



FAKULTNÍ NEMOCNICE®  
OLOMOUC

# Využití 3D tisku v radiodiagnostice

Ing. Lenka Dohnalová, LFRO

# FN Olomouc a 3D tisk



## 3D model miminka

UZ zobrazení obličeje v 20.-31. týdnu těhotenství  
Nutná úprava pořízené série snímků



## Porodnická klinika FN Olomouc

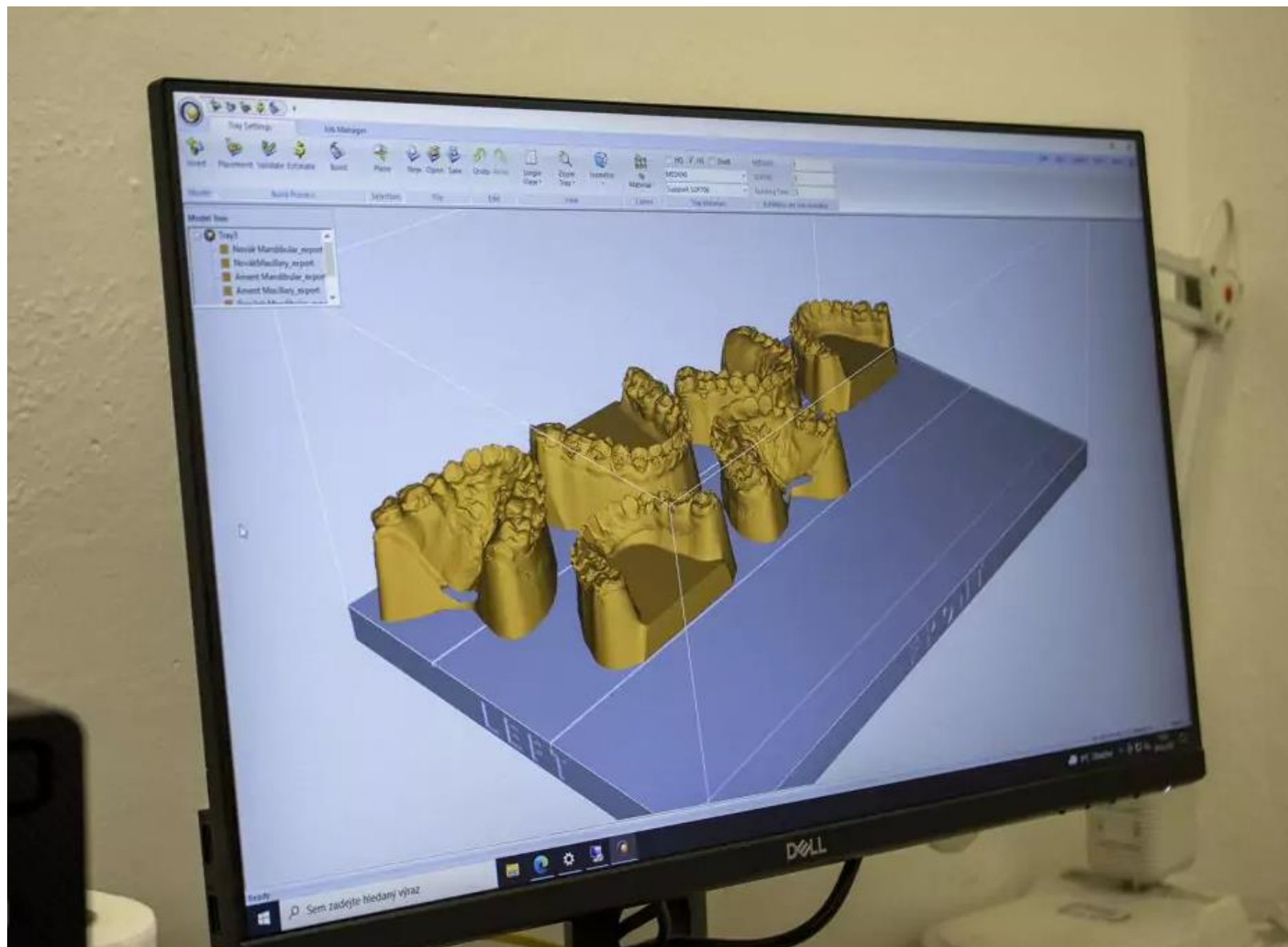
Během standardní kontroly v rámci centra porodní asistence



## 3D tisk

Cca 12 hodin, cena 1130 Kč

# FN Olomouc a 3D tisk



Klinika zubního lékařství



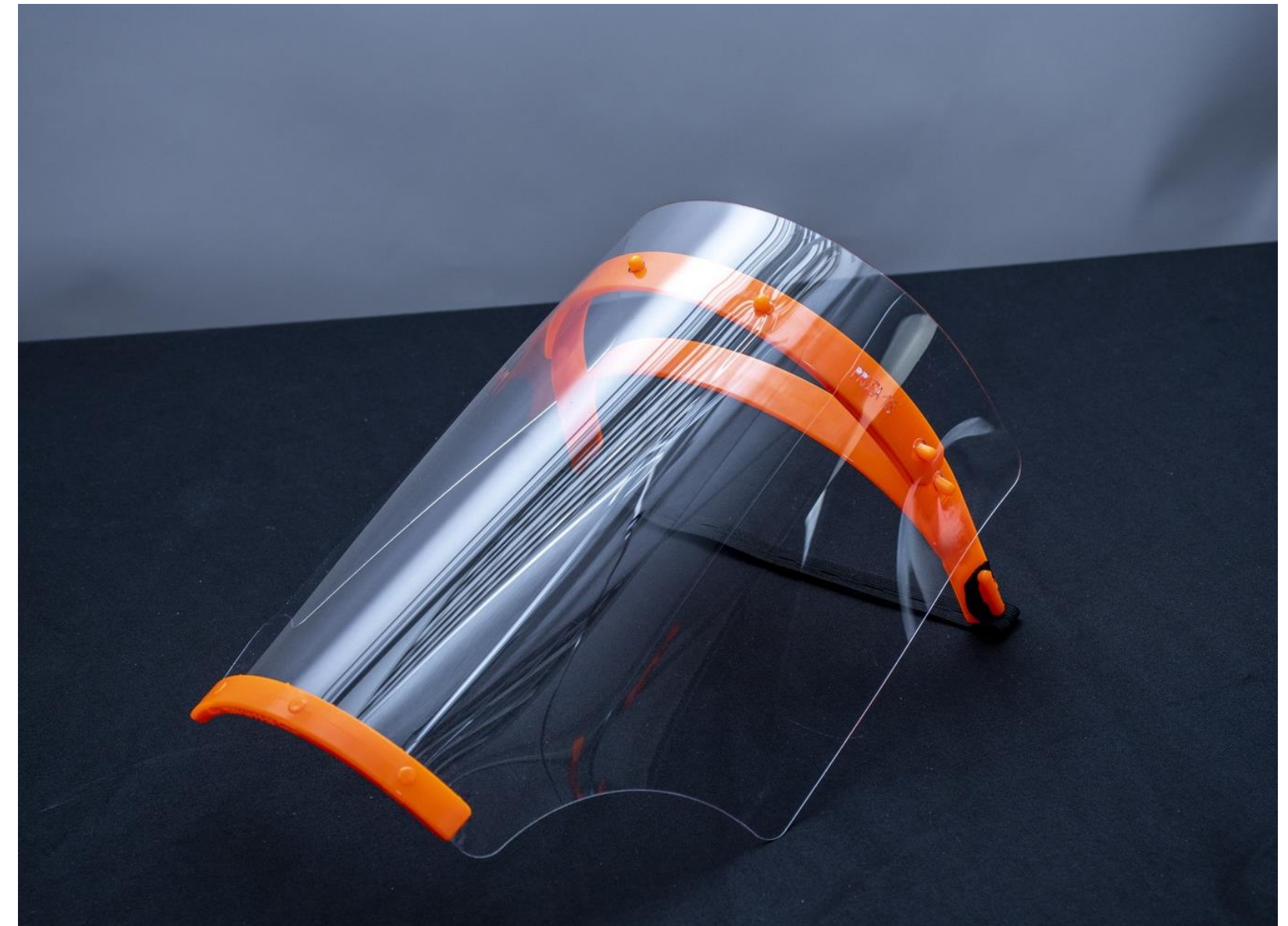
Tvorba modelů pro výuku, plánování léčby, ortodontické pomůcky ...



