



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ  
V BRNĚ

# Moderní trendy ve sportovních technologiích (SMTS)

## 3D skenování

Autor: Ing. Adam Chromý, Ph.D.

2025

## 1. **3D skenování a jeho aplikace**

co to je, co je výstupem, kde se to v současnosti nejvíce používá a příklady použití ve sportu

## 2. **Zákl. typy a principy 3D skenerů**

přehled základních typů a principů, které ovlivňují výsledné vlastnosti celého 3D skeneru

## 3. **Ukázky vybraných 3D skenerů**

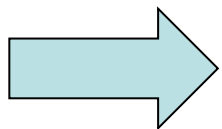
se kterými se můžete setkat – a to buď proto, že jsou levné, nebo že je máme zde na VUT

## 4. **Limity a nevýhody 3D skenování**

zejména v kontextu použití získaného modelu pro 3D tisk ve srovnání s 3D modelováním

## Obecná definice:

*3D skenování je proces, při kterém dochází k analyzování objektu nebo prostředí reálného světa. Shromažďují se údaje o jeho tvaru a případně o jeho vzhledu (například barvě). Shromážděné údaje pak mohou být použity k sestavení digitálních 3D modelů.*



Nás bude zajímat 3D skenování za účelem vytvoření digitálního 3D modelu



# Co je 3D skenování?

Reálný objekt

3D skener

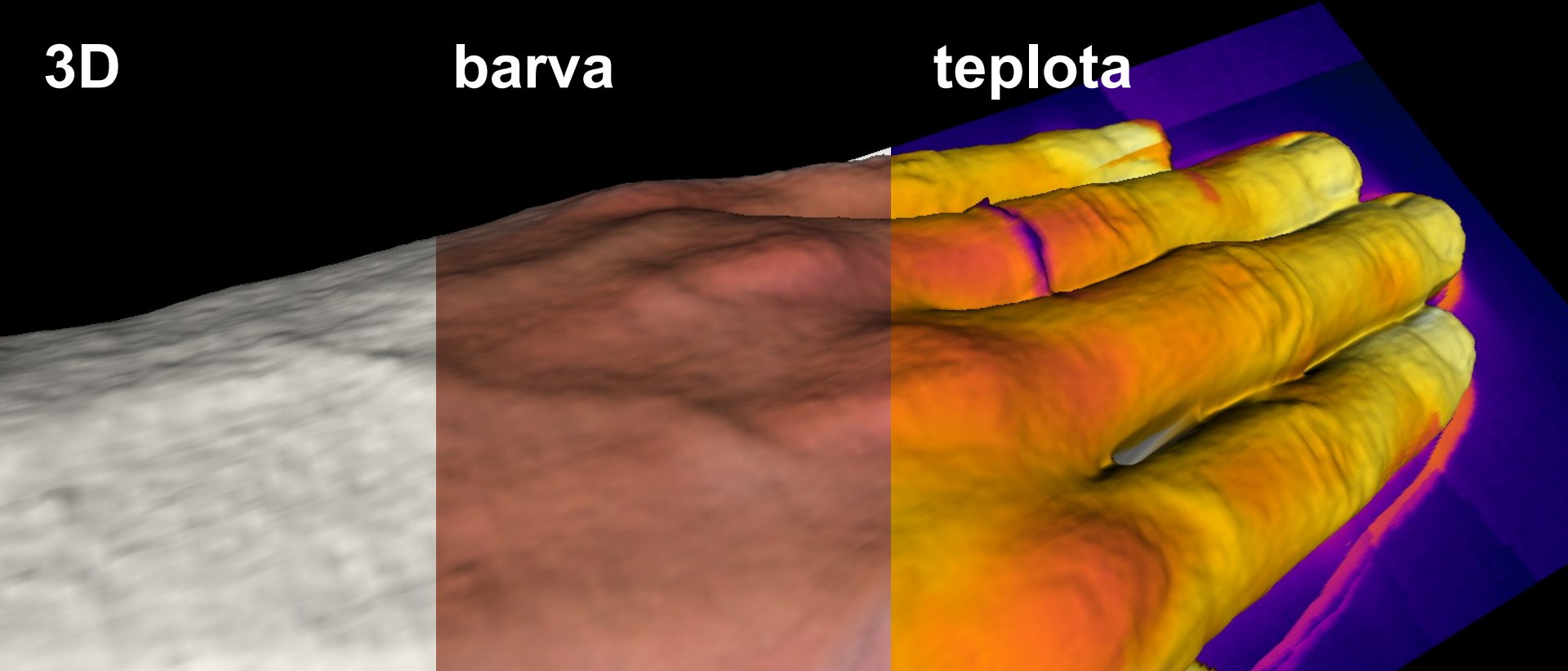
Dig. 3D model



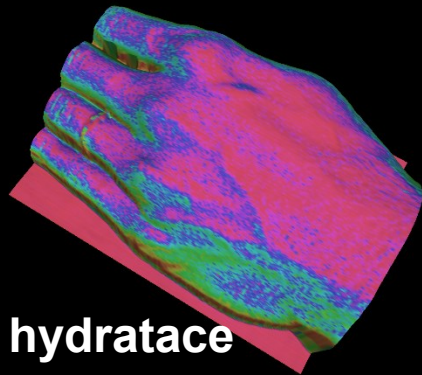
**3D**

**barva**

**teplota**



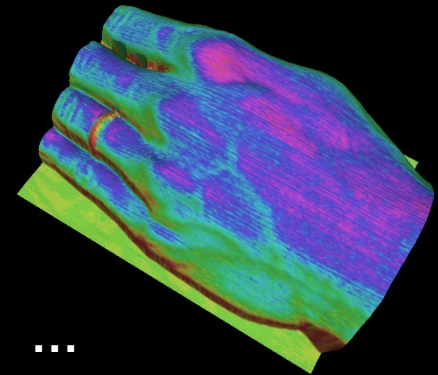
**odrazivost**



**hydratace**



**hladkost**



**...**



# K čemu je to dobré?

- Tvorba 3D modelu pro 3D tisk

## Workflow 3D tisku

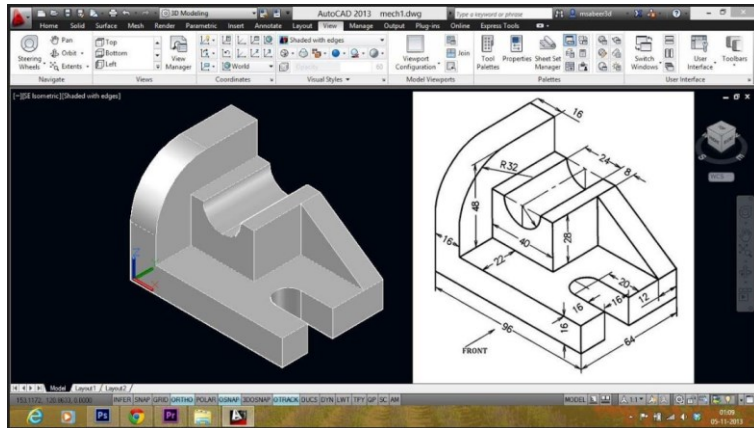


Tvorba 3D modelu

Slicování

Tisk

## A) pomocí 3D modelování



## B) pomocí 3D skenování



V obou případech je výstupem **3D model**.

- **Tvorba 3D modelu pro 3D tisk**

naskenujeme objekt, následně případně upravíme modelováním a poté vytiskneme na 3D tiskárně

- **Dokumentace aktuálního stavu**

soudnictví, letecké havárie, vykopávky, památky, reality, stavebnictví, urbanismus (scan + modelování), GIS, vytěženost dolu, objem nákladu, vojenství ...





- **Tvorba 3D modelu pro 3D tisk**

naskenujeme objekt, následně případně upravíme modelováním a poté vytiskneme na 3D tiskárně

- **Dokumentace aktuálního stavu**

soudnictví, letecké havárie, vykopávky, památky, reality, stavebnictví, urbanismus (scan + modelování), GIS, vytěženost dolu, objem nákladu, vojenství ...

- **Reverse engineering**

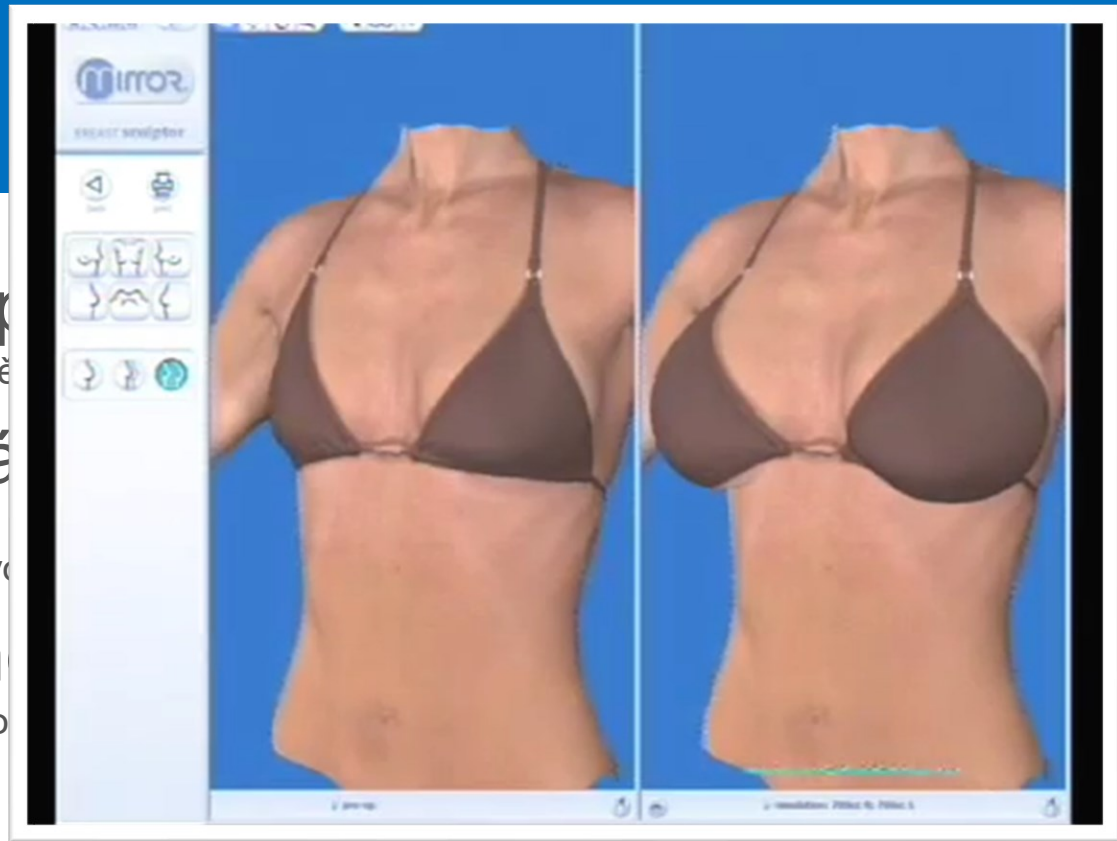
vývoj na základě inspirace existujícím objektem (kopírování, úpravy součástek, změny v designu, ...)



