



17.12.2024

Stanovisko NRL k obdržnému dotazu č. 15 (2024)

Dotaz:

Obracím se na Národní referenční laboratoř ohledně stanoviska k použití nekrytých svítidel různých výrobců. Mají vysoký světelný tok – např. 150W/23 000 lm, 200W/31 000 lm. Nasvětlují s nimi i montážní pracoviště na halách. Setkáváme se s použitím od výšek 3,8 metru. Svítidla dle subjektivního posouzení oslňují. Do jakých výšek jsou vhodná? Podobně jako kdysi výbojky v nízkých výškách dělají množství stínů. Domnívám se, že by bylo dobré upřesnit, v jakých případech lze tato svítidla používat.



Stanovisko NRL pro osvětlení:

Svítidla umístěná ve vnitřních pracovních prostorech, mohou mít širokou škálu provedení. Od svítidel s malým světelným tokem a velkou světelně činnou plochou, až po svítidla s velkým světelným tokem a malou světelně činnou plochou. Vzhledem k definici jasu (svítivost vyzařovaná do směru oka pozorovatele z průmětu světelně činné ploch zářiče/svítidla) je jasně patrné, že problematická svítidla s vysokými jasy budeme nacházet u druhé definované skupiny.

Z řad pracovníků hygieny dostáváme připomínky, že svítidla, i když v daném pracovním prostoru subjektivně oslňují, nelze hodnotit, a tudíž nelze k dané osvětlovací soustavě vydat stanovisko v tomto duchu a tuto neakceptovat do provozu v rámci pracovního prostředí.

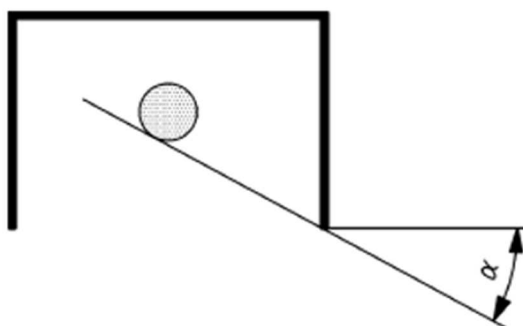
Na základ výše uvedeného si dovoluujeme upozornit na norma ČSN EN 12464-1 – Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovišť – Část 1: Vnitřní pracoviště je **zezavázněna** nařízením vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci, ve znění pozdějších předpisů.

Hodnocením akceptovatelných jasů svítidel bez vazby na osvětlovaný prostor, bez vazby na osvětlovací soustavu, a dokonce bez vazby na umístění svítidla v prostoru se zabývá článek 5.5.2 Omezení jasu svítidel předmětné normy. Požadavky neplatí pro svítidla, která mají pouze horní složku světelného toku, namontovaná nad běžnou úroveň očí, ani pro svítidla, která mají pouze přímou složku světelného toku, namontovaná pod běžnou úroveň očí. V předmětné kapitole jsou svítidla rozdělena do dvou skupin. Norma rozlišuje svítidla s přímým pohledem na světelný zdroj a svítidla, kde je přímý pohled zakryt optickým systémem.

- **Svítidla s přímým pohledem na světelný zdroj** lze chápat, ve vazbě na LED svítidla, jako svítidla s přímou viditelností luminoforu na LED bez toho, aniž by byl světelný tok z luminoforu redistribuován optickým krytem (sklem) do jiné vyzařovací charakteristiky, než je křivka svítivosti původní LED, která se blíží svým tvarem kosinovému zářiči a jas takového zdroje je ve všech směrech pohledu podobný. Zde platí tabulka 4. spojená s obrázkem 4 a úhlem clonění alfa.

