

Integrační koule jako uniformní zdroj světla

Martin Vacula, Pavel Horváth

Společná laboratoř optiky, Přírodovědecká fakulta

6. října 2021



Univerzita Palackého
v Olomouci

Podpořeno z projektu OP VVV "Partnerská síť v oblasti výzkumu a vývoje zobrazovací a osvětlovací techniky a optoelektroniky pro optický a automobilový průmysl", registrační číslo: CZ.02.1.01/0.0/0.0/17_049/0008422.



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

- 1 Plošný uniformní světelný zdroj (EULS) pro kalibrace detektorů
 - Integrační koule
 - Specializované integrační koule
 - Integrační koule pro všeobecné účely (komerční)
 - Plán měření uniformity vyzařování integrační koule
 - Volba vhodné měřicí metody
 - Experiment a výsledky měření uniformity
- 2 Modifikace komerční integrační koule
 - Shrnutí změn provedených na modifikované integrační kouli
 - Clonka (baffle)
 - Zdroj světla
 - Kryt výstupního portu
 - Omezovač (redukce) výstupního portu
 - Průběžné výsledky měření uniformity

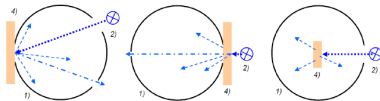
Integrační koule (IS)

- Optický prvek se sférickou dutinou, kde dochází ke sběru a prostorové integraci světelného toku
- Dutina je pokryta uniformní **difúzní barevně neselektivní vrstvou** s velkou odrazností (*Spectralon*), z té je tvořena i **clonka** (*baffle*) zabraňující přímému osvitu detektoru zdrojem
- Díky **mnohonásobným odrazům** dochází k rovnoměrnému rozložení světelného toku
- Zpravidla obsahuje malé otvory pro **vstupní a výstupní porty**
 - Porty mívají funkci kolektorů dopadajícího světla
 - Neměly by zabírat více než 5 % povrchu
 - Ideální poměr průměru výstupního portu a průměru integrační koule je stanoven jako 1/4 případně 1/3
- Integrační koule se užívají v kombinaci se zdrojem a detektorem ve **třech základních aplikacích:**

Integrační koule (IS)

- Optický prvek se sférickou dutinou, kde dochází ke sběru a prostorové integraci světelného toku
- Dutina je pokryta uniformní **difúzní barevně neselektivní vrstvou** s velkou odrazností (*Spectralon*), z té je tvořena i **clonka (baffle)** zabraňující přímému osvětlení detektoru zdrojem
- Díky **mnohonásobným odrazům** dochází k rovnoměrnému rozložení světelného toku
- Zpravidla obsahuje malé otvory pro **vstupní a výstupní porty**
 - Porty mívají funkci kolektorů dopadajícího světla
 - Neměly by zabírat více než 5 % povrchu
 - Ideální poměr průměru výstupního portu a průměru integrační koule je stanoven jako $1/4$ případně $1/3$
- Integrační koule se užívají v kombinaci se zdrojem a detektorem ve **třech základních aplikacích:**

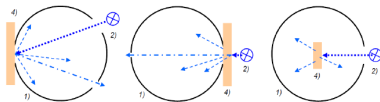
1 Charakterizace materiálů



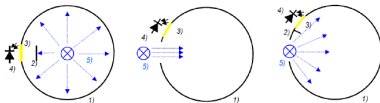
Integrační koule (IS)

- Optický prvek se sférickou dutinou, kde dochází ke sběru a prostorové integraci světelného toku
- Dutina je pokryta uniformní **difúzní barevně neselektivní vrstvou** s velkou odrazností (*Spectralon*), z té je tvořena i **clonka (baffle)** zabraňující přímému osvětlení detektoru zdrojem
- Díky **mnohonásobným odrazům** dochází k rovnoměrnému rozložení světelného toku
- Zpravidla obsahuje malé otvory pro **vstupní a výstupní porty**
 - Porty mívají funkci kolektorů dopadajícího světla
 - Neměly by zabírat více než 5 % povrchu
 - Ideální poměr průměru výstupního portu a průměru integrační koule je stanoven jako 1/4 případně 1/3
- Integrační koule se užívají v kombinaci se zdrojem a detektorem ve **třech základních aplikacích:**