# K čemu je to dobré?

- Tvorba 3D modelu p  
naskenujeme objekt, následně případně
- Dokumentace aktuá  
soudnictví, letecké havárie, vykopávky,  
GIS, vytěženost dolu, objem nákladu, v
- Reverse engineering  
vývoj na základě inspirace existujícím o
- Medicína

CT, MRI, povrchové skenery (zubařství, ortodoncie), tělesné parametry (otoky, objem svalů), návrh protéz, dlahy na míru, plastická chirurgie ...



- Tvo  
nasker
- Dok  
soudni  
GIS, vy
- Rev  
vývoj n
- Mec  
CT, MF  
protéz,



## ○ Zábavní průmysl

animované filmy (Avatar), počítačové hry, 4D a 5D kina, ...

# K čemu je to

- **Tvorba 3D**

naskenujeme objekt, n

- **Dokumentace**

soudnictví, letecké hav  
GIS, vytěženost dolu, c

- **Reverse engineering**

vývoj na základě inspi

- **Medicína**

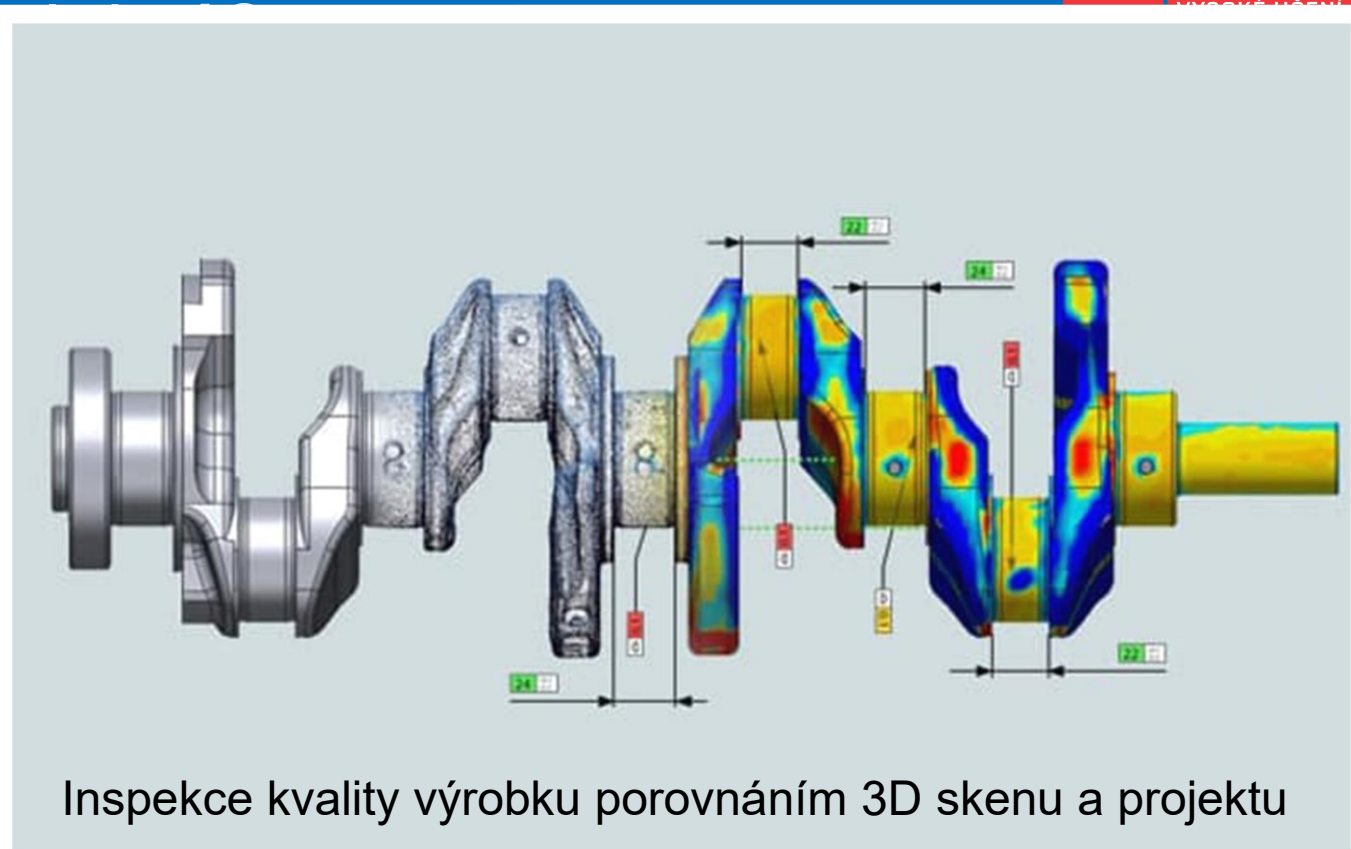
CT, MRI, povrchové sk  
protéz, dlahy na míru, plastická chirurgie ...

- **Zábavní průmysl**

animované filmy (Avatar), počítačové hry, 4D a 5D kina, ...

- **Metrologie**

zejména inspekce kvality, měření objemů, topologie a topografie, ...



Inspekce kvality výrobku porovnáním 3D skenu a projektu



## ○ Tvorba 3D modelu pro 3D tisk

naskenujeme objekt, následně případně upravíme modelováním a poté vytiskneme na 3D tiskárně

## ○ Dokumentace aktuálního stavu

soudnictví, letecké havárie, vykopávky, památky, reality, stavebnictví, urbanismus (scan + modelování), GIS, vytěženost dolu, objem nákladu, vojenství ...

## ○ Reverse engineering

vývoj na základě inspirace existujícím objektem (kopírování, úpravy součástí, změny v designu, ...)

## ○ Medicína

CT, MRI, povrchové skenery (zubařství, ortodoncie), tělesné parametry (otoky, objem svalů), návrh protéz, dlahy na míru, plastická chirurgie ...

## ○ Zábavní průmysl

animované filmy (Avatar), počítačové hry, 4D a 5D kina, ...

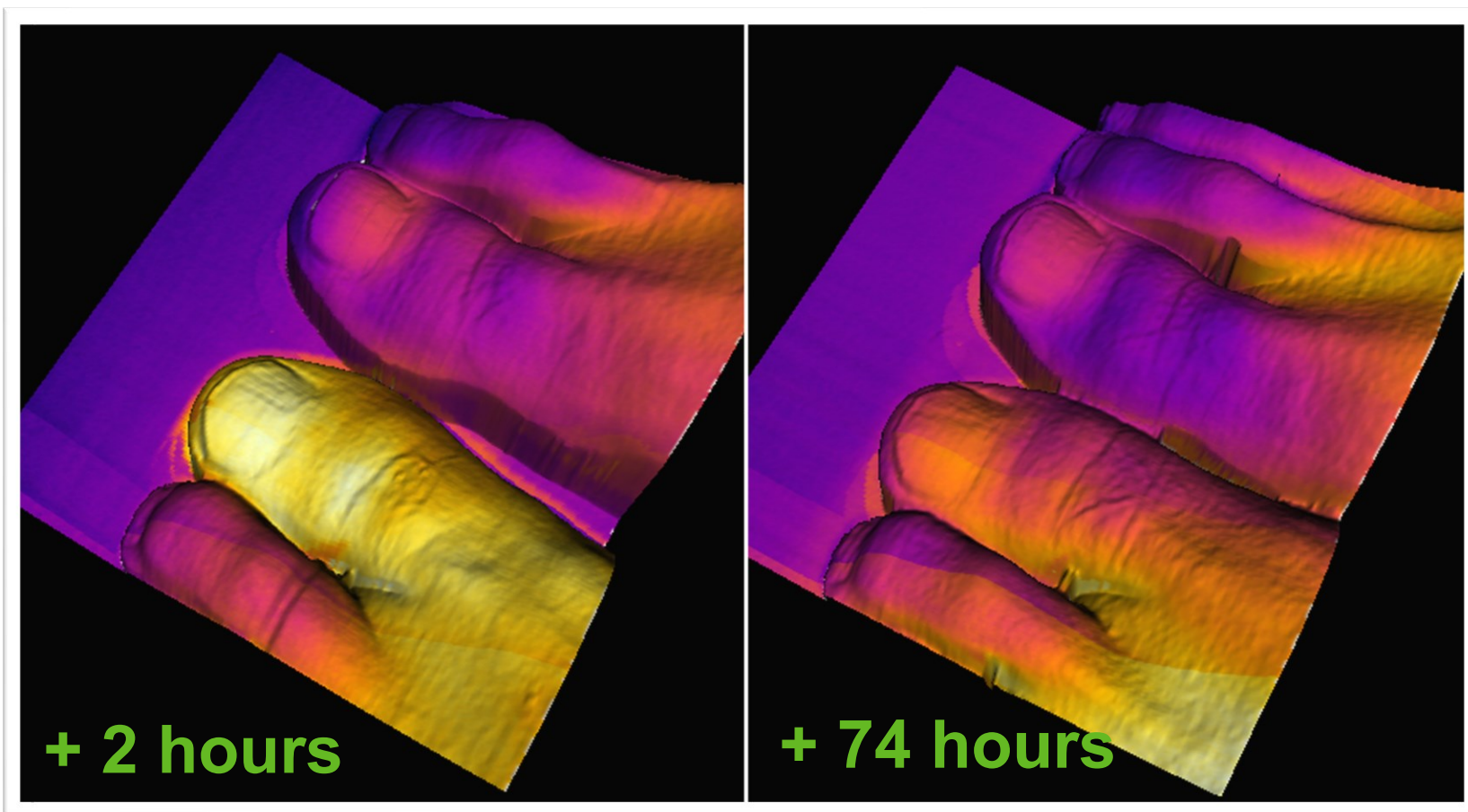
## ○ Metrologie

zejména inspekce kvality, měření objemů, topologie a topografie, ...