# FN Olomouc a 3D tisk



ARO



Ochranné štíty Covid-19

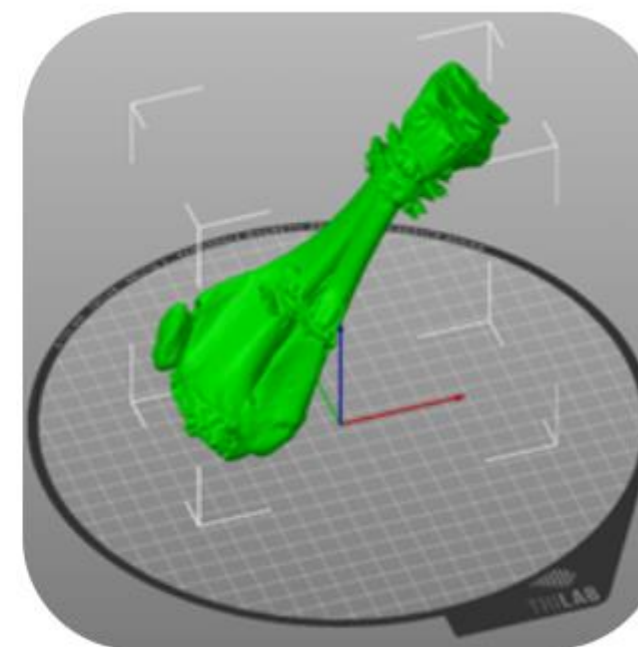


# FN Olomouc a 3D tisk - LFRO



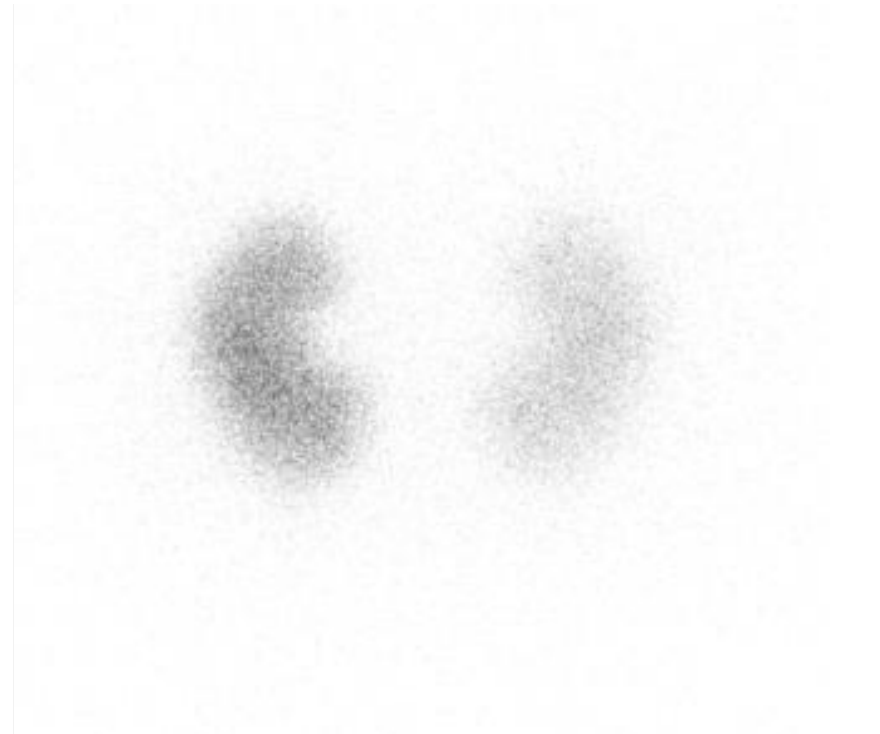
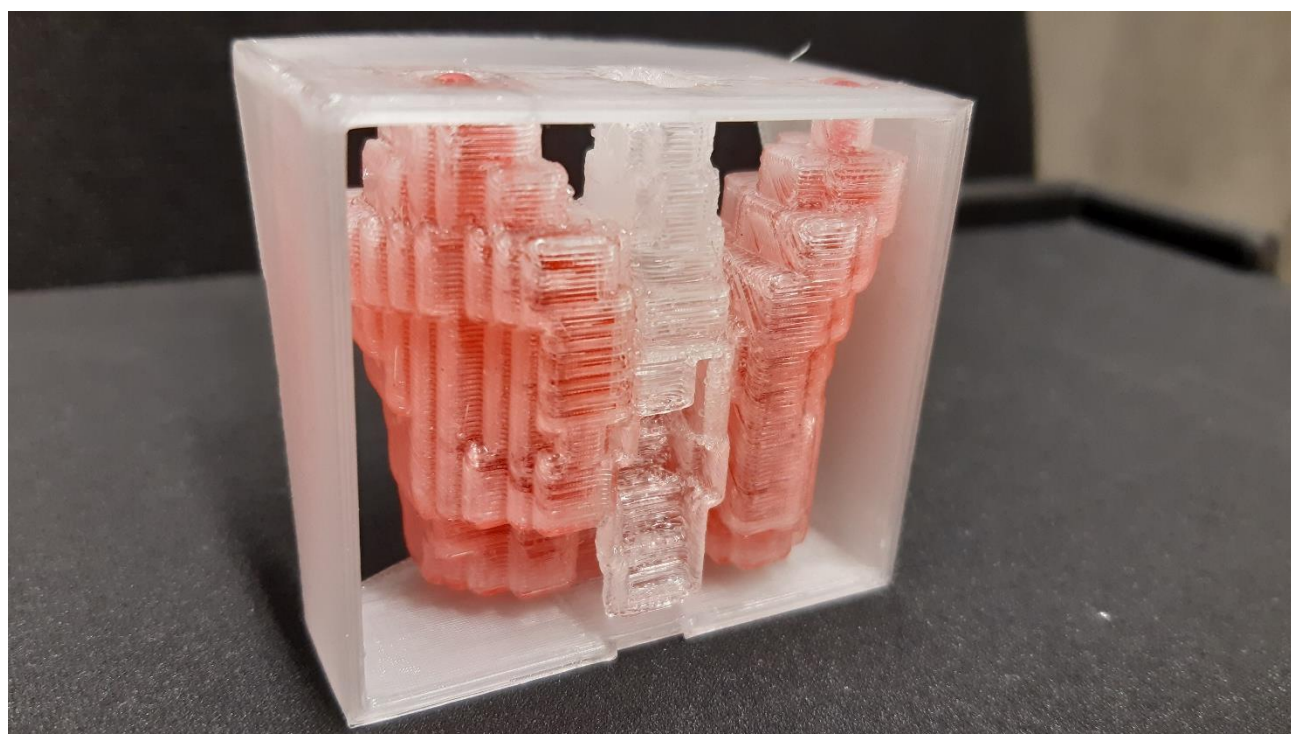
## Traumatologie