Tabulka 4 – Minimální úhly clonění pro stanovené jasy světelných zdrojů

Jas světelného zdroje kcd m ⁻²	Minimální úhel clonění α
20 až < 50	15°
50 až < 500	20°
≥ 500	30°

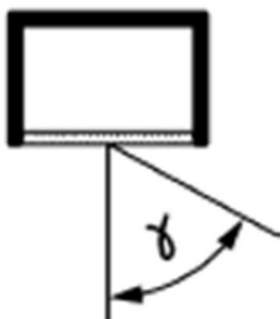


Obr. 1 – Úhel clonění

- **Svítlidla, kde je přímý pohled zakryt optickým systémem** jsou svítidla ostatní. Lze tam zahrnout jak svítidla s difuzním krytem (stále kosinus – tedy opět konstantní jas ve všech směrech pohledu), nebo s optikou, která světelný tok redistribuuje do jiného tvaru křivky svítivosti. Zde platí tabulka 5 a obrázek 4 spojený s úhly gama.

Tabulka 5 – Maximální průměrný jas svítícího optického prvku pro stanovené svislé fotometrické úhly

Svislý fotometrický úhel γ	Maximální průměrný jas svítícího optického prvku kcd m ⁻²
$75^\circ \leq \gamma < 90^\circ$	≤ 20
$70^\circ \leq \gamma < 75^\circ$	≤ 50
$60^\circ \leq \gamma < 70^\circ$	≤ 500



Obr. 2 – Svislý fotometrický úhel

Ověření potencionálně problematických svítidel lze provést pracovníky hygienické služby na základě katalogového listu (křivky svítivosti, nebo fotometrických dat (LDT)).

Pro svítidla s přímým pohledem na světelný zdroj lze jas vypočítat prostým vydělením svítivosti I_0 z křivky svítivosti plochou světelně činné části v přímém směru pohledu na svítidlo. Pokud je svítidlo vybaveno stínítkem, lze jeho dostatečnost ověřit z katalogových údajů také. Například pomocí goniometrické funkce tangens.

U svítidel, kde je přímý pohled zakryt optickým systémem je výpočet komplikovanější, protože je nutné brát v potaz svítivost do potencionálně rušivého úhlu γ (opět z křivky svítivosti) a průmět plochy světelně činné části do daného úhlu pohledu.

Pro korektní stanovení vhodnosti či nevhodnosti svítidla doporučujeme klást velký důraz na korektní stanovení světelně činné části svítidel. Reálná světelně činná plocha a plocha uvedená v LDT, nemusí nutně korespondovat.

Příklad 1: Vyhodnocení svítidla na základě katalogových údajů, které jsou volně dostupné

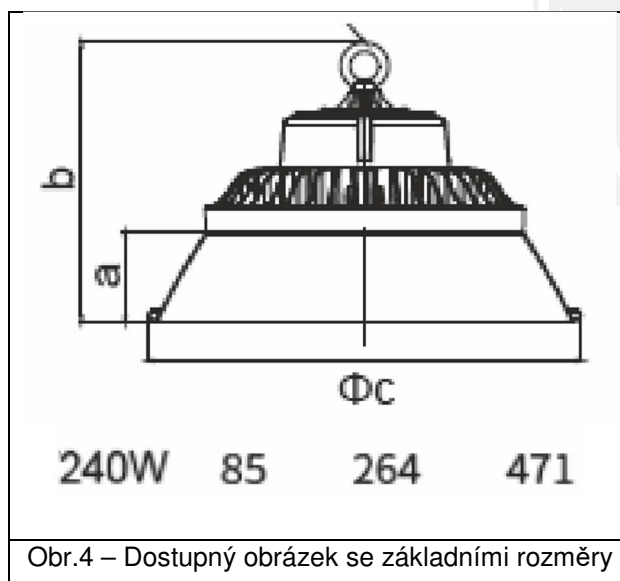
Zde uvádíme příklad informací, které se k hygienikovi, ve vazbě na použitá svítidla, mohou dostat. Jde o pár kusých informací pouze z katalogového listu, ze kterých lze čerpat. I když by se dalo předpokládat, že svítidlo, které nedisponuje korektními technickými údaji, nemůže být uvedeno na trh, a tudíž implementováno do osvětlovací soustavy, tak toto hodnocení není na hygienikovi a musí se věnovat pouze světelně-technickým parametrům, které jsou spojeny s potenciálním oslněním (vysokým jasem). Uvedené svítidlo (viz Obr. 1) bylo vybráno záměrně, jako svítidlo s vysokým světelným tokem, relativně malou

světelně činnou plochou a zároveň i stínítkem. To znamená, že pokud to bude nutné, budeme provádět i hodnocení dostatečnosti stínění světelného zdroje.