## ○ Dokumentace aktuálního stavu sportovce

fyzické parametry (objem svalů, složení těla – tuky, svaly, dokumentace normálního stavu vs. zranění)

Více: [https://www.researchgate.net/publication/325489301\\_3D\\_Scanning\\_Applications\\_in\\_Medical\\_field\\_A\\_Literature-based\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/325489301_3D_Scanning_Applications_in_Medical_field_A_Literature-based_Review)



# Využití 3D skenování

- Dokumentace a

fyzické parametry (objem svalů, ...)  
Více: <https://www.researchgate.net/publication/3121280e44d1c7de9db058ceb516230a2ac255fd>

- Vybavení na míru

kvůli bezpečnosti, výkonu, omezení pohybu, ... (boty, helma, chrániče, oblečení, podložka kajaku)

Více: <https://www.semanticscholar.org/paper/Using-3D-Scanning-for-Improved-Helmet-Design-Morlock-Schenk/5921280e44d1c7de9db058ceb516230a2ac255fd>



Fig. 3. 3D head scanning process with Creaform Erao Handvscan

# Využití 3D skenování

- Dokumentace aktuálních fyzických parametrů (objem svalů, složení těla)

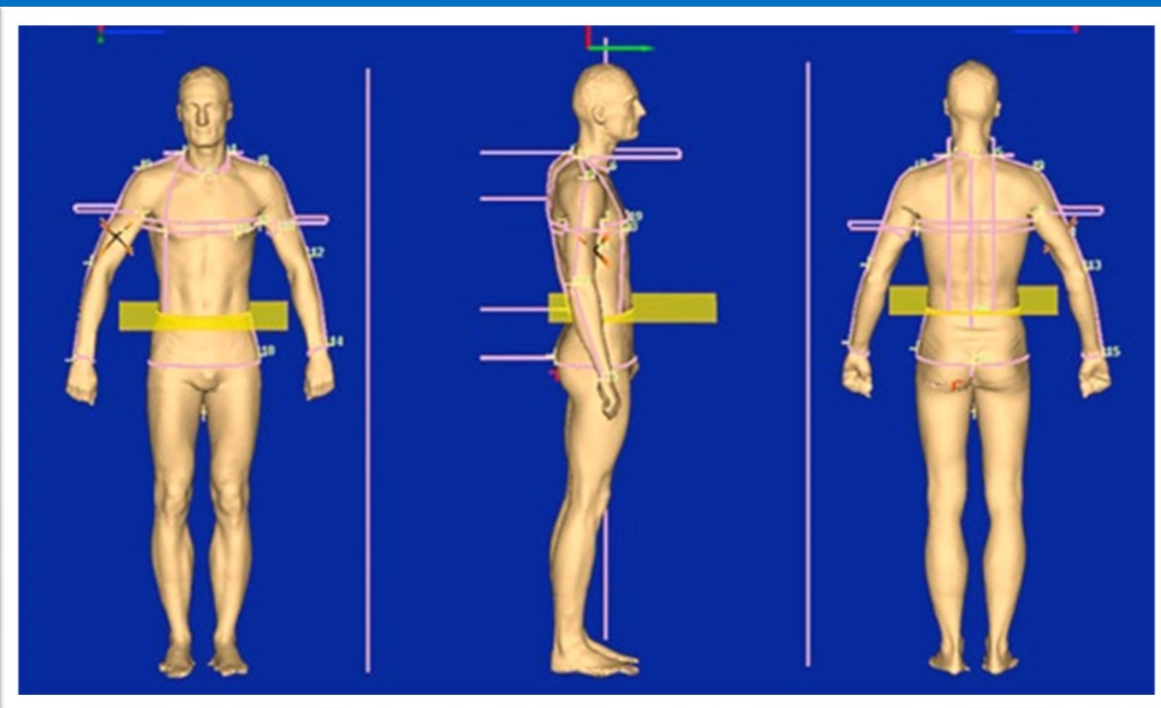
Více: <https://www.researchgate.net/publication/354123456>  
[based Review](#)

- Vybavení na míru (výběr sportovního vybavení)

kvůli bezpečnosti, výkonu, omezení zranění  
Více: <https://www.semanticscholar.org/paper/3D-Body-Scanning-for-Sports-Equipment-Design/Schenk/5921280e44d1c7de9db058ceb516>

- Vytipování sportovního talentu

Předurčenost ke sportu (antropometrie), 3D skenování místo Xray, neinvazivní, rychlejší a spolehlivější  
Více: <https://www.news-medical.net/news/20200804/3D-whole-body-scanner-can-identify-sporting-talent-improve-performance-and-health.aspx>



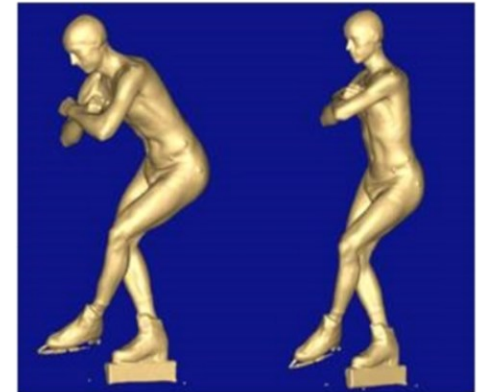




(a) closing



(b) closed flight



(c) landing

kvůli bezpečnosti, výkonu, omezení pohybu, ... (boty, helma, chránič)  
 Více: <https://www.semanticscholar.org/paper/Using-3D-Scanning-for-Improved-Schenk/5921280e44d1c7de9db058ceb516230a2ac255fd>

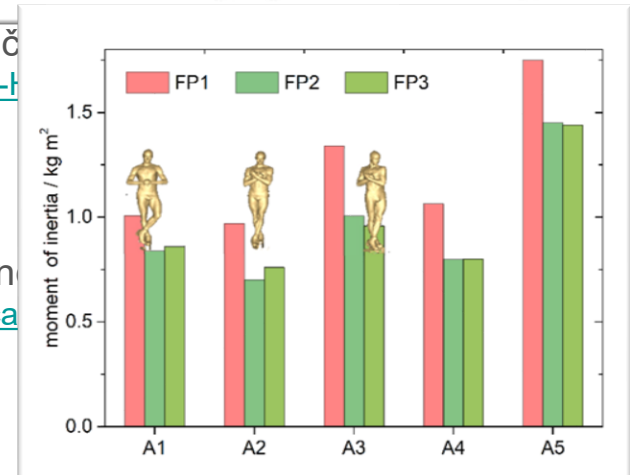
## ○ Vytipování sportovního talentu

Předurčenost ke sportu (antropometrie), 3D skenování místo Xray, n  
 Více: <https://www.news-medical.net/news/20200804/3D-whole-body-scanner-ca-performance-and-health.aspx>

## ○ Optimalizace pohybu a tréninku

Určení MOI (moments of Inertia) při různých pohybech, které ovlivňuje rychlost a silové momenty  
 Krasobruslení, Gymnastika, akvabely, ...

Více: [https://www.researchgate.net/publication/328316657\\_Using\\_the\\_3D\\_Body\\_Scanner\\_in\\_Elite\\_Sports](https://www.researchgate.net/publication/328316657_Using_the_3D_Body_Scanner_in_Elite_Sports)



- **Dokume**

fyziké parametry  
Více: <https://www.rebased.com/review>

- **Vybaven**

kvůli bezpečnosti  
Více: <https://www.secschenk.com/5921280e44>

- **Vytipová**

Předurčenost ke s  
Více: <https://www.netperformance-and-he>

- **Optimaliz**

Určení MOI (mom  
Krasobruslení, Gy  
Více: [https://www.researchgate.net/publication/320010007\\_Using\\_the\\_3D\\_Body\\_Scanner\\_in\\_Elite\\_Sports](https://www.researchgate.net/publication/320010007_Using_the_3D_Body_Scanner_in_Elite_Sports)

- **3D avataři sportovců**

užití v TV produkci, počítačové hry s reálnými postavami ze sportu (NHL, FIFA od EA sports)  
Více: <https://3dprint.com/12515/ea-sports-3d-scanning-heads/>



## ○ Dokumentace aktuálního stavu sportovce

fyzické parametry (objem svalů, složení těla – tuky, svaly, dokumentace normálního stavu vs. zranění)

Více: [https://www.researchgate.net/publication/325489301\\_3D\\_Scanning\\_Applications\\_in\\_Medical\\_field\\_A\\_Literature-based\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/325489301_3D_Scanning_Applications_in_Medical_field_A_Literature-based_Review)

## ○ Vybavení na míru

kvůli bezpečnosti, výkonu, omezení pohybu, ... (boty, helma, chrániče, oblečení, podložka kajaku)

Více: <https://www.semanticscholar.org/paper/Using-3D-Scanning-for-Improved-Helmet-Design-Morlock-Schenk/5921280e44d1c7de9db058ceb516230a2ac255fd>

## ○ Vytipování sportovního talentu

Předurčenost ke sportu (antropometrie), 3D skenování místo Xray, neinvazivní, rychlejší a spolehlivější

Více: <https://www.news-medical.net/news/20200804/3D-whole-body-scanner-can-identify-sporting-talent-improve-performance-and-health.aspx>

## ○ Optimalizace pohybu a tréninku

Určení MOI (moments of Inertia) při různých pohybech, které ovlivňuje rychlost a silové momenty  
Krasobruslení, Gymnastika, akvabely, ...