1 Charakterizace materiálů



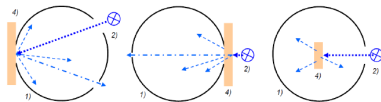
2 IS jako detektor



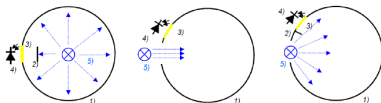
Integrační koule (IS)

- Optický prvek se sférickou dutinou, kde dochází ke sběru a prostorové integraci světelného toku
- Dutina je pokryta uniformní **difúzní barevně neselektivní vrstvou** s velkou odrazností (*Spectralon*), z té je tvořena i **clonka (baffle)** zabráňující přímému osvětlení detektoru zdrojem
- Díky **mnohonásobným odrazům** dochází k rovnoměrnému rozložení světelného toku
- Zpravidla obsahuje malé otvory pro **vstupní a výstupní porty**
 - Porty mívají funkci kolektorů dopadajícího světla
 - Neměly by zabírat více než 5 % povrchu
 - Ideální poměr průměru výstupního portu a průměru integrační koule je stanoven jako 1/4 případně 1/3
- Integrační koule se užívají v kombinaci se zdrojem a detektorem ve **třech základních aplikacích**:

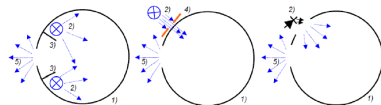
1 Charakterizace materiálů



2 IS jako detektor



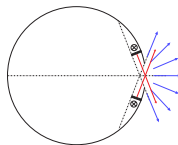
3 IS jako zdroj světla (plošný uniformní)



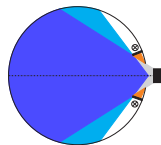
Specializované integrační koule

IS se širokým zorným polem

- Široké zorné pole
- Malé clonky – symetrie
- Vysoká uniformita záře



a)



b)

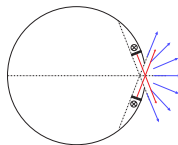
Specializované integrační koule

IS se širokým zorným polem

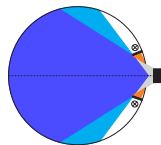
- Široké zorné pole
- Malé clonky – symetrie
- Vysoká uniformita záře

IS s úzkým zorným polem

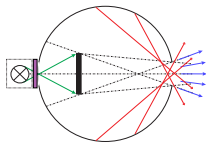
- Úzké zorné pole
- Velká clonka – symetrie
- Vysoká uniformita záře



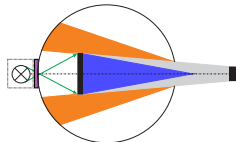
a)



b)



a)



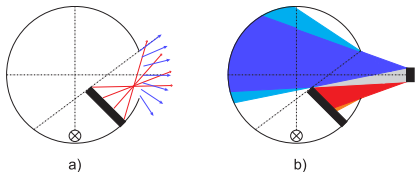
b)

- a) různé příspěvky záře integrační koule
b) příspěvky pro kalibrování detektor

Integrační koule pro všeobecné účely (komerční)

Komerční integrační koule

- Široké zorné pole
- Velká clonka – asymetrie
- Nízká uniformita záře



- a) různé příspěvky záře integrační koule
b) příspěvky pro kalibrovaný detektor

Motivace

Potřeba kalibrovat detektory se širokým zorným polem (alespoň 30°), například detektory / maticové senzory