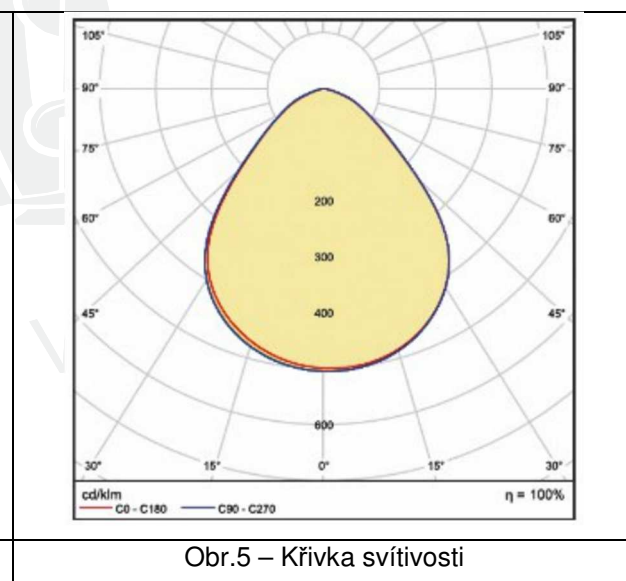


Obr.3 – Jediný dostupný obrázek svítidla, které ještě není fyzicky k dispozici

Ke svítidlu je k dispozici informace o jeho počátečním světelném toku (**32 600 lm**), orientační rozměrový náčrtek a křivka svítivosti znázorněná v polárních souřadnicích.



Obr.4 – Dostupný obrázek se základními rozměry



Obr.5 – Křivka svítivosti

Z výše uvedených informací lze usuzovat na jednoduchý optický systém bez extra optických prvků. Svítidlo generuje světelný tok ve tvaru blízkém kosinusové charakteristice (difuzní zářič), která je opatřena stínítkem (krytem s difuzním odrazem), který tuto vyzařovací charakteristiku částečně deformuje v úhlech blízkým 90 stupňům. Protože je vyzařovací charakteristika blízká difuzní charakteristice budeme předpokládat, že jde o svítidlo s přímým pohledem na světelný zdroj a budeme pro vyhodnocování postupovat podle tabulky 4.

Zjištění jasu světelného zdroje:

Ke zjištění jasu světelného zdroje je nejjednodušší vycházet ze svítivosti I_0 . Tuto nelze přímo vyčíst z křivky svítivosti, protože není vygenerována přímo v kandelách (cd), ale v kandelách na kilolumen (klm). Pro získání svítivosti I_0 je tedy nutné vynásobit hodnotu získanou z křivky svítivosti (cca 500 cd/klm) hodnotou světelného toku v kilolumenech (32,6 klm).

$$I_0 = 500 \text{ (cd/klm)} * 32,6 \text{ (klm)} = \mathbf{16\ 300 \text{ cd}}$$

Druhou hodnotu, kterou je nutné z dodaných materiálů získat, je světelně činná plocha svítidla, respektive její průmět do daného směru. Z Obr.2 sice nelze korektně světelně činnou plochu získat, ale započítáním největší možné plochy získáme informaci o minimálně dosažitelném průměrném jasu. Reálná situace s jasy ve svítidle bude tedy vždycky horší. Pro tento konkrétní případ se tedy na průmět světelně činné plochy v úhlu 0 stupňů můžeme dívat jako na plochu o průměru 471 mm. Poloměr světelně činné části svítidla je tedy 0,2355 m. Průmět plochy svítidla tedy lze vyjádřit pomocí vztahu:

$$S_0 = \pi * R^2 = 3,14 * (0,2355)^2 = \mathbf{0,174 \text{ m}^2}$$

Jas L_0 svítidla v přímém směru tedy bude dán podílem svítivosti I_0 a průmětu světelně činné plochy S_0 .