Více: [https://www.researchgate.net/publication/328316657\\_Using\\_the\\_3D\\_Body\\_Scanner\\_in\\_Elite\\_Sports](https://www.researchgate.net/publication/328316657_Using_the_3D_Body_Scanner_in_Elite_Sports)

## ○ 3D avataři sportovců

užití v TV produkci, počítačové hry s reálnými postavami ze sportu (NHL, FIFA od EA sports)

Více: <https://3dprint.com/12515/ea-sports-3d-scanning-heads/>

## 1. 3D skenování a jeho aplikace

co to je, co je výstupem, kde se to v současnosti nejvíce používá a příklady použití ve sportu

## 2. Zákl. typy a principy 3D skenerů

přehled základních typů a principů, které ovlivňují výsledné vlastnosti celého 3D skeneru

## 3. Ukázky vybraných 3D skenerů

se kterými se můžete setkat – a to buď proto, že jsou levné, nebo že je máme zde na VUT

## 4. Limity a nevýhody 3D skenování

zejména v kontextu použití získaného modelu pro 3D tisk ve srovnání s 3D modelováním



- Velké množství značek, modelů
- Základní algoritmus: **vím kde jsem a kam se dívám** + **měřím vzdálenost k objektu** => vypočtu polohu bodu
- Vlastnosti skeneru ovlivňují nejvíce 2 parametry:
  - **Princip snímače** (na jakém principu probíhá snímání dat = měření vzdálenosti)
  - **Uchytení senzorů** (jak je snímač uchycen a jak se tedy měří jeho aktuální poloha a orientace)
- Každý 3D skener nějakým způsobem implementuje tyto 2 parametry.

- **Hand-held** (ruční)
  - + velká flexibilita
  - nedeterministická kumulativní chyba, která může výrazně ovlivnit přesnost



- **Gantry** (kinematické ř.)
  - flexibilita omezena kinematickým řetězcem (kolejnice, rameno s klouby)
  - + vysoká abs. přesnost



Žádný skener nemá jen plusy - **Vždy jde o kompromis!**

- Kontaktní
- Bezkontaktní
  - Optické
    - Laserové skenery
      - Time-of-flight
      - Triangulace
      - Interferometrie
    - (Stereo)fotogrammetrie
    - Structured-light skenery
  - Radiografické
    - Mag. rezonance (MRI)
    - Poč. tomografie (CT)

- **Kontaktní**
- Bezkontaktní
  - Optické
    - Laserové skenery
      - Time-of-flight
      - Triangulace
      - Interferometrie
    - (Stereo)fotogrammetrie
    - Structured-light skenery
  - Radiografické
    - Mag. rezonance (MRI)
    - Poč. tomografie (CT)

- hrot se dotýká povrchu a měří se jeho výchylka, pohybovaný ve 2 osách
- Velmi přesný, spolehlivý, spojitý výstup, není problém odlesky, průhlednost
- Skener může poškodit vzorek, pomalý, jen projektabilní povrchy (!)
- Užití hlavně v průmyslu





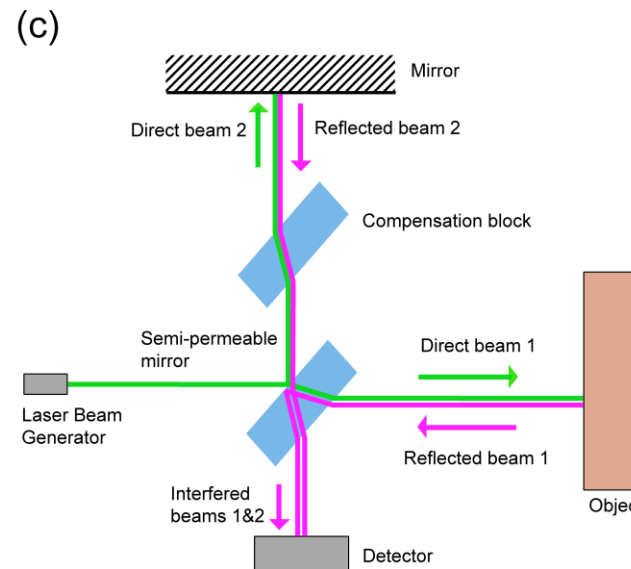
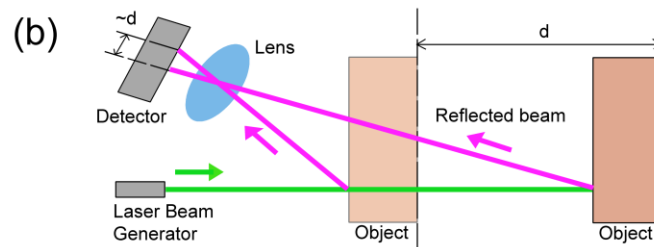
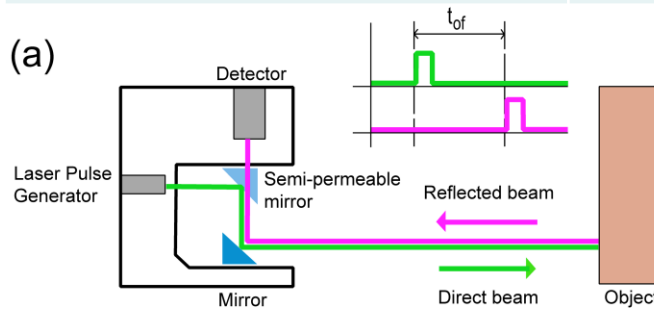
- Kontaktní
- Bezkontaktní
  - **Optické**
    - Laserové skenery
      - Time-of-flight
      - Triangulace
      - Interferometrie
    - (Stereo)fotogrammetrie
    - Structured-light skenery
  - Radiografické
    - Mag. rezonance (MRI)
    - Poč. tomografie (CT)

- Nejčastější (více než 90% skenerů)
- Nedestruktivní
- Problémy s průhledností povrchu a odlesky
- Žádný není univerzální, každý má své limity, je důležité vybrat správný tip dle dané aplikace (!)
- Zobrazují pouze povrch (na rozdíl od radiografických).

- Kontaktní
- Bezkontaktní
  - Optické
    - **Laserové skenery**
      - Time-of-flight
      - Triangulace
      - Interferometrie
    - **(Stereo)fotogrammetrie**
    - **Structured-light skenery**
  - Radiografické
    - Mag. rezonance (MRI)
    - Poč. tomografie (CT)

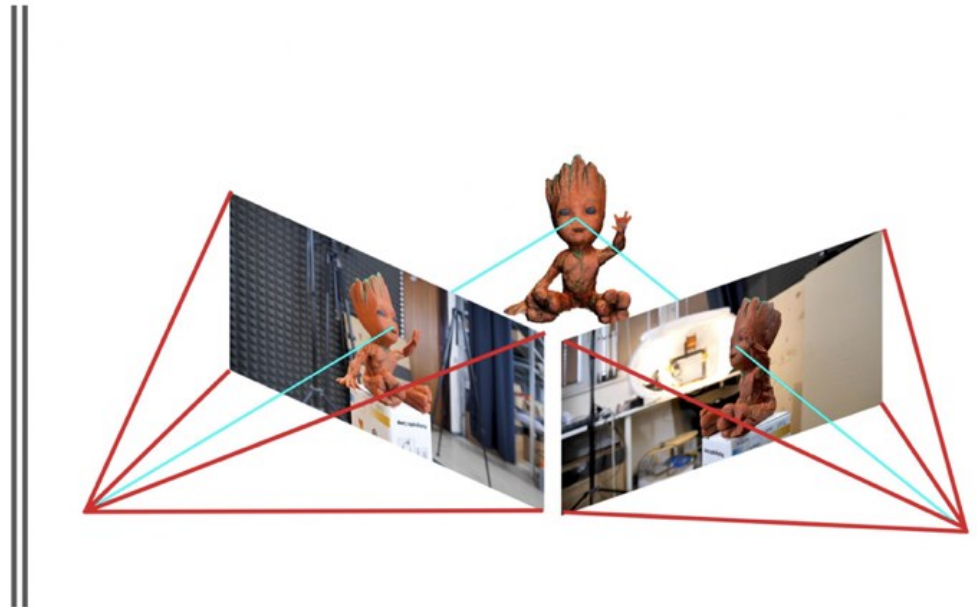
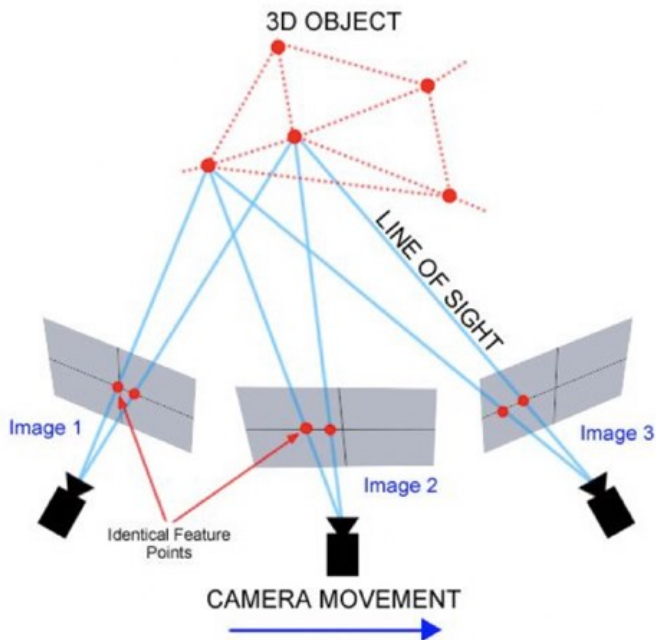
## ○ Měření vzdálenosti laserovým paprskem (1D,2D,3D)

Metoda	Příklad přesnosti	Příklad rozsahu
Time-of-flight (a)	$\pm 1\text{-}5\text{ mm}$	5 000 – 200 000 mm
Triangulace (b)	$\pm 0,001\text{ mm}$	400 – 500 mm
Interferometrie (c)	$\pm 0,000\ 001\text{ mm}$	1 000,0 – 1 000,5 mm