Plošný uniformní světelný zdroj pro kalibrace detektorů

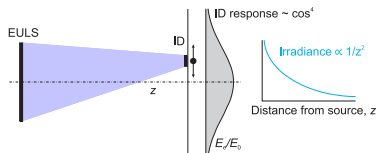
Úkoly:

- 1 Vybrat vhodnou měřicí metodu pro provedení měření uniformity integrační koule (detektor ozáření / detektor záře)
- 2 Proměřit uniformitu vyzařování výstupního portu (prostorovou a úhlovou)
- 3 Přesně popsat a interpretovat výsledky měření uniformit
- 4 Určit, zdali je integrační koule vhodná pro kalibrace maticových detektorů / senzorů

Ozáření versus Zář

Detektor ozáření (ID)

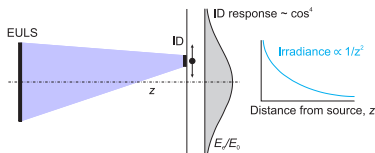
- Zorný úhel = 180°
- Odezva ID na ploše $\approx \cos^4$
- Signál se snižuje s druhou mocninou vzdálenosti



Ozáření versus Zář

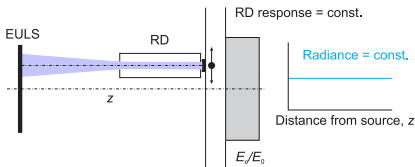
Detektor ozáření (ID)

- Zorný úhel = 180°
- Odezva ID na ploše $\approx \cos^4$
- Signál se snižuje s druhou mocninou vzdálenosti

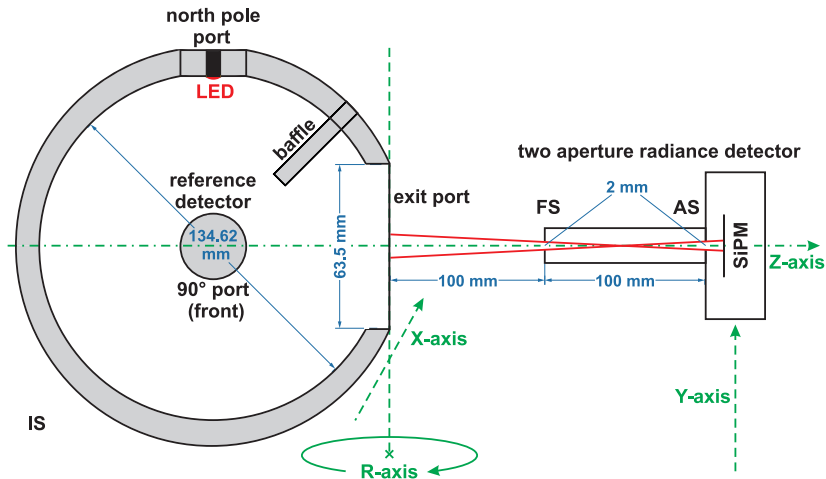


Detektor záře (RD)

- Zorný úhel = 2.29°
- Odezva RD na ploše je konstantní
- Konstantní signál vzhledem k vzdálenosti i úhlu
- Schopnost určit původ neuniformit



Měření prostorové uniformity vyzařování



Výsledky měření prostorové uniformity vyzařování

Každý z grafů reprezentuje průměr ze tří opakovaných měření

a) 0 – 100%

- Plný rozsah

b) 95 – 100%

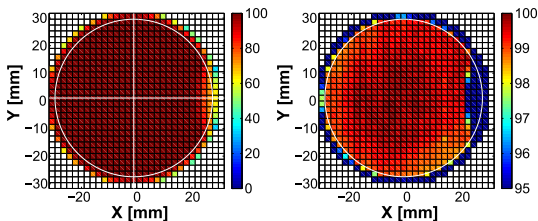
- Detail

c) 60 – 100%

- XY řezy

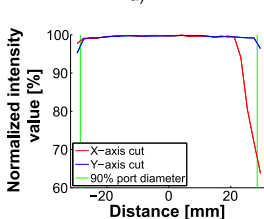
d) 95 – 100%

- Kontura

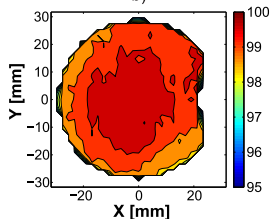


a)

b)



c)



d)