$$L_0 = I_0 / S_0 = \mathbf{16\ 300 \text{ cd} / 0,174 \text{ m}^2 = 93\ 552 \text{ cd/m}^2 = 93,552 \text{ kcd/m}^2 = 93,552 \text{ kcdm}^{-2}}$$

Ověření vhodnosti použití svítidla:

Jednoduchým porovnáním s tabulkou 4, dojdeme k závěru, že toto svítidlo pro osvětlování vnitřních pracovních prostorů musí disponovat stínítkem s minimálním úhlem clonění alfa 20 stupňů. Vzhledem k tomu, že svítidlo je stínítkem opatřeno je nutné provést kontrolu dostatečnosti tohoto stínítka. Aplikací základní goniometrické funkce tangens, která je v rámci pravoúhlého trojúhelníku definována jako poměr protilehlé strany ku straně přilehlé, lze reálný úhel stínění vypočítat ze základních údajů o našem svítidle.

Protilehlou stranu lze chápat jako výšku stínítka, která činí 85 mm a strana přilehlá pro stanovení úhlu clonění svítidla je délka průměru světelně činné části svítidla, což je 471 mm.

Pozor!!!

Ne všechna svítidla jsou rotačně symetrická. Z tohoto důvodu je nezbytně nutné vyhodnocovat úhel alfa v méně příhodném řezu, který standardně odpovídá fotometrické rovině C90 – C270.

Tangens alfa = 85 mm / 471 mm. Z toho vyplývá že úhel alfa se rovná hodnotě **10 stupňů**.

Závěr:

Opětovným porovnáním vypočteného úhlu clonění svítidla s požadavky tabulky 4 dojdeme k závěru že svítidlo s daným světelným tokem a namontovaným stínítkem není vhodné k aplikacím ve vnitřních pracovních prostorech s možností jejich umístění v zorném poli pracovníků.

Vzhledem k tomu, že dominantní část LED svítidel lze regulovat, je možné svítidlo akceptovat pro provoz, ale pouze s omezeným světelným tokem, který bude determinovat jas menší než 20 kcdm⁻² což je pro dané svítidlo regulace jeho světelného toku na cca 20 % ze světelného toku deklarovaného v katalogovém listu.

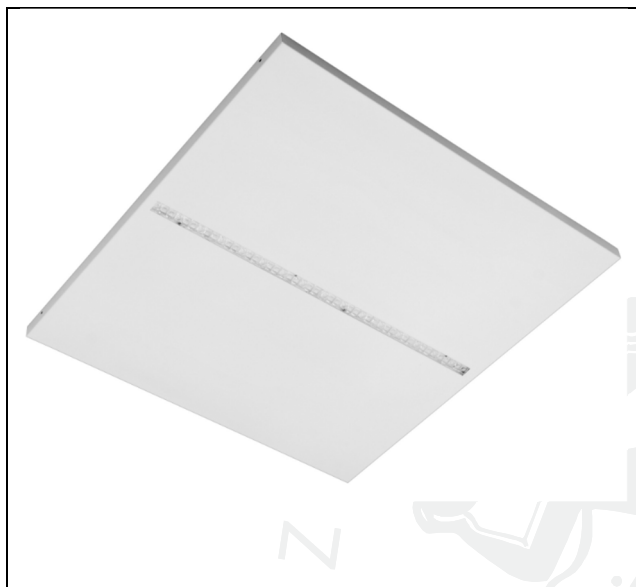
Druhá varianta pro akceptaci provozu daného svítidla je zajištění výměny stínítka svítidla, což by pro daný světelný tok a daný průměr stínítka (světelně činné části) vyžadovalo instalaci stínítka s hloubkou minimálně 171 mm (variace na výpočet úhlu alfa na základě dodaných dat).

Třetí varianta je umístění svítidel mimo zorné pole pracovníků tak, aby nemohli oslňovat svým vysokým jasnem v kritických směrech pohledů.