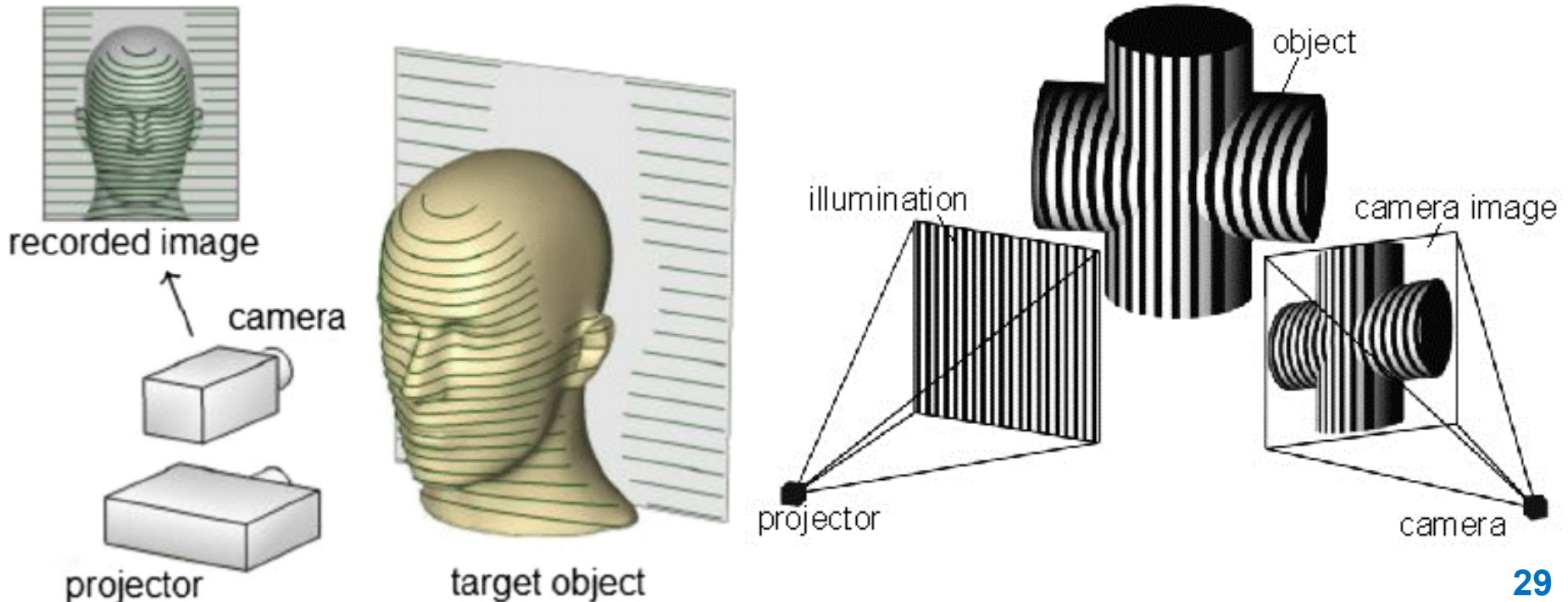


- Velmi přesné a spolehlivé, ale taky velmi drahé.
- Může mít problémy na přímém slunci.

- Na principu analýzy rozdílů mezi snímky stejného objektu z různých míst
- Nejlevnější metoda, jediná nemá problém s exteriérem a silným osvětlením (nic nepromítá) nebo velkými objekty, může být přesná
- Velmi přesně snímá barvu povrchu
- Problém s průhledností, odrazivostí, hladkými povrchy + přesnost závislá na rozpoznání odpovídajících si bodů v obraze



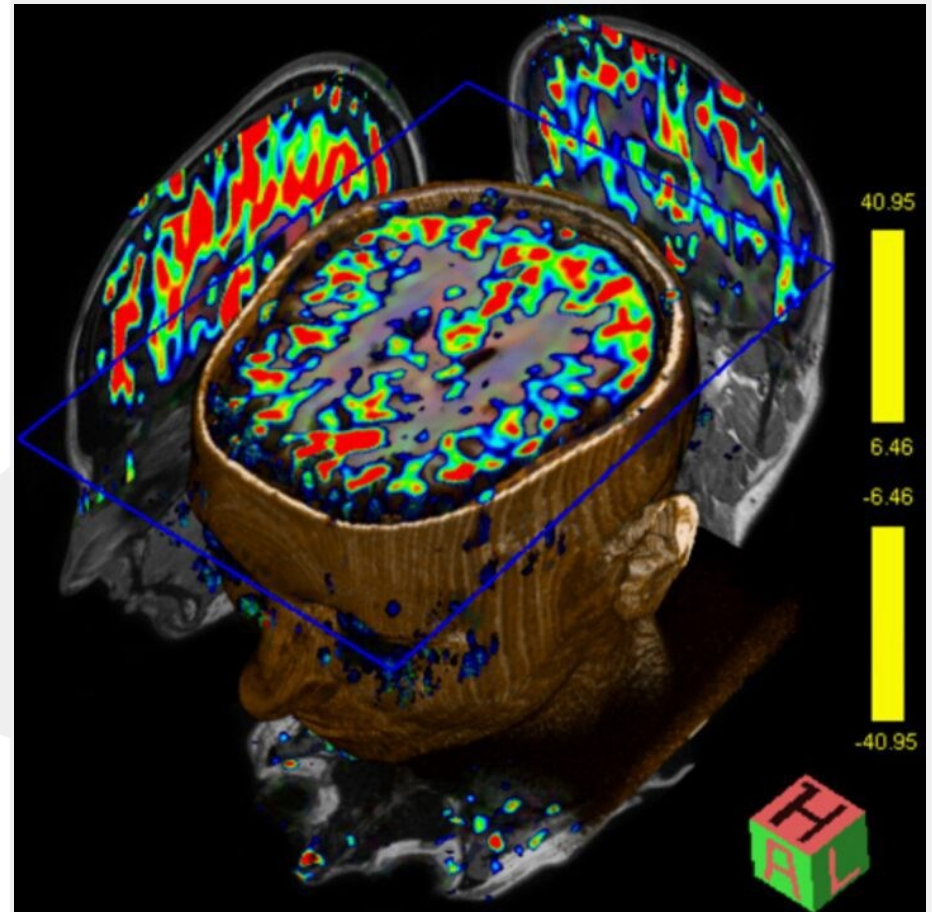
- Na principu projekce známého vzoru a detekce jeho zdeformování v nasnímaném obraze.
- Velmi jednoduché, velmi přesné a spolehlivé.
- Nelze použít v exteriéru na přímém slunci, nelze skenovat velké objekty, poměrně drahé vybavení, problém s průhledností, odrazivostí, hladkými povrchy.





- Kontaktní
- Bezkontaktní
  - Optické
    - Laserové skenery
      - Time-of-flight
      - Triangulace
      - Interferometrie
    - (Stereo)fotogrammetrie
    - Structured-light skener
  - **Radiografické**
    - Mag. rezonance (MRI)
    - Poč. tomografie (CT)

- Vidíme vnitřní struktury (+ !)
- Drahé, pomalé, nedostupné (- !)
- Zdravotní zátěž (CT)



## 1. 3D skenování a jeho aplikace

co to je, co je výstupem, kde se to v současnosti nejvíce používá a příklady použití ve sportu

## 2. Zákl. typy a principy 3D skenerů

přehled základních typů a principů, které ovlivňují výsledné vlastnosti celého 3D skeneru

## 3. Ukázky vybraných 3D skenerů

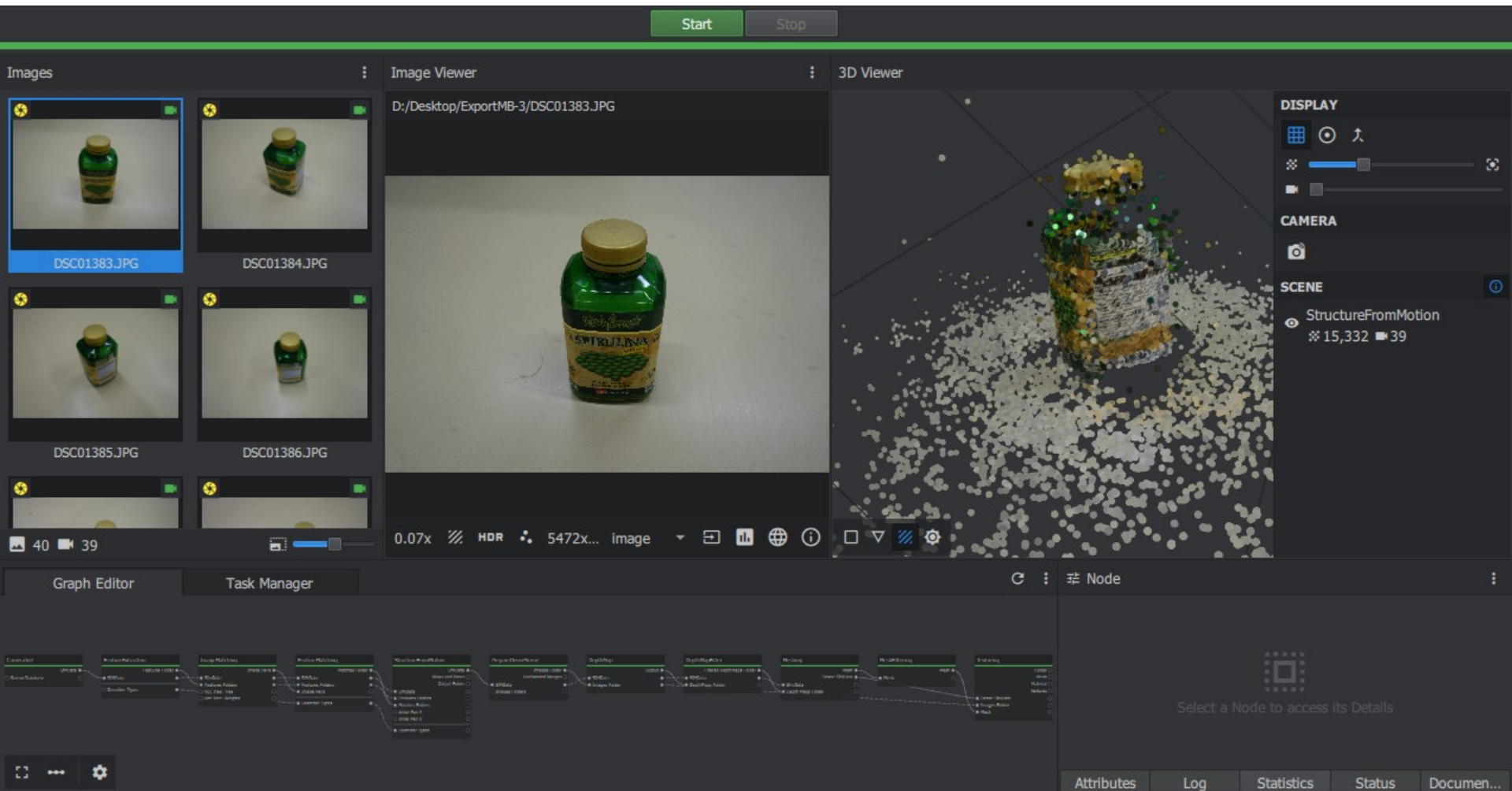
se kterými se můžete setkat – a to buď proto, že jsou levné, nebo že je máme zde na VUT

## 4. Limity a nevýhody 3D skenování

zejména v kontextu použití získaného modelu pro 3D tisk ve srovnání s 3D modelováním