Spolupráce s Ústavem biofyziky LF UPOL  
Segmentace dat z CT – významná závislost kvality  
tisku na zdroji dat, resp. způsobu pořízení





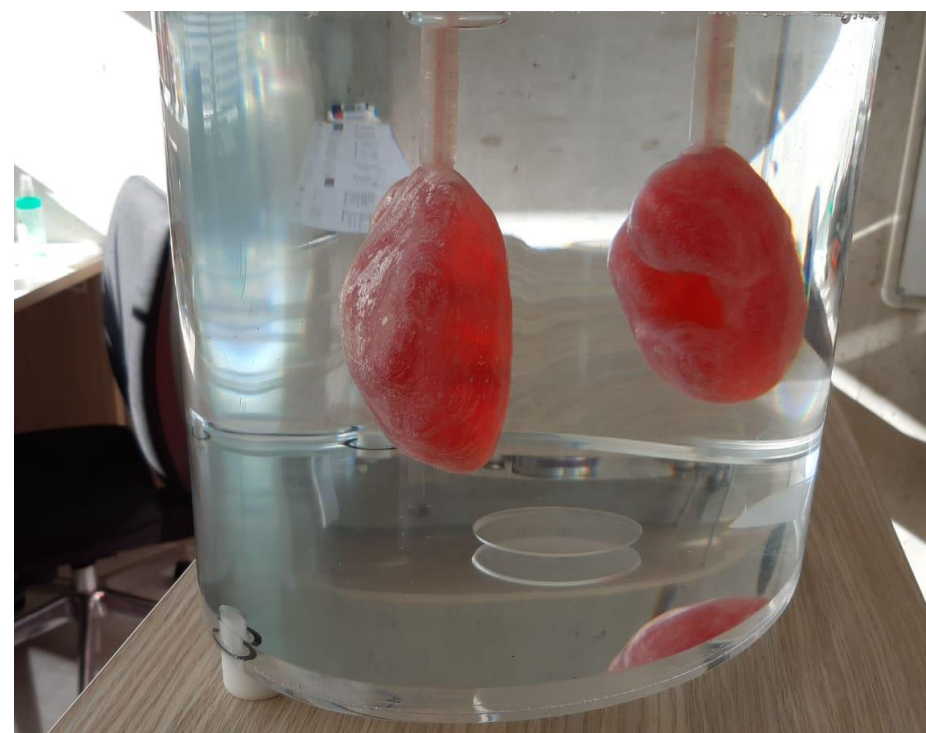
# FN Olomouc a 3D tisk - LFRO



Klinika nukleární medicíny  
Vodou plnitelné součásti fantomu  
Opakované použití – stejná životnost jako komerční fantomy



Flexibilita tvarů  
Geometrické tvary nebo tvary přizpůsobené lidské anatomii (ledviny atd.)



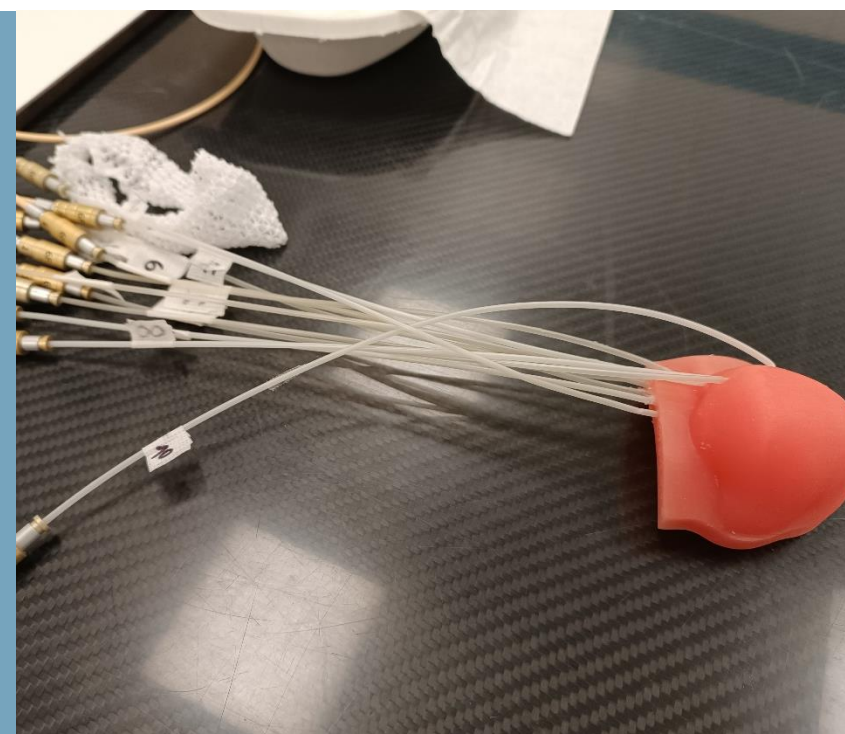


# FN Olomouc a 3D tisk - LFRO

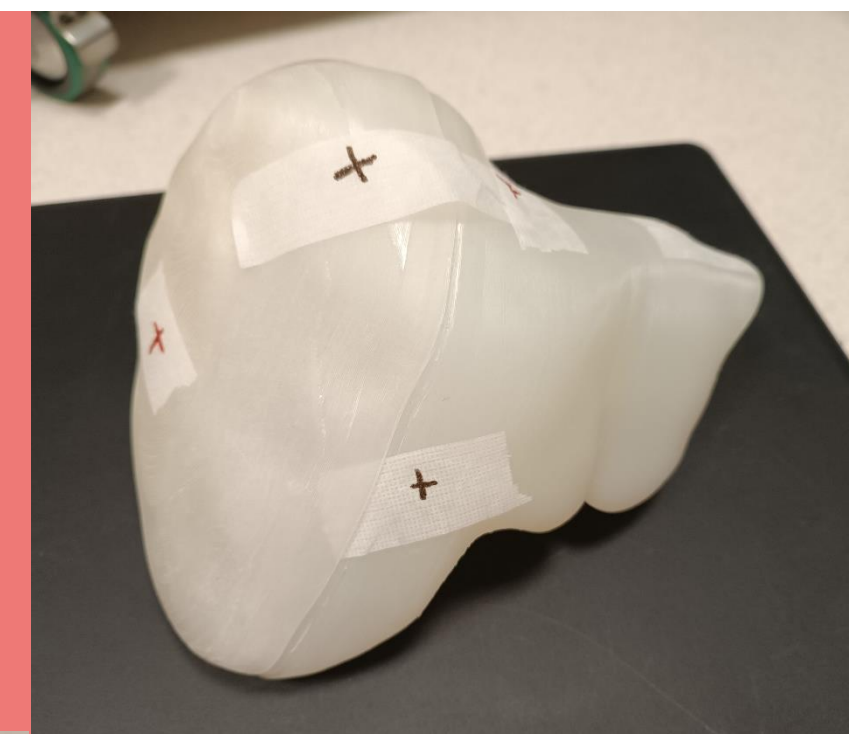
## Onkologická klinika

Tvorby bolusů pro radioterapii a testovacích pomůcek.