Příklad 2: Vyhodnocení interiérového svítidla na základě katalogových údajů, které jsou volně dostupné a lze je dohledat i elektronické podobě (včetně ldt)

Zde uvádíme příklad svítidla, s lépe dostupnými podklady a svítidla, které bude nutné posuzovat podle tabulky 5, protože LED (světelné zdroje) jsou osazeny optickým systémem, který je schopen redistribuovat světelný tok do výrazně užší vyzařovací charakteristiky, než je vyzařovací charakteristika, která se svým tvarem blíží vyzařovací charakteristice kosinové. Jako příklad je uvedeno vestavné interiérové LED svítidlo vyvinuté pro aplikaci do rastru 600 mm x 600 mm. Toto svítidlo má ale světelně činnou plochu výrazně menší, než je celá plocha tohoto svítidla. Na první pohled lze toto svítidlo chápat jako potenciálně

problematické, protože jeho světelný tok je vyzařován z velmi malé plochy, a tudíž může disponovat vysokými jasy i v kritických úhlech pohledu. Posouzení svítidla podle tabulky 5 je pro hygienika poněkud zdoluhavější, nicméně v rámci ověření vhodnosti osvětlovací soustavy není nemožné.

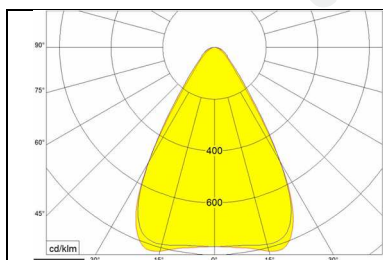


Obr.6 – Ukázka posuzovaného přisazeného LED svítidla s velmi malou světelně činnou plochou

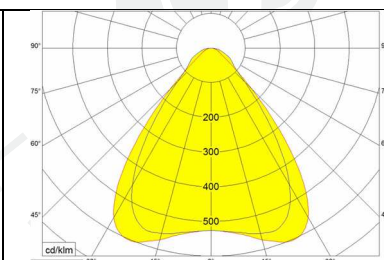


Obr.7 – Detail optického systému předmětného svítidla s jasně patrnými čočkami pro redistribuci světelného toku

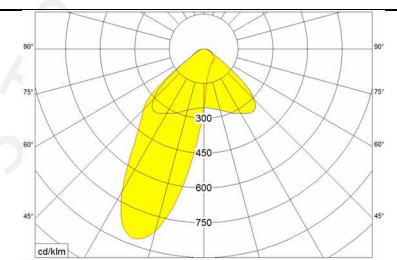
V rámci dalších specifikací svítidla je možné získat informace o jeho světelném toku (2700 lm) a vyzařovacích charakteristikách.



Obr.8 – Hluboká křivka svítivosti



Obr.9 – Široká křivka svítivosti



Obr.10 – Asymetrická křivka svítivosti

Z grafického zobrazení křivek svítivosti jde stanovit následující hodnoty jasů v daných směrech. Pro vyhodnocení omezení jasů byla dále zpracována široká křivka svítivosti. Pro ostatní křivky svítivosti lze použít identický postup.

$$I_0 = 525,8 \text{ (cd/klm)} * 2,7 \text{ (klm)} \approx \mathbf{1\ 420 \text{ cd}}$$

Druhou hodnotu, kterou je nutné z fotometrických dat (LDT) získat, je světelně činná plocha svítidla, respektive její průmět do daného směru. Plocha světelně činné části v LDT je definovaná rozměry 15 mm x 570 mm:

$$S_0 = 0,015 \times 0,57 = \mathbf{0,00855 \text{ m}^2}$$

Jas L_0 svítidla v přímém směru tedy bude dán podílem svítivosti I_0 a průmětu světelně činné plochy S_0 .

$$L_0 = I_0 / S_0 = \mathbf{1\ 420 \text{ cd} / 0,00855 \text{ m}^2 = 166,081 \text{ kcd/m}^2}$$

Dále byl dopočítán jas pro úhly 80° , 70° , 65° .