Měření úhlové uniformity vyzářování

a) 0°

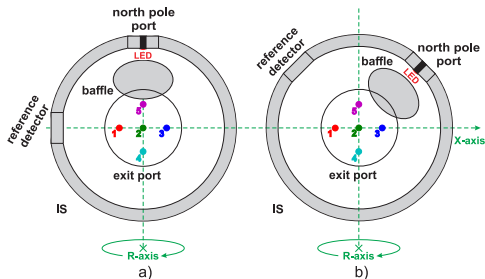
- Vertikální

b) 45°

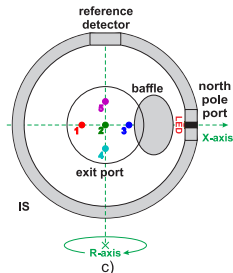
- Diagonální

c) 90°

- Horizontální



● ● ● ● ●
spots of angular measurement



Výsledky měření úhlové uniformity vyzářování

a) 65 – 105%

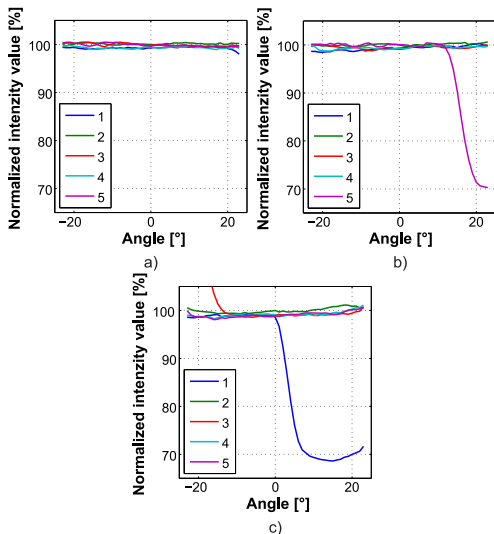
• Vertikální

b) 65 – 105%

• Diagonální

c) 65 – 105%

• Horizontální



Definice prostorové uniformity vyzařování

Metoda odchylky

$$U_{Dev} = \left[1 - \frac{L_{max} - L_{min}}{\langle L \rangle} \right]$$

Metoda střední odchylky

$$U_{MeanDev} = \left[1 - \frac{\left(\frac{L_{max} - L_{min}}{2} \right)}{\langle L \rangle} \right]$$

Metoda maximální odchylky

$$U_{MaxDev} = \frac{L_{min}}{L_{max}}$$

Metoda koeficientu rozptylu (CoV)

$$U_{CoV} = \left[1 - \frac{S_L}{\langle L \rangle} \right]$$

$$S_L = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (L_i - \langle L \rangle)^2}$$

Vyhodnocení měření prostorové uniformity vyzařování

- Výsledky měření dle typů definic prostorové uniformity
- Čtyři redukce průměru výstupního portu
- Vysoká opakovatelnost měření

Definice uniformity	průměr portu 90 %	průměr portu 80 %	průměr portu 70 %	průměr portu 60 %
U_{MaxDev}	71.73 % \pm 0.15 %	80.42 % \pm 0.10 %	98.33 % \pm 0.26 %	98.84 % \pm 0.01 %
U_{Dev}	71.04 % \pm 0.15 %	80.10 % \pm 0.10 %	98.32 % \pm 0.26 %	98.84 % \pm 0.01 %
$U_{MeanDev}$	85.52 % \pm 0.08 %	90.05 % \pm 0.05 %	99.16 % \pm 0.13 %	99.42 % \pm 0.01 %
U_{COV}	97.03 % \pm 0.02 %	99.05 % \pm 0.01 %	99.85 % \pm 0.01 %	99.89 % \pm 0.01 %

