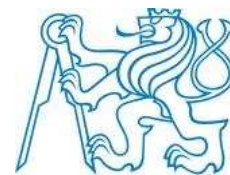


# Přenosné zařízení pro měření směrové odrazivosti povrchů



Vlastimil Havran, Jan Hošek, Šárka Němcová, Jiří Čáp a Jiří Bittner  
Fakulta elektrotechnická a fakulta strojní, ČVUT v Praze



## Přístroj

- mobilní zařízení pro měření prostorově proměnné funkce odrazivosti povrchů (BTF)
- světově unikátní koncept: možnost měření *in situ*, tedy přístroj se přenesse k měřenému předmětu
- změřená data se využívají pro vizualizace: změřený reálný povrch je natažen na povrch digitálně vytvořených 3D objektů

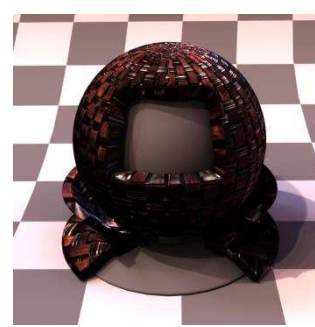
## Aplikace

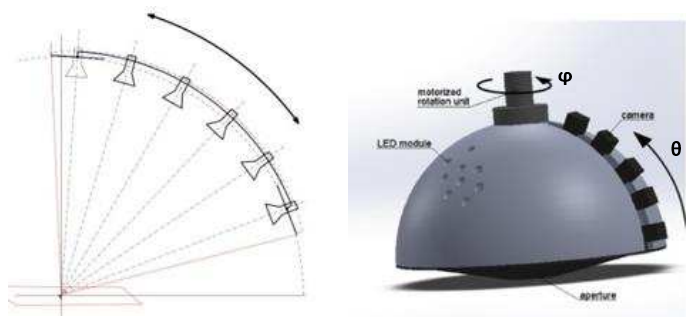
- virtuální a rozšířená realita
- filmové triky
- návrhové fáze (CAD/CAM) výrobků
- digitalizace a prohlížení uměleckých děl
- kontrola kvality povrchových úprav



## Podstata a cíl měření

K dosažení realistického vzhledu digitálně vytvořených 3D objektů je třeba věrně simulovat jejich povrch. Vizuální vjem povrchu je obecně závislý na směru, ze kterého předmět pozorujeme, směru, ze kterého je předmět osvětlen, a spektru dopadajícího světla. Pro jeden bod povrchu lze tento vjem kvantifikovat jako odrazivost – pětiparametrickou funkci (2 parametry pro směr pozorování, 2 pro směr osvětlení a jeden pro vlnovou délku). Takový popis ale nedokáže zachytit informace o textuře povrchu, případně povrchových a podpovrchových jevech interakce světla s materiálem, které mají často zásadní vliv na odrazivost a tedy i vzhled povrchu daného materiálu. Proto se měří *bidirectional texture function* — BTF: sedmiparametrická charakteristika zahrnující i plochu povrchu. BTF je měřená jako diskretní funkce a odpovídá mnoha tisícům snímků povrchu, každý pořízený pod jiným směrem osvětlení a jiným směrem pohledu na měřený povrch.





## Koncepce přístroje

- hemisférický skelet s osvětlovacími LED moduly
- 6 rychlých kamer v rovině nad vzorkem
- změna směru pozorování: pohybem kamer podél vedení
- změna směru osvětlení: postupné zapínání LED modulů
- změna směru osvětlení i pozorování: rotace skeletonu nad vzorkem

## Provedení a technické parametry

### Osvětlovací systém:

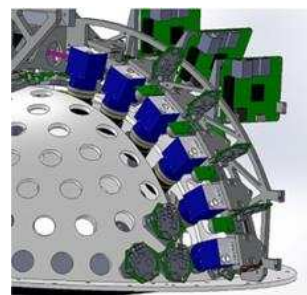
134 + 5 osvětlovacích LED modulů se spektrální charakteristikou umožňující co nejvěrnější trichromatické měření

### Snímací systém:

6 rychlých kamer USB 3.0 s Bayerovým filtrem, pracujících v rozlišení 1040×776 pixelů a vysokém dynamickém rozsahu (*high dynamic range* — HDR); každý HDR snímek je sestaven ze čtyř snímků o různé expozici, což je nezbytné, neboť měřená data mají velký dynamický rozsah

### Polohovací systém:

- nastavení elevačního úhlu  $\theta$  šestice kamer – krokovým motorem podél krátkých lineárních vedení, realizujících přibližný kruhový pohyb v rozsahu 12,5°; polohování je společné pro všechny kamery, úhly jsou v rozsahu od kolmého pohledu po pohled odpovídající úhlu od kolmice 75°
- nastavení azimutového úhlu  $\phi$  v rozsahu 0° až 360° - servopohon s harmonickou převodovkou otáčí celým skeletonem s kamerami i LED moduly nad vzorkem
- nastavení přístroje proti vzorku – ručně, za použití dvou variant externích stativů s kolmostí kontrolovanou vnitřním laserovým autokolimátorem; možnost měřit libovolně orientovaný vzorek (vodorovně na podlaze i na stropě, svisle, nakloněný)



### Řízení a sběr dat:

- hlavní mikropočítač ovládá jednotlivé osvětlovací LED moduly, polohování kamer pomocí krokového motoru a servopohonu, laserový autokolimátor a umožňuje náhled z kamer na dotykovém displeji. Mikropočítače ovládají kamery a kompozici HDR snímků. Jsou připojeny k hlavnímu počítači a propojeny pomocí lokální sítě Ethernet s externím datovým úložištěm, kam se ukládají změřená data k dalšímu zpracování před použitím v aplikacích.
- příklad měřicího režimu: 10 úhlových poloh skeletonu (rotace nad vzorkem), 2 polohy šestice kamer (celkem tedy 12 úhlů kamer), 139 směrů osvětlení (LED moduly) – celkem 16680 HDR snímků (cca 40GB dat) je pořízeno za 17 minut

**Kalibrace dat:** pomocí kalibrační značky s asymetrickou radiální šachovnicí - zarovnání jednotlivých snímků s přesností lepší než 1/4 pixelu a reprojekce pro ortografickou kameru, radiometrická i barevná kalibrace

Velikost vzorku	Počet kamer LED modulů	Směr pohledu na vzorek	rozlišení na vzorku	čas měření	rozměr a hmotnost
Ø 51mm nebo □ 31x31mm	6 139	min 0° max 75°	150 DPI (až 300 DPI)	17min (16680 snímků)	Ø 600mm 15kg + 10kg zdroj

Podrobné informace o výzkumu a přenosném zařízení pro měření odrazivosti povrchu, jenž byl spolufinancován GAČR projektem GA14-19213S, lze nalézt na webové stránce <http://dcgi.fel.cvut.cz/projects/lightdrum>.