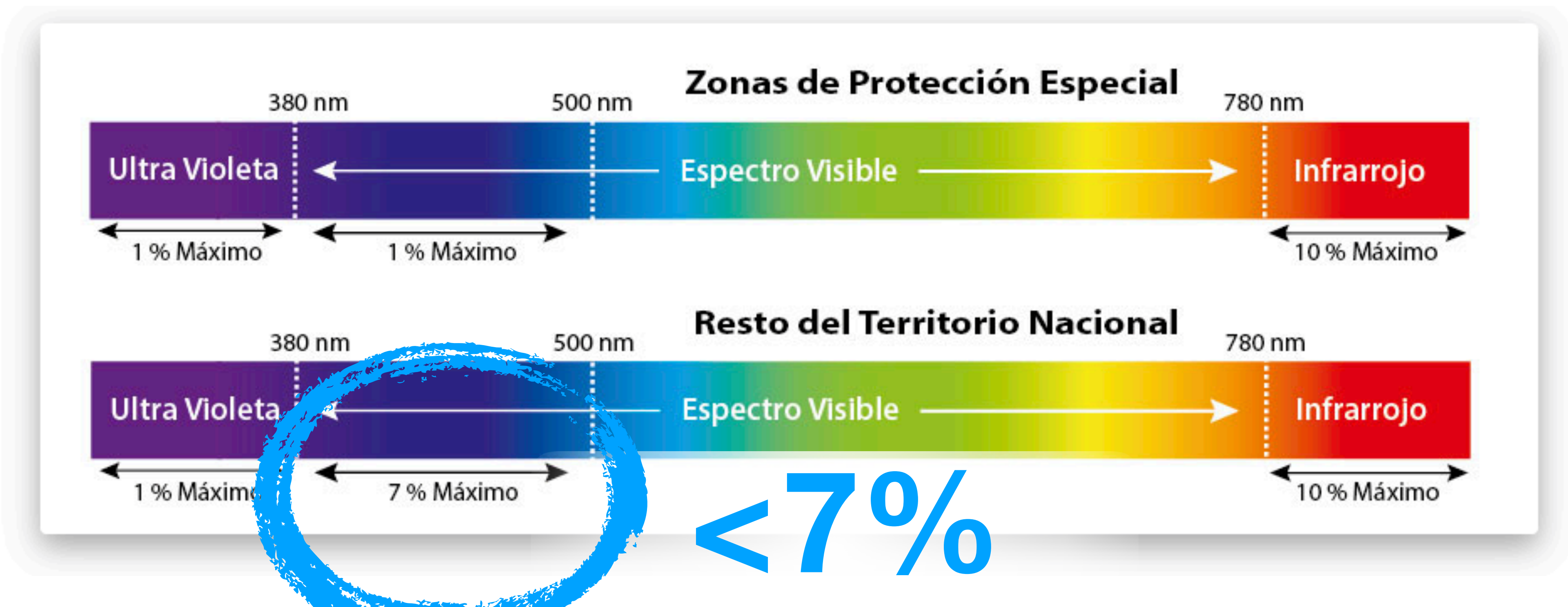


Metrika pro noční osvětlení: Modrá složka / Blue content



Chile zavádí do praxe inovovanou legislativu D.S. 1/2022 MMA platnou od 18. října 2024