Testovací pomůcka pro tracking povrchu pacienta



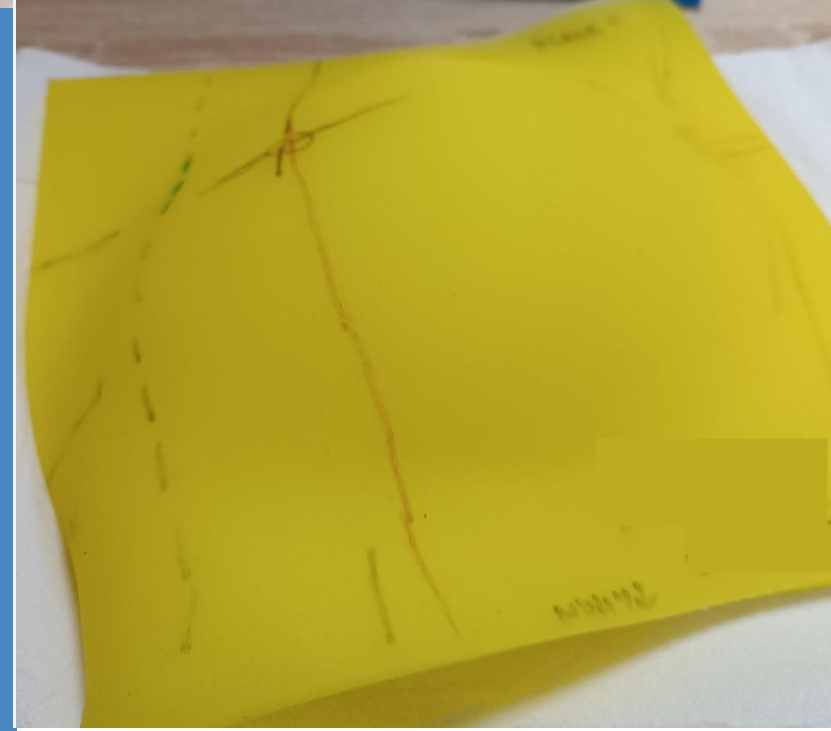
## Bolus pro oblast hrudníku



## Odlitek pro muláž nosu

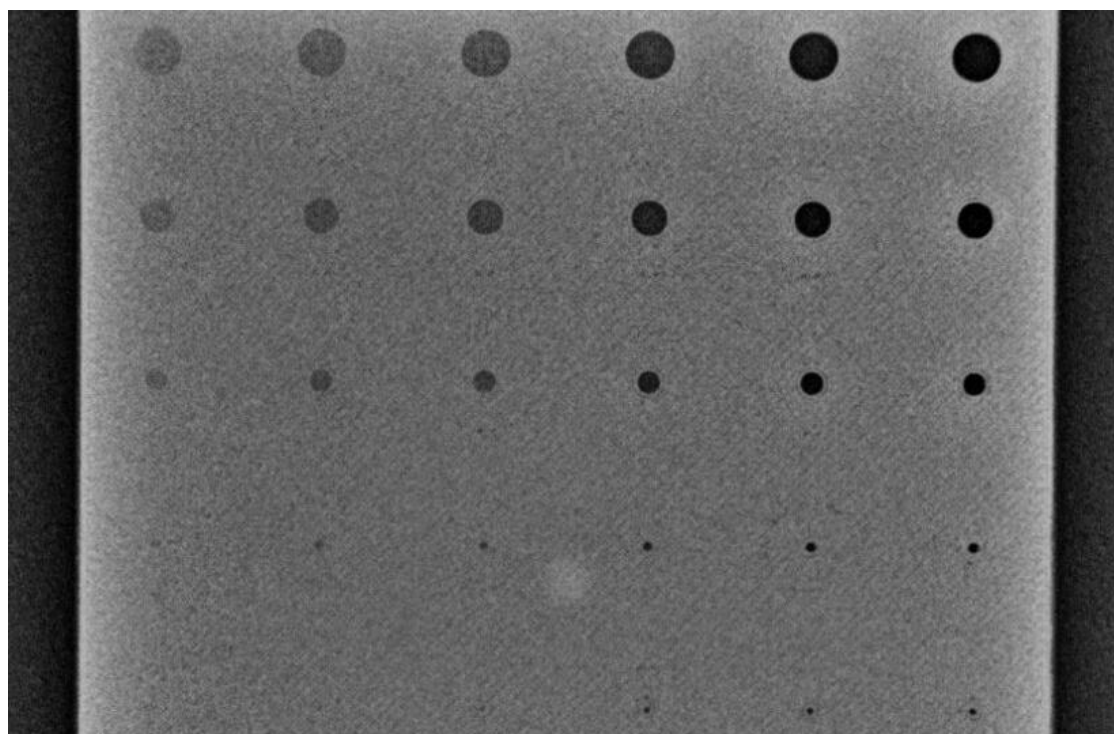