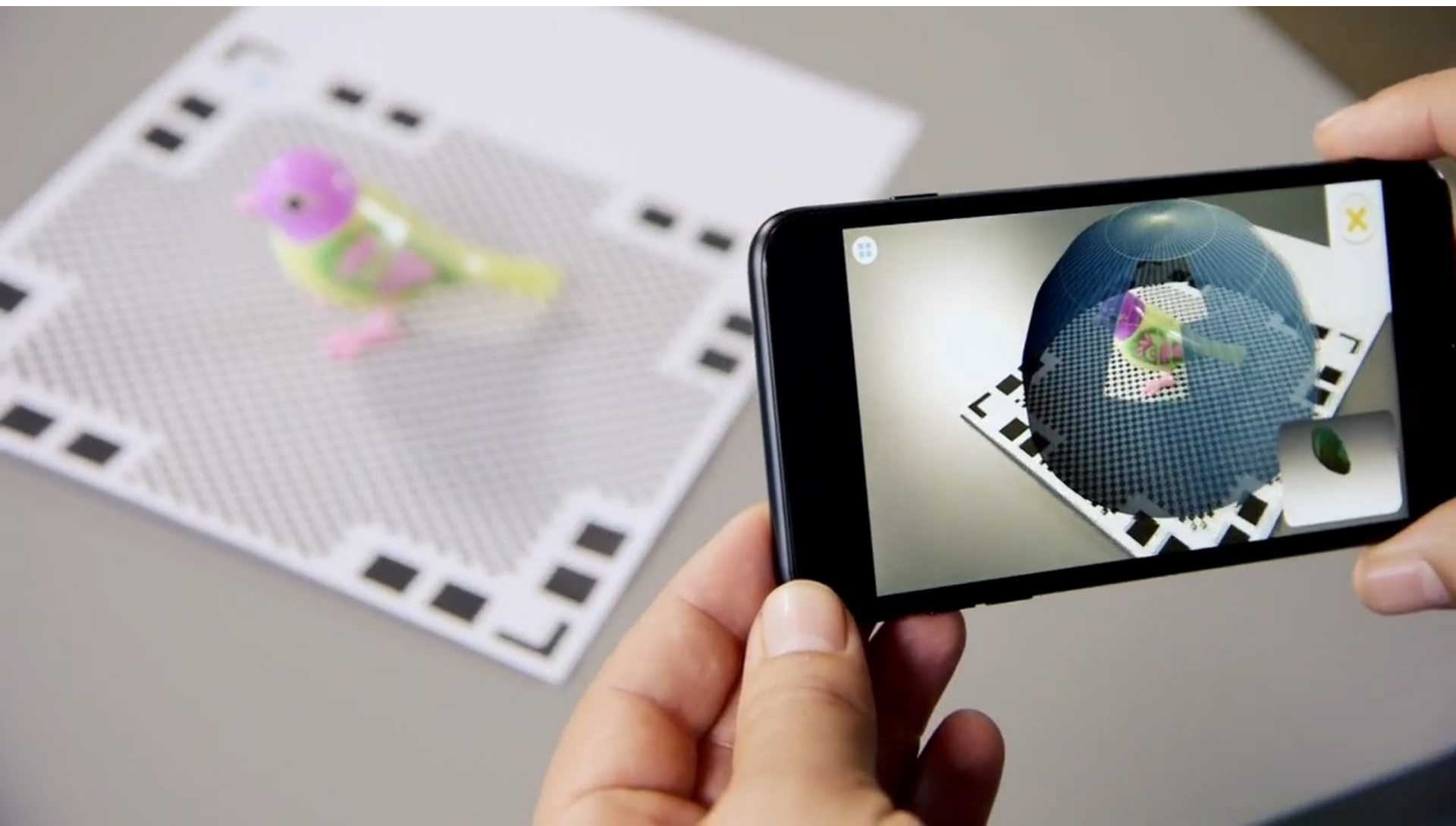
# Fotoaparát + Meshroom

OpenSource SW na bázi fotogrammetrie. Stačí vyfotit mnoho překrývajících se snímků objektu, natáhnout je do programu a spustit generování. Časově náročné, ale zdarma.



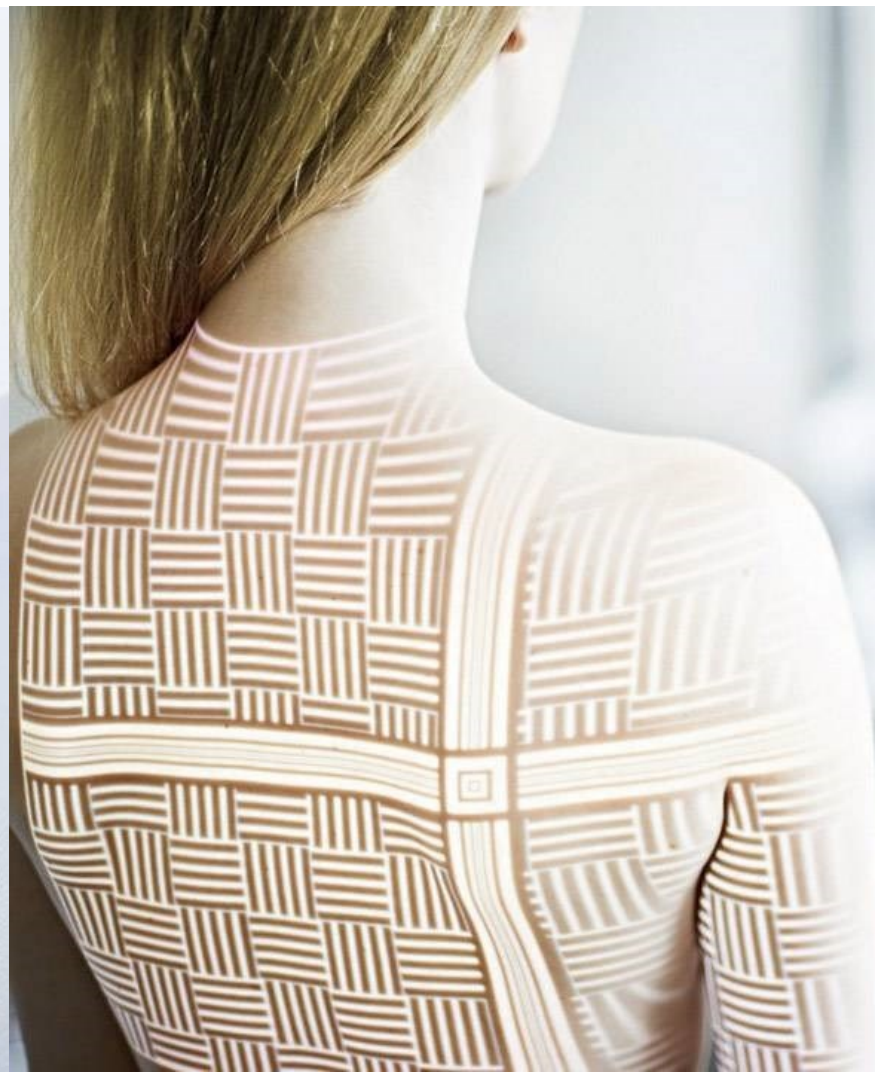
# Qlone mobile app

Pro iPhone i Android, zdarma bez možnosti uložení, plná verze 499 Kč jednorázově.  
Na principu fotogrammetrie. Velmi jednoduchá na používání, nejlevnější řešení.