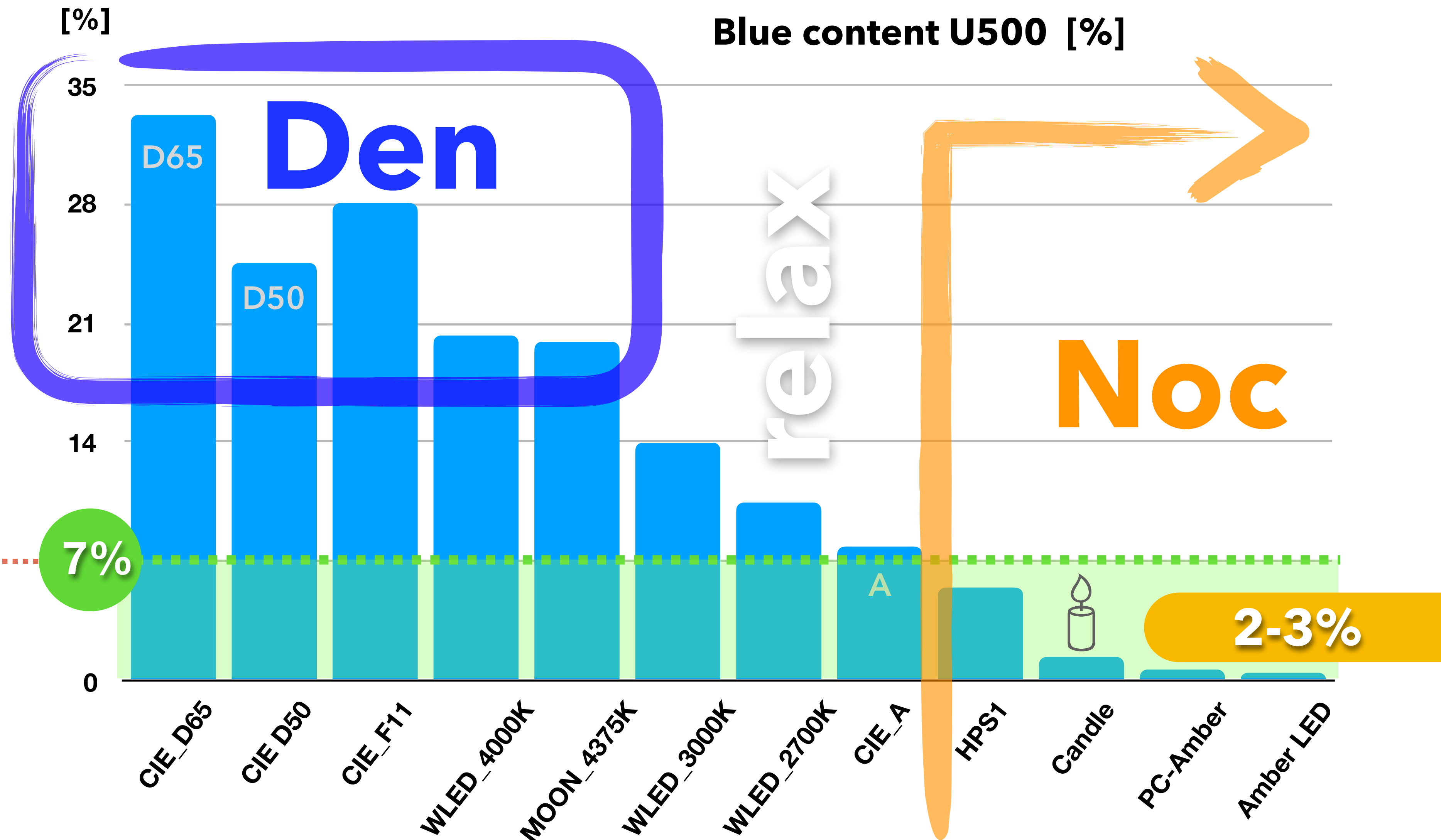
- **Spectral Radiance Requirement:** Currently at **15% blue light** and will be brought to **1% blue light** .
- **Spectral Radiance Requirement for Sports Venues:** For **Class II and II Sports Venues** according to the UNE-EN 12193 Standard, it will be **20% Blue** and for **Class III Venues** of said Standard, it will be **15% Blue** .
- **Time Restriction:** Illuminated Signs and Sports Venues will be open until midnight .