## Model jater s aplikovanými zrny pro kontrolu trackingu

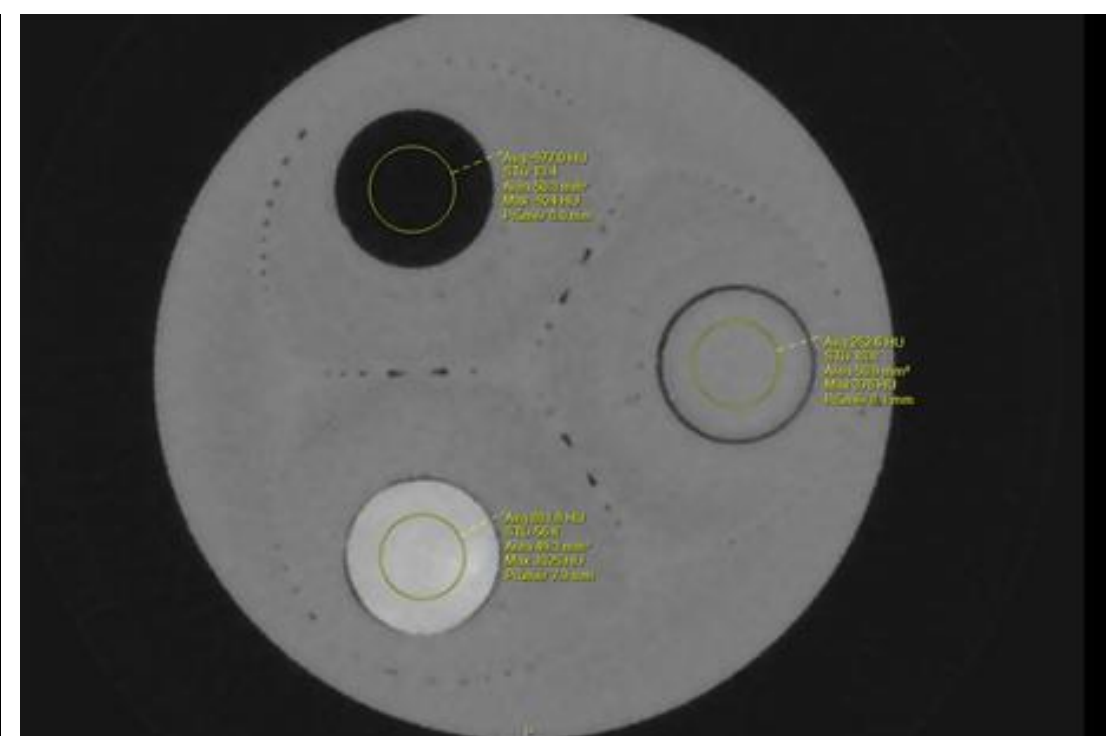
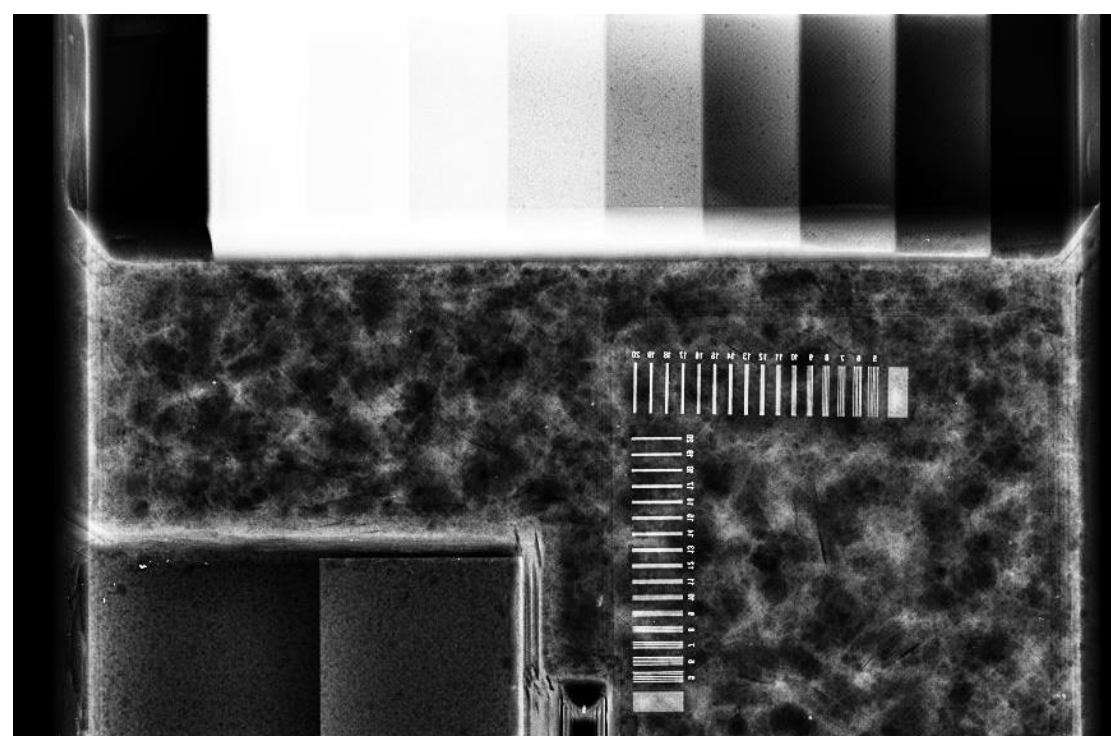
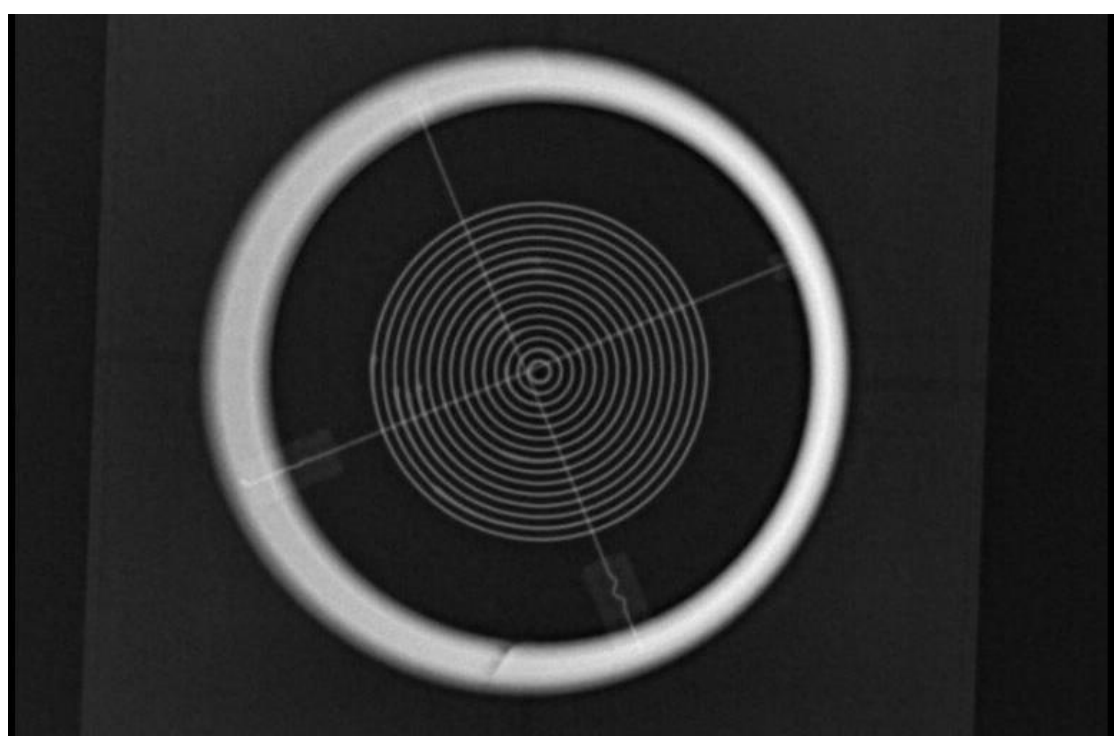
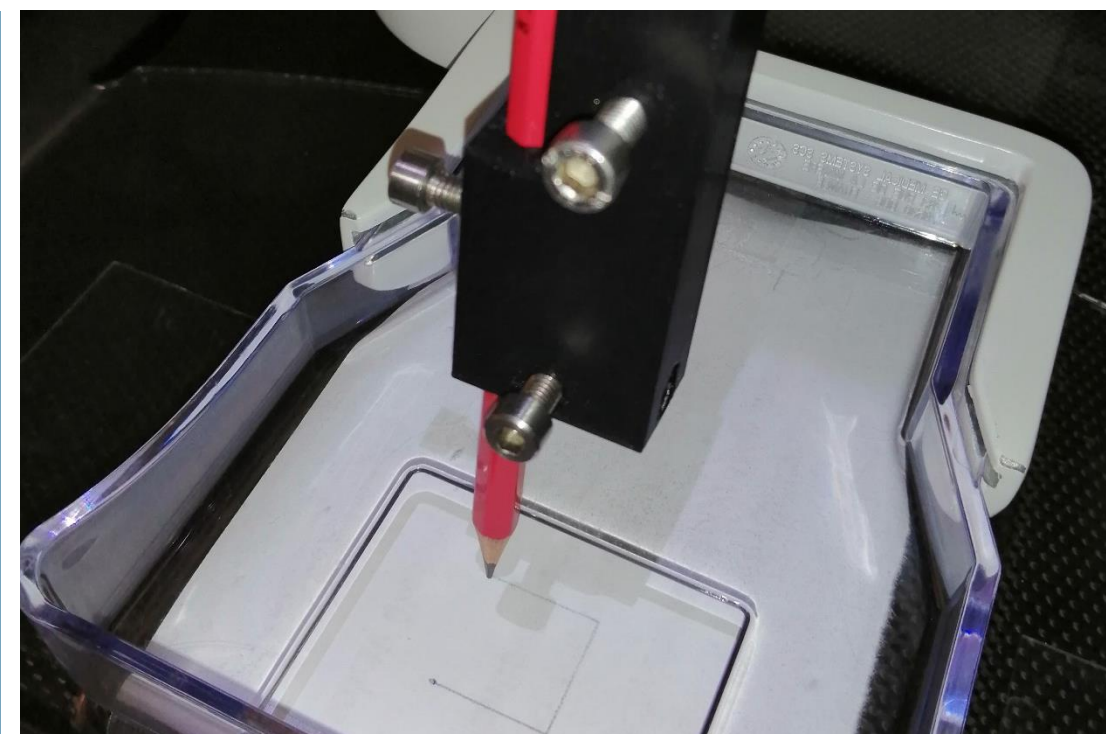