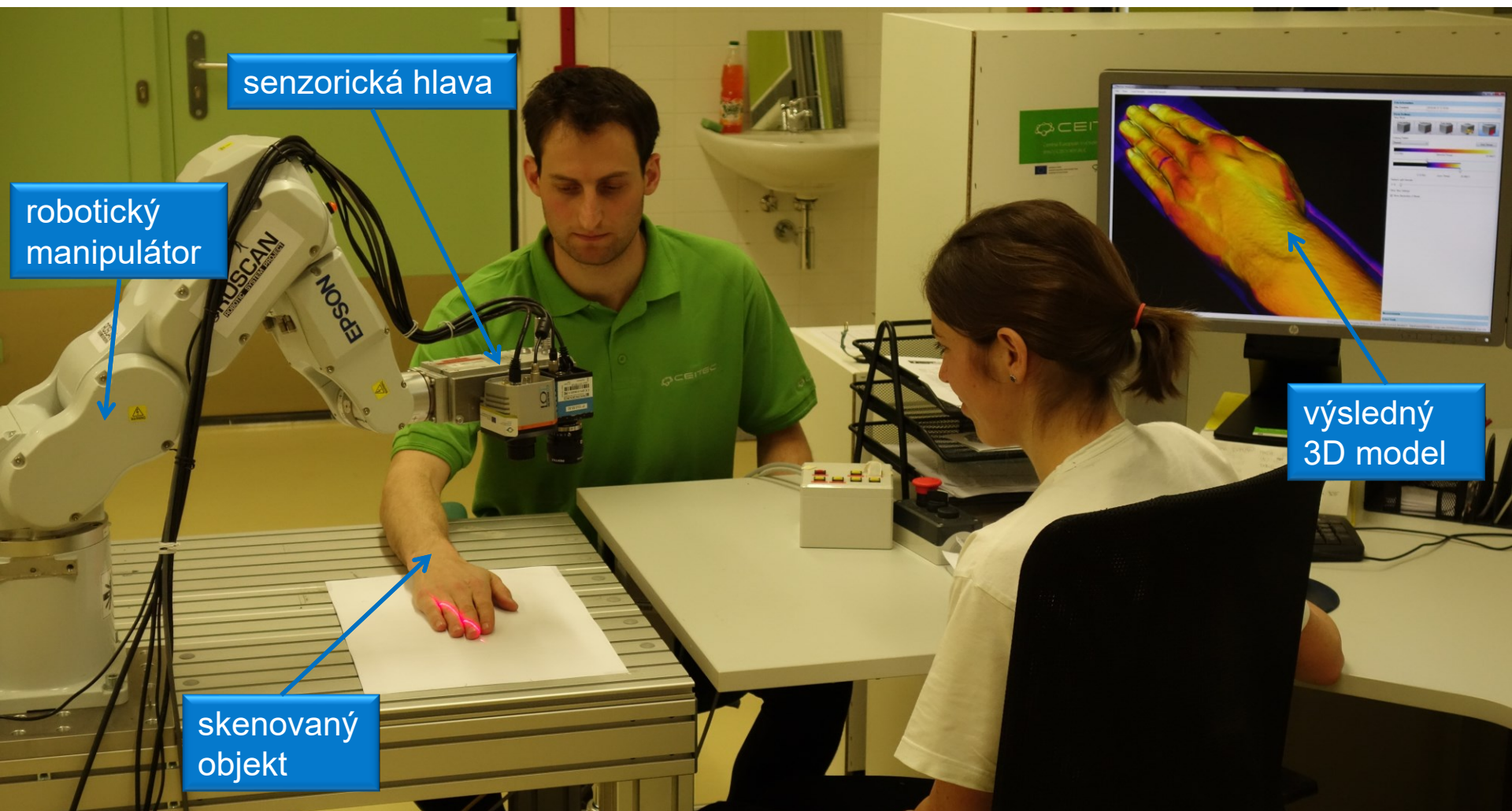


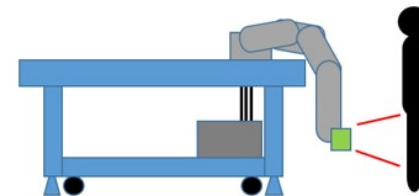
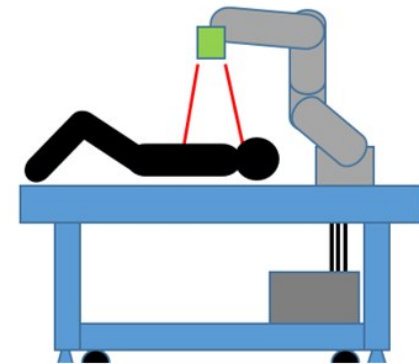
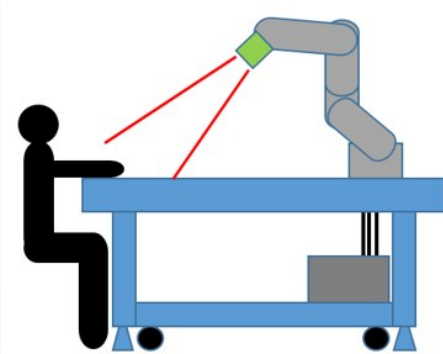
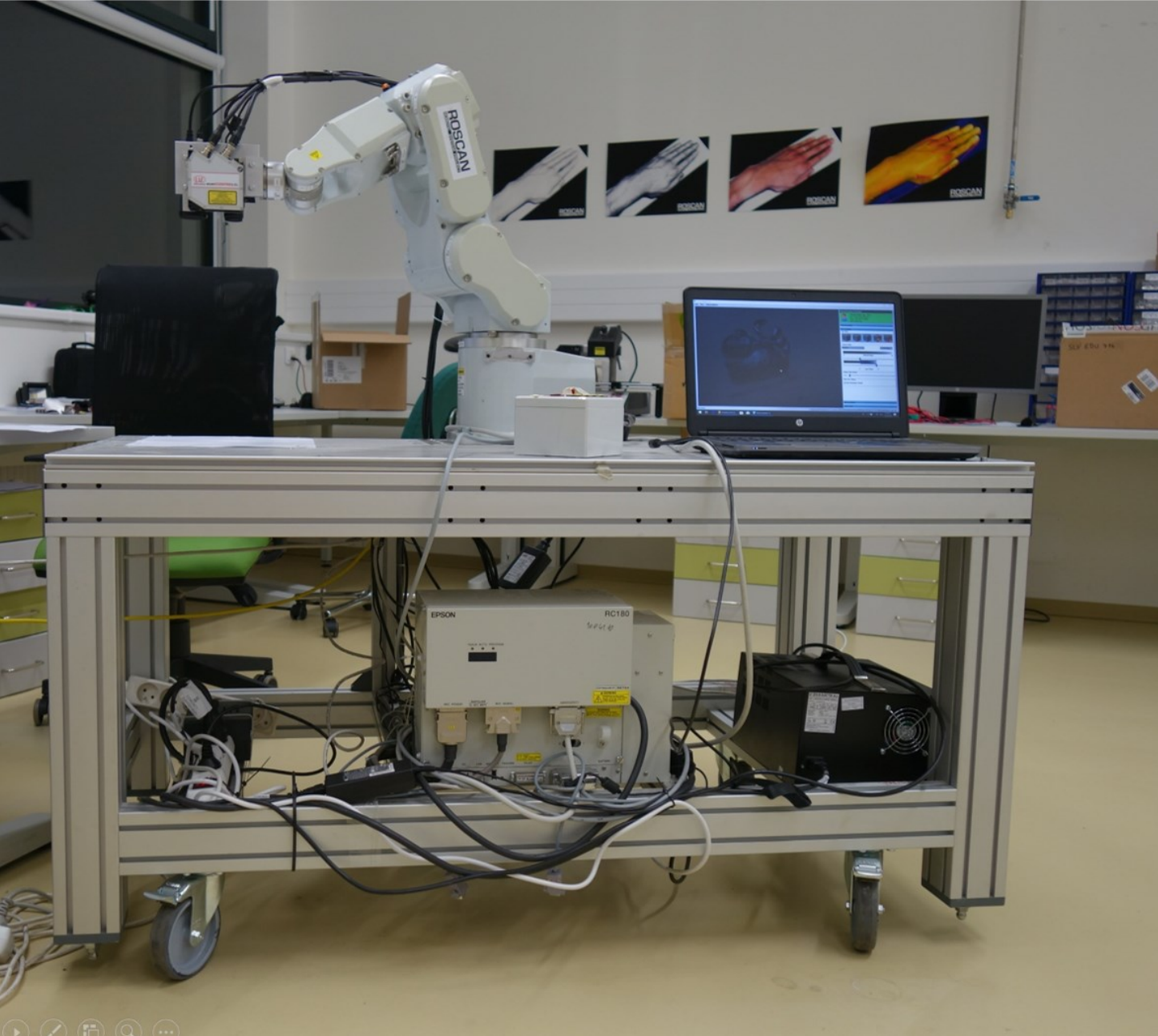


Structured light skener – využívá libovolný projektor a libovolnou kameru. Platí se za SW. Kombinace gantry (v rámci jednoho snímku) a hand-held (spojení více snímků)









# Projekt RoScan

## 1. 3D skenování a jeho aplikace

co to je, co je výstupem, kde se to v současnosti nejvíce používá a příklady použití ve sportu

## 2. Zákl. typy a principy 3D skenerů

přehled základních typů a principů, které ovlivňují výsledné vlastnosti celého 3D skeneru

## 3. Ukázky vybraných 3D skenerů

se kterými se můžete setkat – a to buď proto, že jsou levné, nebo že je máme zde na VUT

## 4. Limity a nevýhody 3D skenování

zejména v kontextu použití získaného modelu pro 3D tisk ve srovnání s 3D modelováním



- Problém může nastat v každém z těchto bloků



Reálný objekt

3D skener

Dig. 3D model

- **Point Cloud** (mračno bodů)

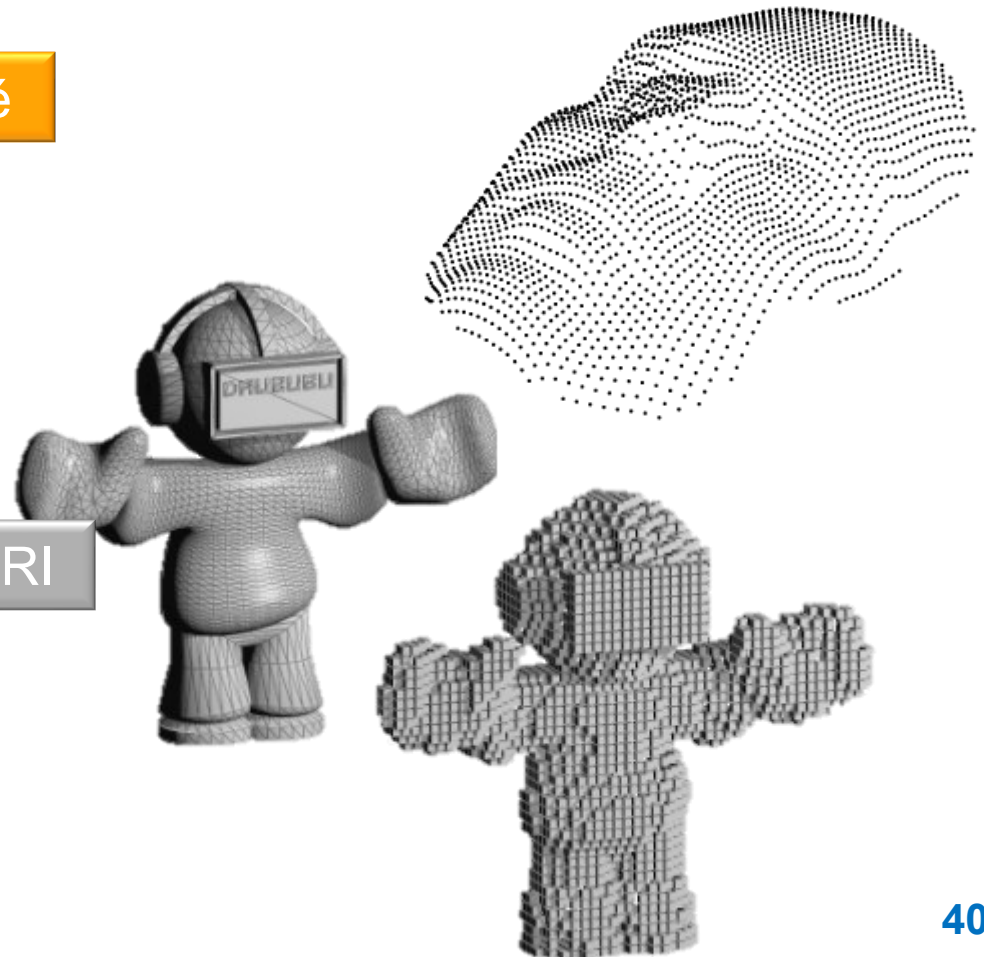
Nativně

- **Mesh** (polygonová síť)

SW zpracováním

- **Objemový model** (vyskládání z krychliček)