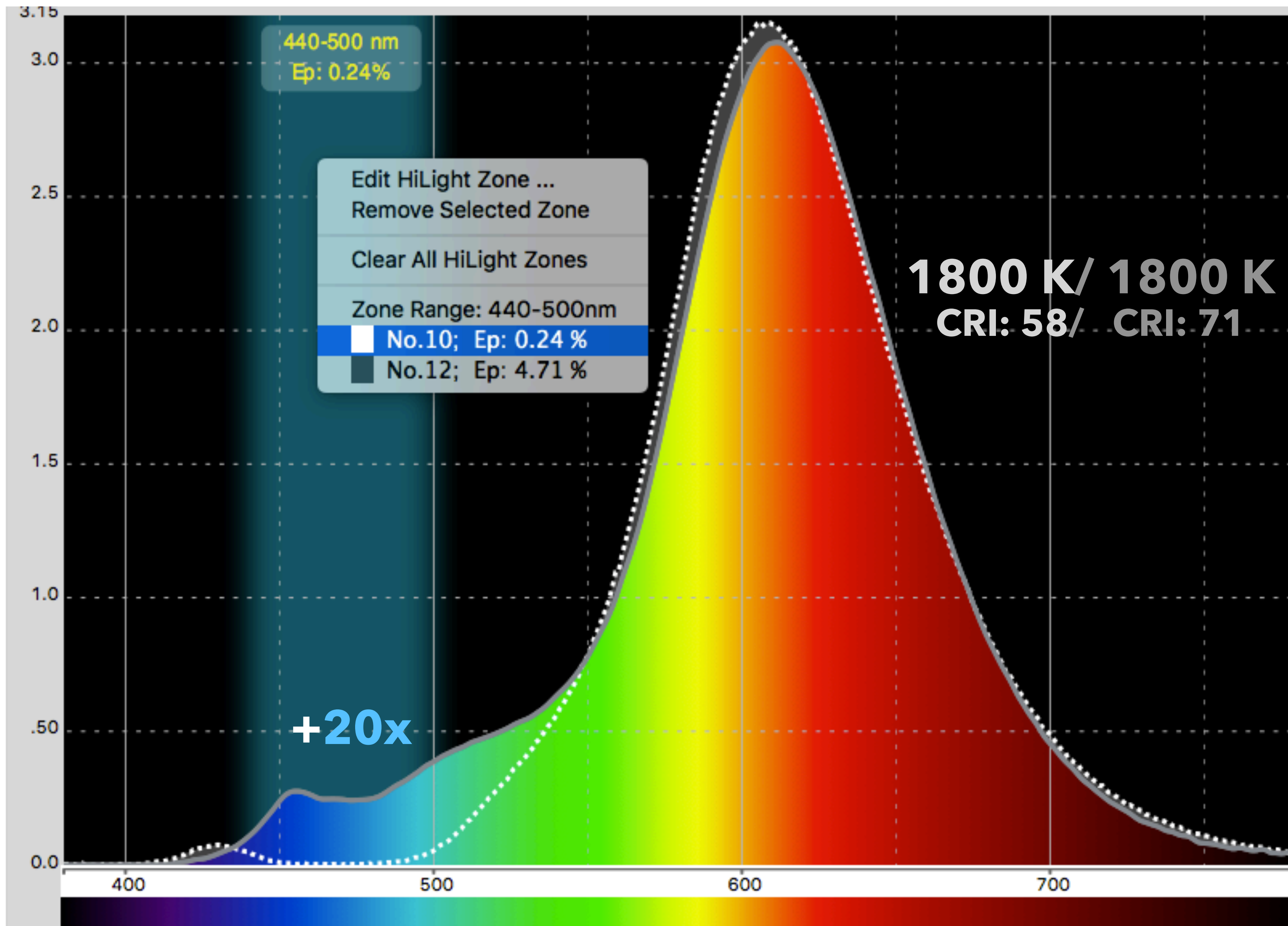
Metrika pro noční osvětlení: Modrá složka / Blue content

NAME	U500 [%]	CCT [K]
CIE_D65	33,2	6 502
CIE D50	24,4	5 001
CIE_F11	28,0	3 999
WLED_4000K	20,4	4 001
MOON_4375K	19,8	4 375
WLED_3000K	14,0	3 003
WLED_2700K	10,4	2 700
CIE_A	7,8	2 856
HPS1	5,4	1 936
Candle	1,44	1 900
PC-Amber	0,74	1 725
Amber LED	0,06	1 857





Praxe: PCAmber vs. PCAmber /Nichia Japan



Nová verze LED PCAmber mění SPD směrem k vyšším “aktivačním” hodnotám, ovšem stále zachovává statut barevného “oranžového” světla, kategorie 1 800 K /CRI 70.