# FN Olomouc a 3D tisk - LFRO

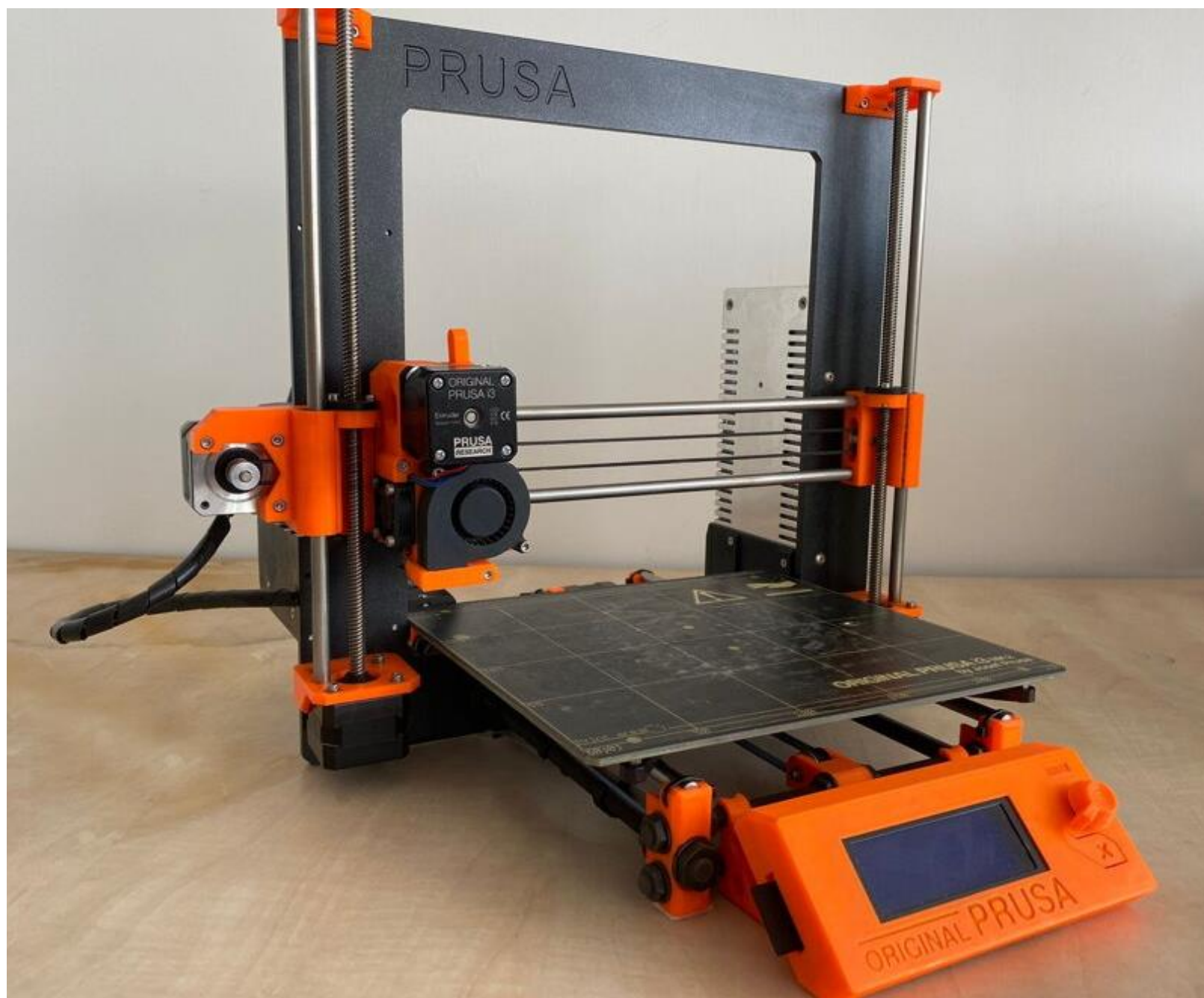


Radiodignostika  
Tvorba přizpůsobených fantomů a pomůcek pro kontrolu kvality pro různé rtg modalily