Teorie integrační koule jako plošného uniformního zdroje záření včetně návrhu metodiky měření a vyhodnocení prostorové a úhlové uniformity vyzařování vybraného zástupce komerční integrační koule byla publikována:

M. Vacula et al., Optik **242** (2021) 167169.

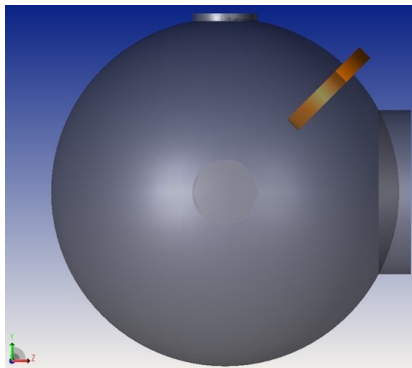
Aktuální design modifikované integrační koule

V modifikované integrační kouli jsou čtyři hlavní rozdíly oproti její komerční variantě

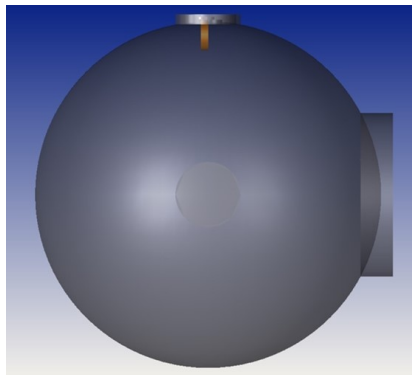
- 1 Clonka (baffle) – optimalizovaná velikost a změna pozice
- 2 Zdroj světla – LED s difuzérem (opálové sklo)
- 3 Kryt výstupního portu – plexisklo
- 4 Redukce výstupního portu – z 2.5" na 2"

1) Clonka (baffle)

- Změna ve velikosti a pozici
- Clonka upevněna na platformu světelného zdroje



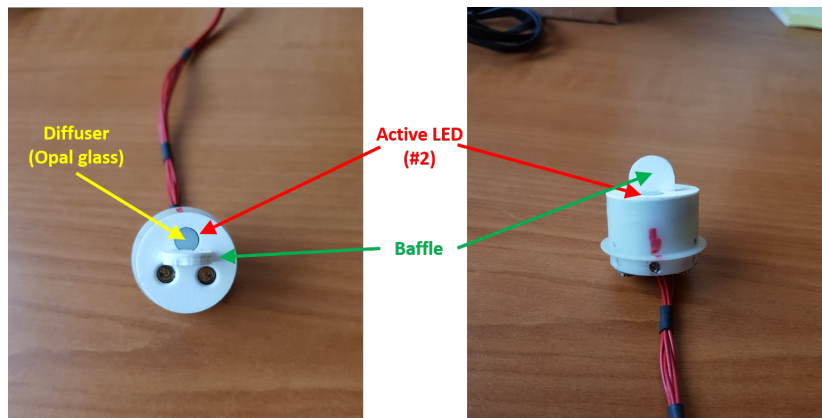
Komerční integrační koule



Modifikovaná integrační koule

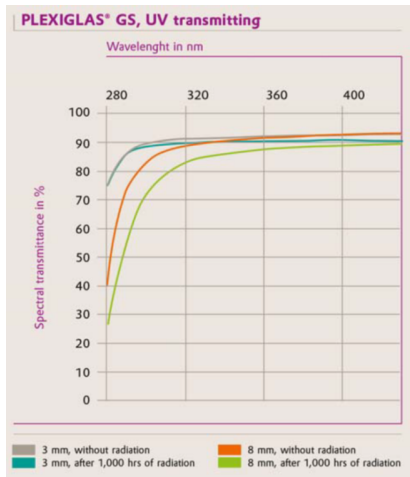
2) Zdroj světla

- Nový design platformy světelného zdroje
- Jeden LED zdroj vs tři LED zdroje
- Pouze jeden aktivní LED zdroj, dva pro časové kalibrace
- Difuzér (Opal glass) umístěn nad aktivní LED