Z pohledu NIF se zvedá aktivační energie **20x** !



Metrika pro noční osvětlení: Modrá složka vs. CCT

Příklad návrhu regulace pomocí Modré složky namísto CCT.

Blue content (U520 DarkSky)- Limity

	NOC 22:00 - 6:00	
	Bc limit U520	
Z0	< 1 %*	*chráněná území nesvítí (případně s filtrem “bez modré”)
Z1	< 2 %*	*chráněná území nesvítí (případně “bez modré”)
Z2	< 4,5 %	<i>HPS povolen večer, pro Noc vyžaduje regulaci Bc</i>
Z3	< 7 %	<i>HPS povolen přes noc, WLED nikoli, Noc vyžaduje regulaci Bc</i>
Z4	< 10 %	<i>WLED 3kK povoleno večer, Noc vyžaduje regulaci Bc</i>
	<i>pozn: DarkSky kritérium Bc U520 < 7% vychází hraničně pro modernější sodíky (HPS), a je otázkou zda tomu věnovat pozornost zejména pro nové instalace + rekonstrukce, když u LED technologií to lze snadno držet pod < 5%.</i>	



Metrika pro noční osvětlení: Modrá složka vs. CCT

Příklad praktického využití Modré složky namísto CCT.

2200K CREE JR5050C E Class

- U500 = 5% ✓
- CRI70 ✓
- >120lm/W HOTLUMEN ✓

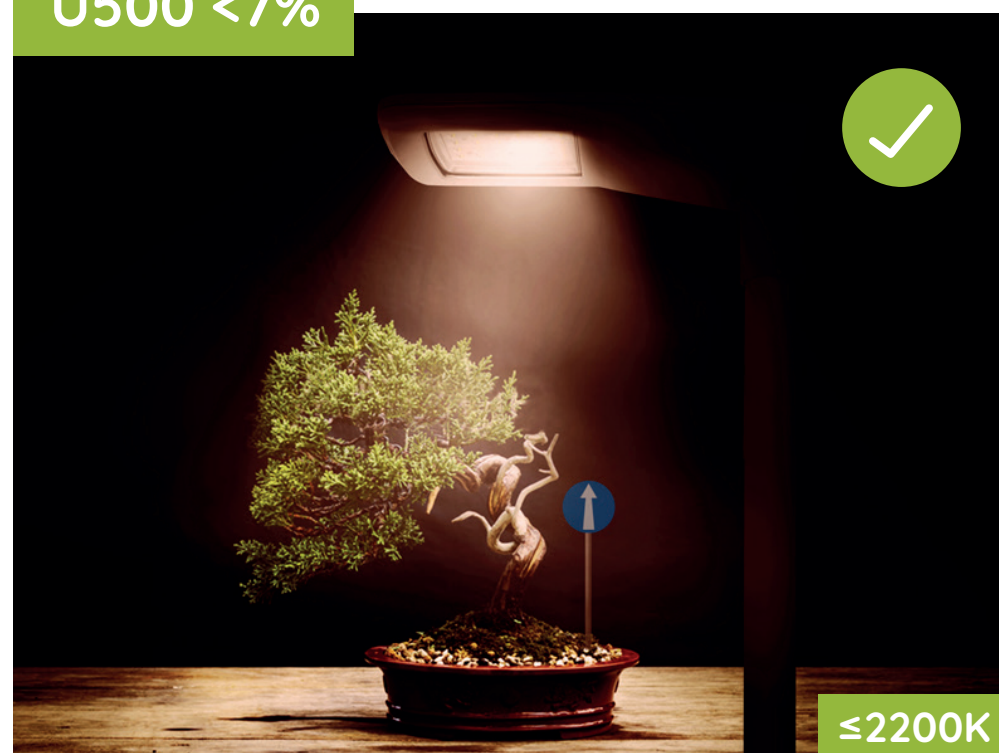