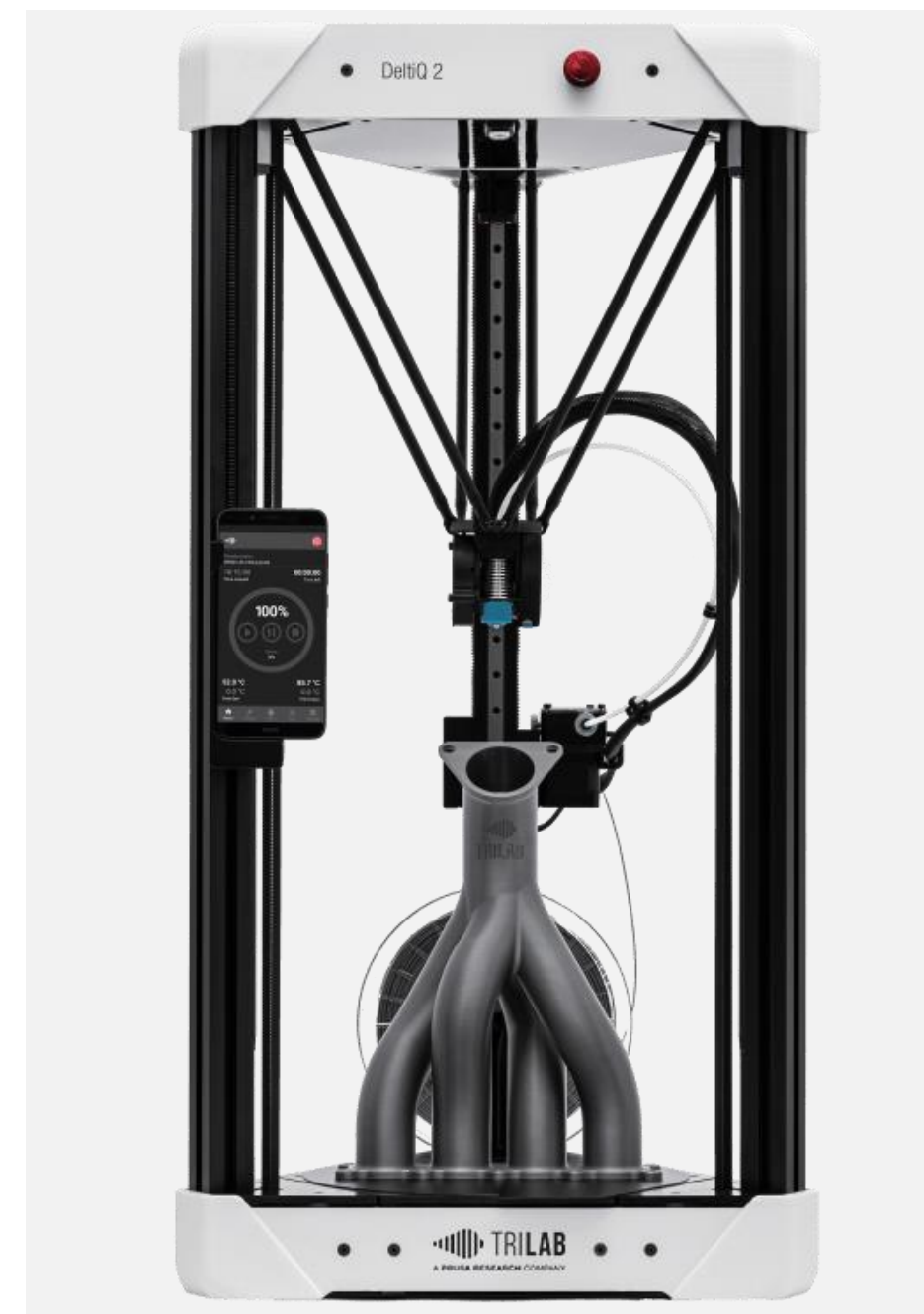




# 3D tiskárny na LFRO



Prusa i3 MK2



Trilab DeltiQ 2

# Tvorba modelu

## Program Autodesk Fusion a Prusa Slicer



### **Modelování 3D objektů**

Vytvoření předlohy pro tisk – výplň nebo forma  
Program nasimuluje potřebné výztuhy (lešení), přemostění ...



### **Segmentace objektu z CT**

Pro tvorbu fantomů přizpůsobených lidské anatomii  
Program 3D Slicer



### **Prostorová omezení**

Prusa i3 MK2/3 – tisknutelný rozměr 25\*21\*21 cm  
Trilab DeltiQ 2 - tisknutelný rozměr Ø25 cm, výška 50 cm



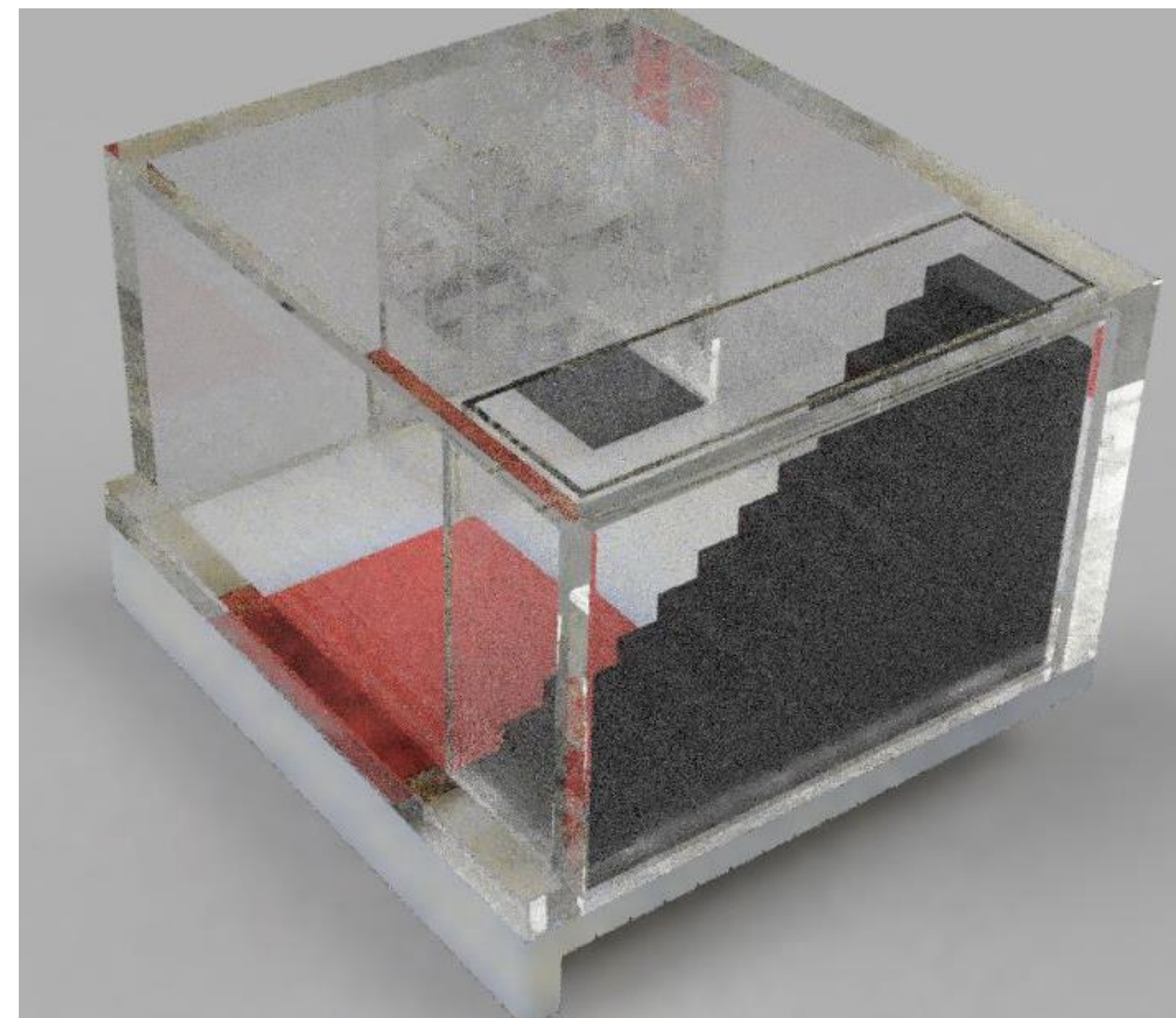
### **Prostorové rozlišení**

V osách x a y dáno velikostí trysky a konstrukcí tiskárny – cca 0,25 mm  
Ve směru osy z dáno nastavenou tloušťkou vrstvy – cca od 0,05 mm



### **Doba tisku**

Na základě modelu a nastavených parametrů rozlišení, tloušťky řezu a velikosti objektu software stanoví předpokládanou dobu tisku  
Řádově hodiny







## PLA

„PolyLactic Acid“



Nejpoužívanější filament

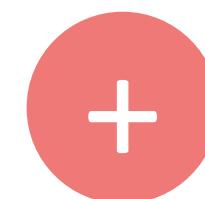
Vyráběn z rostlinných škrobů (ne z ropy)