$$L_{80} = I_{80} / (S_0 \times \cos 80) = \mathbf{(9,86 * 2,7) \text{ cd} / (0,00855 \times \cos 80) \text{ m}^2 = 17,94 \text{ kcd/m}^2}$$

$$L_{70} = I_{70} / (S_0 \times \cos 70) = \mathbf{(18,49 * 2,7) \text{ cd} / (0,00855 \times \cos 70) \text{ m}^2 = 17,07 \text{ kcd/m}^2}$$

$$L_{65} = I_{65} / (S_0 \times \cos 65) = \mathbf{(25,59 * 2,7) \text{ cd} / (0,00855 \times \cos 65) \text{ m}^2 = 19,12 \text{ kcd/m}^2}$$

Závěr:

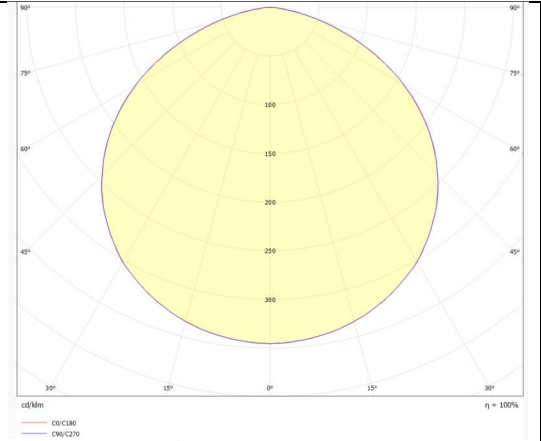
Z výše uvedených hodnot vyplývá že dané svítidlo z pohledu omezení jasu je vyhovující.

Příklad 3: Vyhodnocení výkonného průmyslového svítidla na základě katalogových údajů, které jsou volně dostupné a lze je dohledat i elektronické podobě (včetně LDT)

Následující příklad průmyslového svítidla s velkým světelným tokem a relativně malou plochou zcela bez stínítka.



Obr.11 – Ukázka posuzovaného závěsného LED svítidla s relativně malou světelně činnou plochou



Obr.12 – Křivka svítivosti posuzovaného svítidla

Z fotometrických dat posuzovaného svítidla jde stanovit následující hodnoty jasů v daných směrech (platné pro optiku – široká křivka svítivosti).

$$I_0 = 345,6 \text{ (cd/klm)} * 16 \text{ (klm)} \approx \mathbf{5\ 530 \text{ cd}}$$

Pro tento konkrétní případ se tedy na průmět světelně činné plochy v úhlu 0 stupňů můžeme dívat z pohledu údajů v katalogu nebo LDT souboru, a to jako na plochu o průměru 260 mm. Poloměr světelně činné části svítidla je tedy 0,13 m. Průmět plochy svítidla tedy lze vyjádřit pomocí vztahu:

$$S_{0LDT} = \pi * R^2 = 3,14 * (0,13)^2 = \mathbf{0,0531 \text{ m}^2}$$

Ve skutečnosti se v tomto případě jedná o plochu mezikruží, která je výrazně menší, a tudíž reálné svítidlo bude disponovat výrazně vyššími jasy. Fotogrametickým měřením byl stanoven větší poloměr na 0,1105 m a menší na 0,0635m.

$$S_{0realita} = \pi * R_1^2 - \pi * R_2^2 = 3,14 * (0,1105)^2 - 3,14 * (0,0635)^2 = \mathbf{0,0256 \text{ m}^2}$$

Z výše uvedeného vyplývá, že světelně činná plocha svítidla je ve skutečnosti poloviční. **Tak že reálné jasy svítidla budou dvojnásobné vůči jasům získaným z dodané křivky svítivosti.** Další výpočty ale pokračují s plochou z LDT souboru, protože s tímto údajem budou pracovat i modelovací software.

I když se křivka svítivosti blíží svým tvarem ke kosinovému (difuznímu, Lambertovskému) zářiči, tak tento nekoresponduje přesně. Na následných výpočtech dokladujeme, že v kritických úhlech vyšších než 60° je jas svítidla nižší než v přímém směru, a tudíž je reálná vyzařovací charakteristika užší.