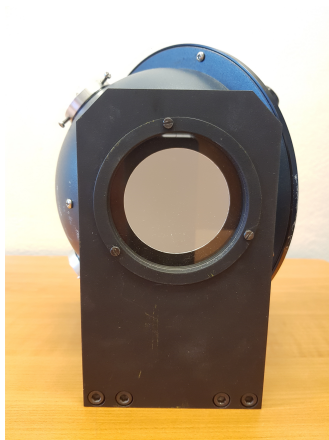
3) Kryt výstupního portu

- Ochrana interiéru integrační koule proti nečistotám / prachu vnikajícím přes výstupní port integrační koule při jejím venkovním použití
- Materiál – kruhová destička z plexiskla (PMMA) o tloušťce 3 mm
- Použití krycího plexiskla neovlivňuje prostorovou a úhlovou uniformitu vyzařování



4) Omezovač (redukce) výstupního portu

- Omezení průměru výstupního portu ze 2.5" na 2"
- Důsledkem je zvýšení prostorové uniformity záře
- Průměr výstupního portu se přibližuje ideálním podmínkám poměru průměru výstupního portu a průměru integrační koule, stanovenému jako $1/3$
- Stále dostačující plocha zdroje



Průběžné výsledky prostorové uniformity vyzařování

a) 0 – 100%

- Plný rozsah

b) 95 – 100%

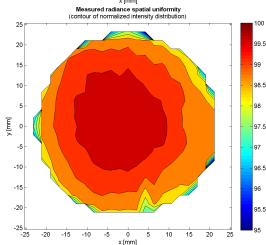
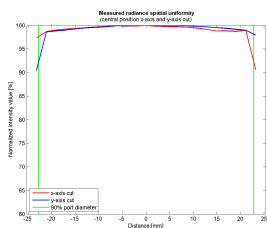
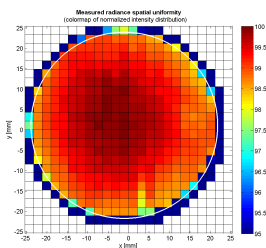
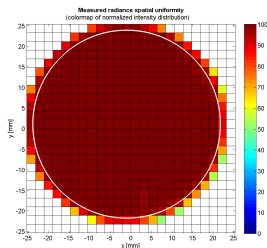
- Detail

c) 60 – 100%

- XY řezy

d) 95 – 100%

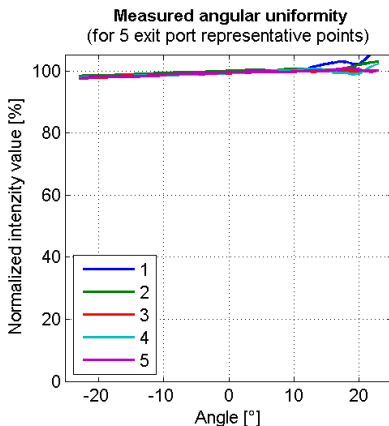
- Kontura



Průběžné výsledky úhlové uniformity vyzářování

0 – 105%

• Horizontální



Děkuji za pozornost

Podpořeno z projektu OP VVV "Partnerská síť v oblasti výzkumu a vývoje zobrazovací a osvětlovací techniky a optoelektroniky pro optický a automobilový průmysl", registrační číslo: CZ.02.1.01/0.0/0.0/17_049/0008422.



EUROPEAN UNION
European Structural and Investment Funds
Operational Programme Research,
Development and Education



MINISTRY OF EDUCATION,
YOUTH AND SPORTS