1900K LUMILEDS NIGHTSCAPE

- U500 = 1,2% ✓
- CRI52 —
- >110lm/W HOTLUMEN —

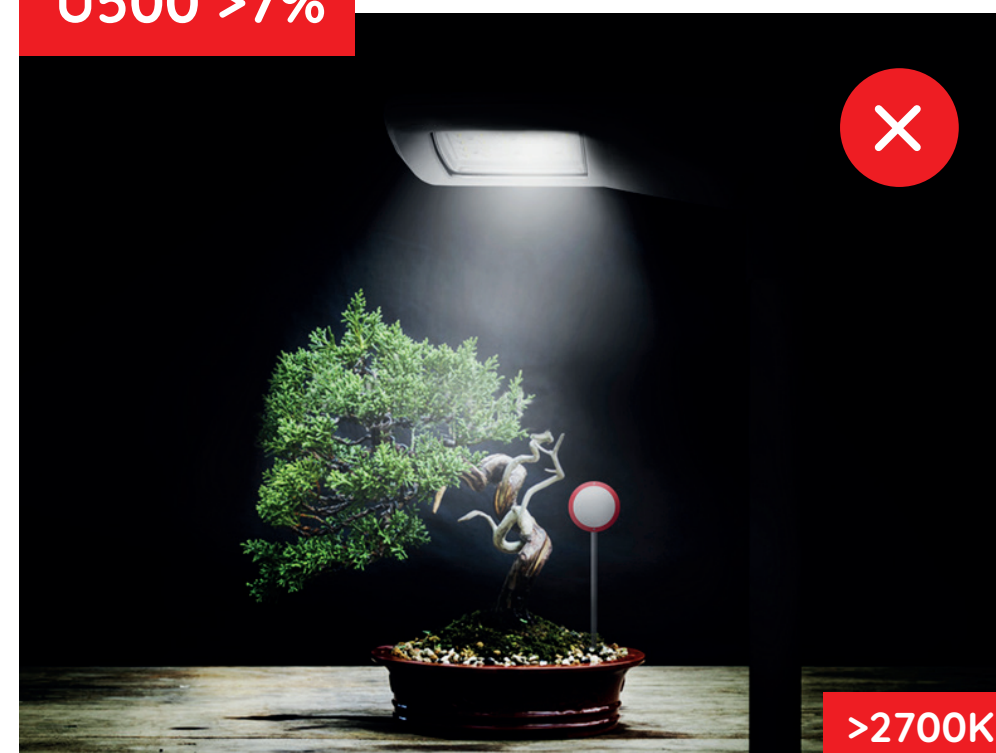
2700K CREE JR5050 K Class + AMBER optika

- U500 = 0,04% ✓
- CRI46 —
- >100lm/W HOTLUMEN —

U500 <7%



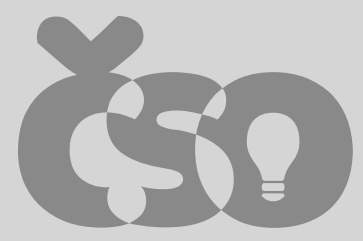
U500 >7%



THOME[®]
LIGHTING

PRELED 2G
U500 <7%

ISO 45001
ISO 14001
ISO 9001
ČESKÝ VÝROBEK
U500 <7%
EN EC 21



Metrika pro noční osvětlení: Modrá složka vs. CCT

Příklad praktického využití Modré složky namísto CCT.

www.bulbsharing.cz

VITAE-Z9-4-04			
Barva	Oranžová	WWW White	WW White
Příkon P _{sv} [Watt]	1,5	3,7	4,1
Spotřeba [kWh/1000 h]	2	4	5
T _{cp} [Kelvin]	x	1600	2000
CRI R _a	x	94+	96+
DER _{mel} / Bc U500	0,015 / 0,01 %	0,2 / 0,6 %	0,3 / 3,3 %
Světelný tok [lm]	14	100	260
Úhel ½ svítivosti [°]	200	200	200
Start [s]	< 1 (studená zapnutí) < 0,15	< 0,5	< 0,5
Napájení	230 V- / 50 Hz		
ON/OFF	15,000		
Rozměry [mm]	125 x 70		

ENERGIE

FLICKER FREE

DĚKUJI ZA POZORNOST...



Česká
společnost
pro osvětlování

REGIONÁLNÍ SKUPINA BRNO