Jas L_0 svítidla v přímém směru tedy bude dán podílem svítivosti I_0 a průmětu světelně činné plochy S_0 .

$$L_0 = I_0 / S_0 = 5\,530 \text{ cd} / 0,0531 \text{ m}^2 = \mathbf{103,955 \text{ kcd/m}^2}$$

Dále byl dopočítán jas pro úhly 80°, 70°, 65°.

$$L_{80} = I_{80} / (S_0 \times \cos 80) = (26,36 * 16) \text{ cd} / (0,0531 \times \cos 80) \text{ m}^2 = \mathbf{45,740 \text{ kcd/m}^2}$$

$$L_{70} = I_{70} / (S_0 \times \cos 70) = (89,25 * 16) \text{ cd} / (0,0531 \times \cos 70) \text{ m}^2 = \mathbf{78,628 \text{ kcd/m}^2}$$

$$L_{65} = I_{65} / (S_0 \times \cos 65) = (124,64 * 16) \text{ cd} / (0,0531 \times \cos 65) \text{ m}^2 = \mathbf{88,865 \text{ kcd/m}^2}$$

Z výše uvedených hodnot vyplývá že dané svítidlo z pohledu omezení jasu není vyhovující ani podle tabulky 5 a ani podle tabulky 4 bez použití stínítka. Stínítka podle tabulky 4 musí mít úhel clonění 20°. I kdybychom brali v potaz menší světelně činnou plochu, která k realitě blíží mnohem více, tak jas L_0 stále nebude překračovat 500 kcd/m².

Příklad 3.1 - Aplikace svítidla ve světelně technických výpočtech

Následující ukázka světelně technického výpočtu ukazuje na to, že pokud svítidlo překračuje meze maximálních jasů, tak má logicky problém i se splněním požadavků na činitel oslnění. Pro výpočet byla vybrána reálná situace průmyslové haly s rozměry 42,2 m x 24,7 m, výška 6,5 m. Pro osvětlení haly byla použita výše popsaná svítidla. Tato byla umístěná v rovnoměrné síti 5 x 9 svítidel v závěsné výšce 5,0 m. Pro výpočet UGR byla použita výška oka sedícího člověka (1,2 m). Odrážnost povrchů byla nastavená na standardní hodnoty dle doporučení normy. Vzhledem k tomu že se jedná o dílnu bylo ve výpočtu činitele údržby uvažováno s prostředím špinavým.

1.1 - Místnost 1 - montážní práce střední					
Normálová osvětlenost	307 lx	425 / 300 lx ✓	501 lx	0,72 / 0,6 ✓	80 / 80 ✓
Činitel oslnění UGR	29,4	29,7	30,1 / 25,0 !		
Válcová osvětlenost	95,0 lx	164,4 / 75,0 lx ✓	200,8 lx	0,58 / 0,1 ✓	
Strop - Normálová osvětlenost	26,8 lx	36,7 / 30 lx ✓	41,7 lx	0,73 / 0,1 ✓	
Stěna 1 - Normálová osvětlenost	17,7 lx	147 / 75 lx ✓	266 lx	0,12 / 0,1 ✓	
Stěna 2 - Normálová osvětlenost	16,4 lx	151 / 75 lx ✓	266 lx	0,11 / 0,1 ✓	
Stěna 3 - Normálová osvětlenost	17,7 lx	147 / 75 lx ✓	266 lx	0,12 / 0,1 ✓	
Stěna 4 - Normálová osvětlenost	16,3 lx	151 / 75 lx ✓	266 lx	0,11 / 0,1 ✓	
Oslnění UGR tabulkovou metodou	30,6		30,6 / 25,0 !		

Obr.13 – Výstup ze světelně technického SW

Výsledky výpočtu ukazují na fakt, že kromě činitele oslnění UGR (výpočtově i tabulkově) jsou veškeré ostatní kvalitativní i kvantitativní parametry vyhovující.