Jen CT a MRI

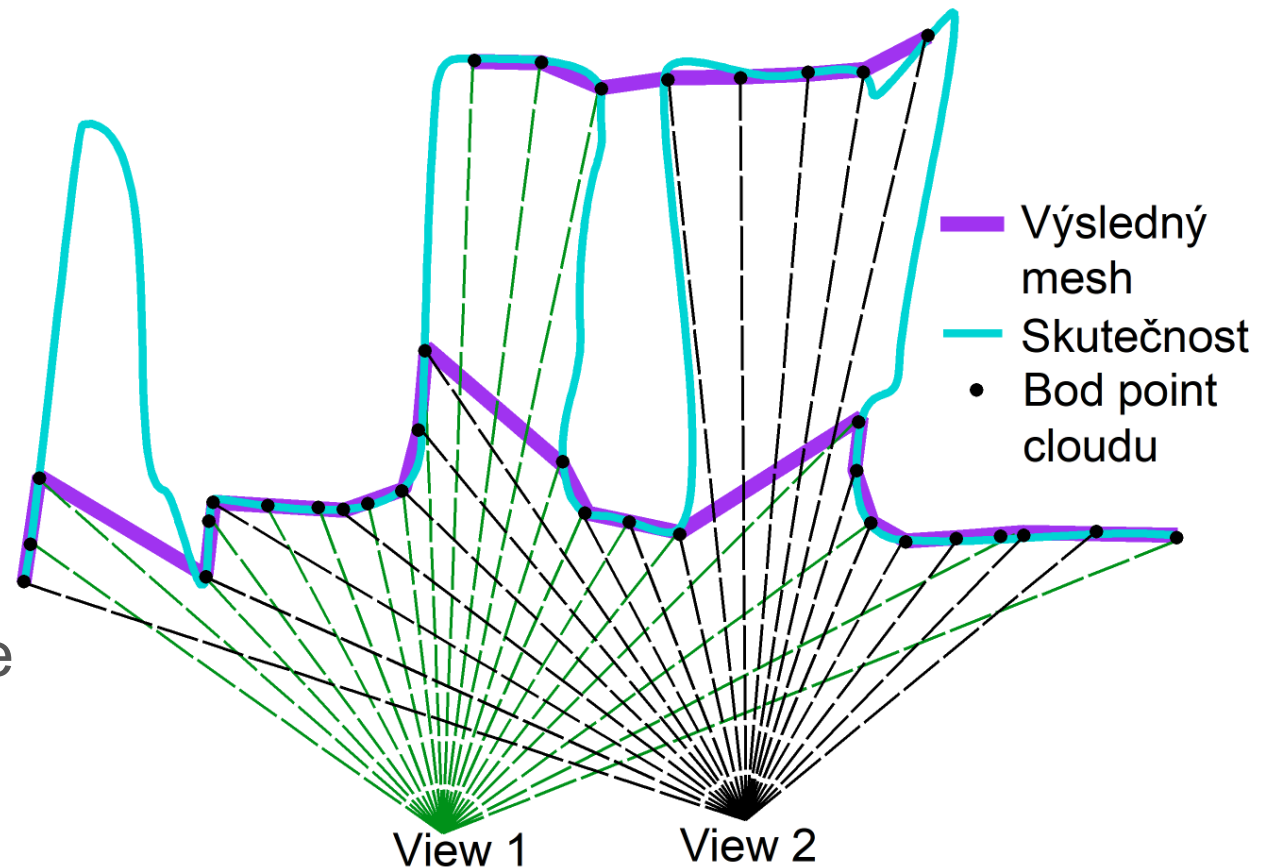


Reálný objekt

3D skener

Dig. 3D model

Problém kvantizace point-cloudu: nevíme co je mezi naměřenými body a přímé spojení nejbližších může způsobit chybu modelu



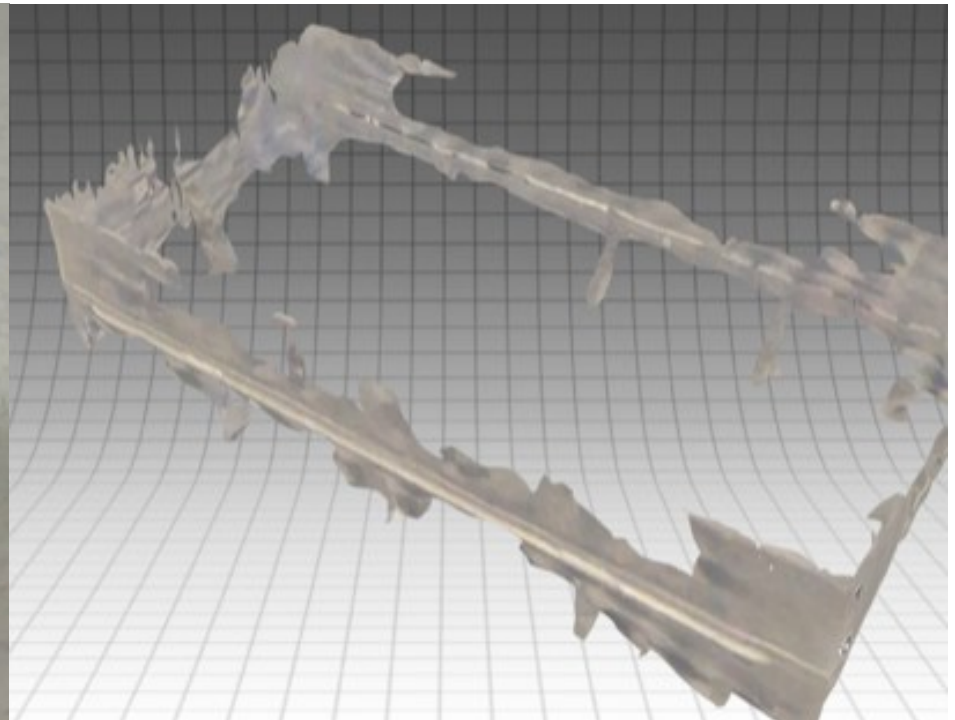
# Limity a nevýhody 3D skenování

Reálný objekt

3D skener

Dig. 3D model

Problém s průhlednými povrchy – lze řešit nátěrem  
Tento problém nemají jen kontaktní skenery, všechny ostatní ano.

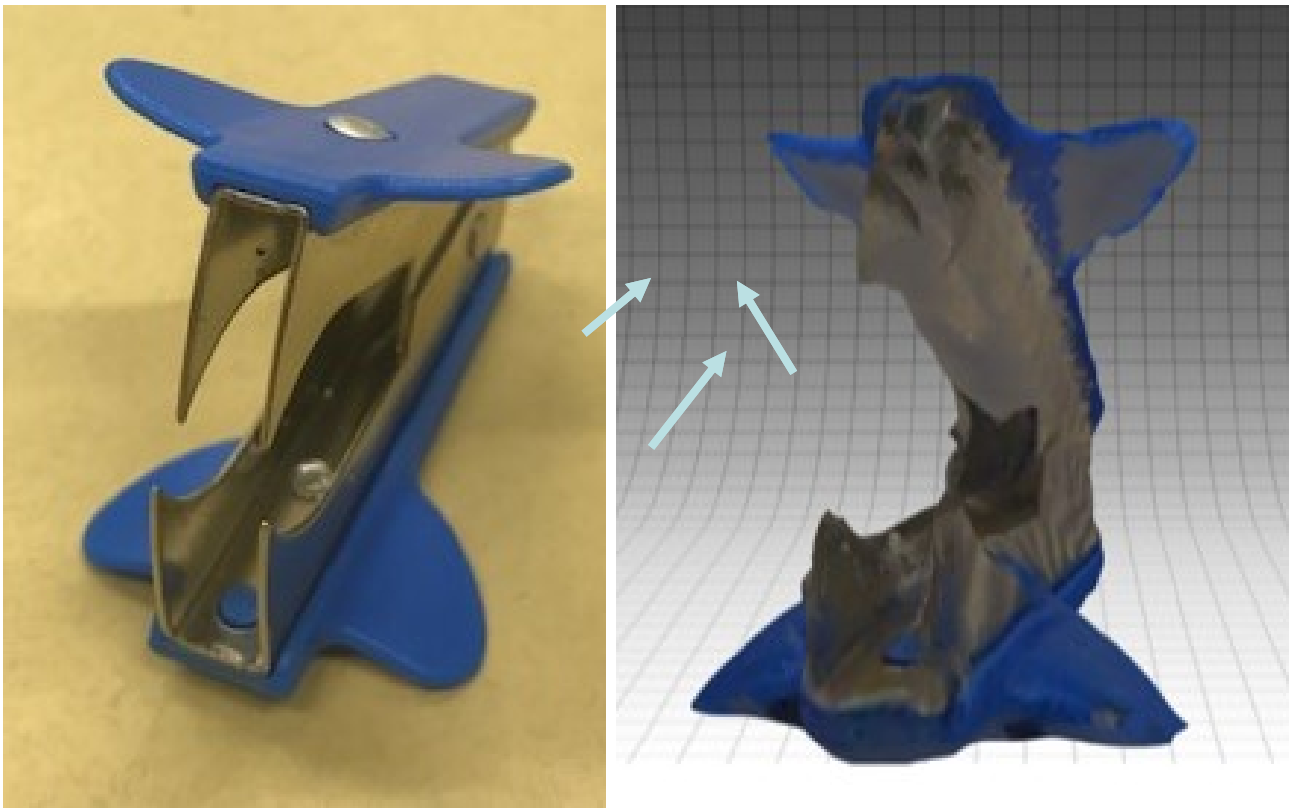


Reálný objekt

3D skener

Dig. 3D model

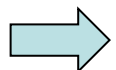
Problém s lesklými povrchy – lze řešit difúzním osvětlením či nátěrem. Opět mají všechny skenery až na kontaktní.





Další neřešitelné problémy:

- Problém s **homogenními** povrchy – u hand-held typů, protože iterační algoritmus se nemá čeho chytit (např. hladká koule, velká rovná stěna). U fotogrammetrie nastává i u gantry typů.
- Problém s **pravidelnou** texturou – u fotogrammetrie, protože ta závisí na korespondenci bodů mezi obrazy a když jsou zde stejné tvary, může si algoritmus splést body.



Jediné řešení je použít jiný typ/princip skenování.





VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ  
V BRNĚ

# Moderní trendy ve sportovních technologiích (SMTS)

Děkuji za pozornost

Ing. Adam Chromý, Ph.D.  
[adam.chromy@ceitec.vutbr.cz](mailto:adam.chromy@ceitec.vutbr.cz)  
<http://www.adam-chromy.cz>