Biologicky odbouratelný

Vhodný pro tisk malých i velkých výrobků

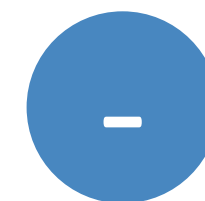
Teplota tisku 215 – 230 °C

Hustota 1,25 g/cm<sup>3</sup>



Nízká cena

Nízká objemová smrštitelnost



Křehký – nevhodný na mechanicky namáhané součásti

Nízká teplotní odolnost (pouze do 60°C) + degradace pod UV

Složitý post-processing – mokré broušení



## PVB

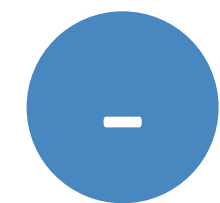
„PolyVinyl Butyral“



Transparentní materiál – při malých tloušťkách  
Umožňuje vyhlazení povrchu pomocí isopropyl alkoholu (IPA)  
Teplota tisku 215 – 230 °C  
Hustota 1,09 g/cm<sup>3</sup>



Lepší mechanické vlastnosti než PLA  
Větší pevnost v tahu a „soudržnost“  
Nízká objemová smrštitelnost



Hygroskopický materiál – citlivý i na vzdušnou vlhkost  
Nízká teplotní odolnost (pouze do 60°C)  
Vyšší cena než PLA

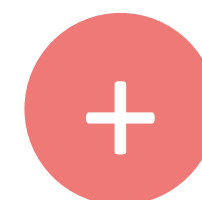


## PETG

„PolyEthylenTereftalát modifikovaný Glykolem“



Jeden z nejnadněji tisknutelných materiálů  
Pro tisk levných technických dílů (např. díly tiskáren Prusa Research)  
Teplota tisku 230 - 240 °C



Vhodný pro tisk mechanických částí  
Dobrá tepelná odolnost (do 80°C)  
Voděodolný, dobře přilnavý a tvrdý materiál  
Malá teplotní roztažnost  
Pevný materiál – vhodný pro tisk větších modelů



Není vhodný pro tisk detailů  
Obtížně sejmutelný z podložky po tisku – přichytává se  
Rozpustný v nebezp. chemikáliích – dichlormetan  
Model se musí po vytisknutí chladit, aby byl model tvrdý a pevný

## PETG + Wolfram

„PolyEthylenTereftalát modifikovaný Glykolem“

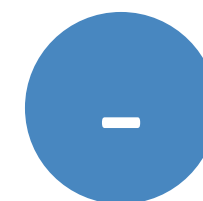


Materiál PETG obsahující příměs až 70 hmotnostních % wolframového prachu



Vhodný pro tisk pomůcek, u nichž je žádoucí vysoký kontrast

Pro rtg svazky polotloušťka menší než 0,3 mm – již tenká vrstva značně utlumí svazek



Nehomogenní rozmístění zrn W prachu ve filamentu

Velmi vysoká cena





# „Post processing“

3D tisk není samospásná metoda

tisk ≠ hotový fantom



## **Lepení**

Aceton nebo lepidlo



## **Broušení**

Smirkový papír, pilníky ...



## **Vyhlazování**

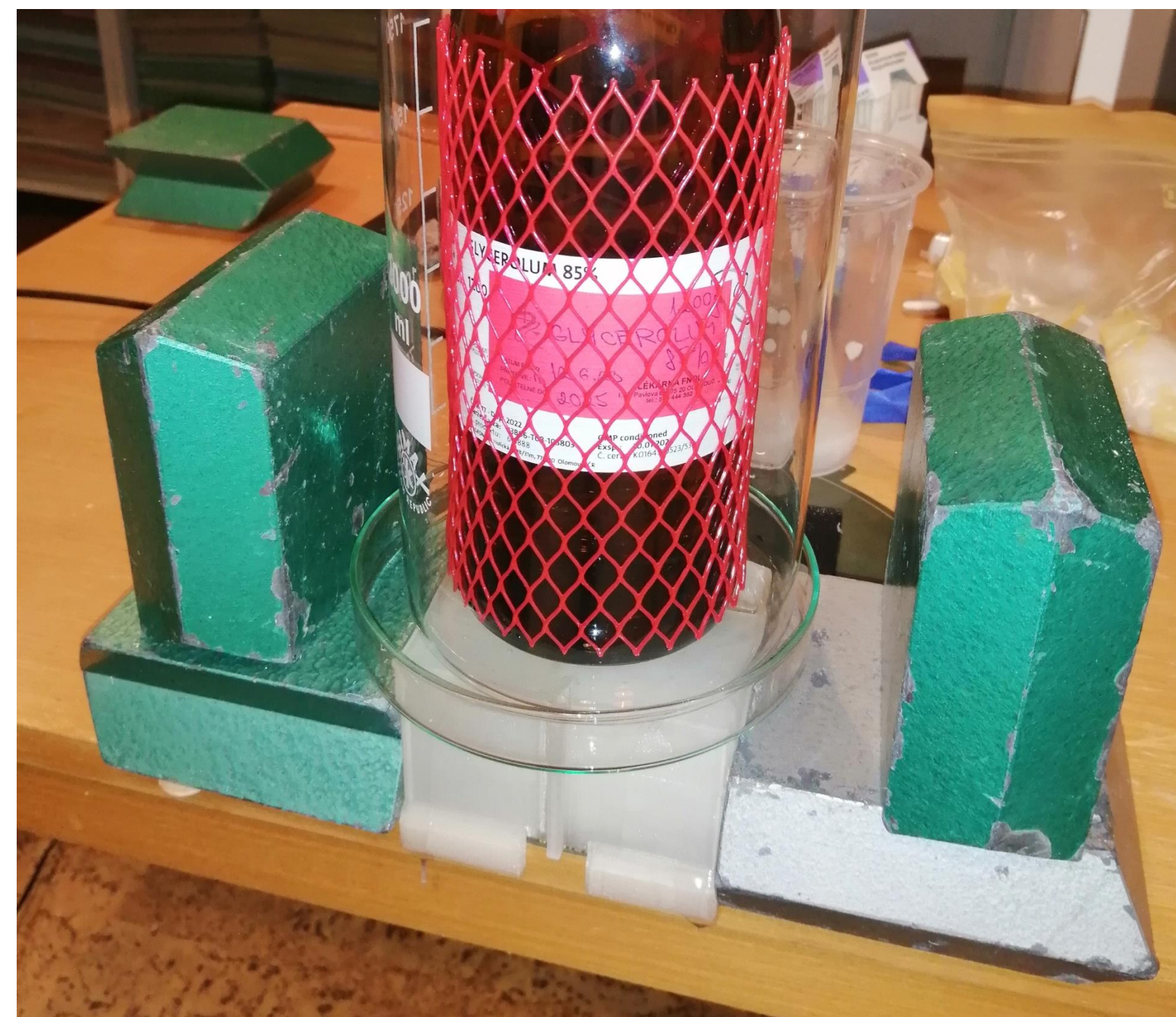
Povrch PVB možné vyhladit alkoholem (IPA)



## **Zamezení úniku kapalin**

U plnitelných fantomů je nutné jejich povrch ošetřit epoxidem XTC-3D

Zabrání hygroskop. vlastnostem a úniku kapalin mezi vrstvami





# 3D tisk + další materiály

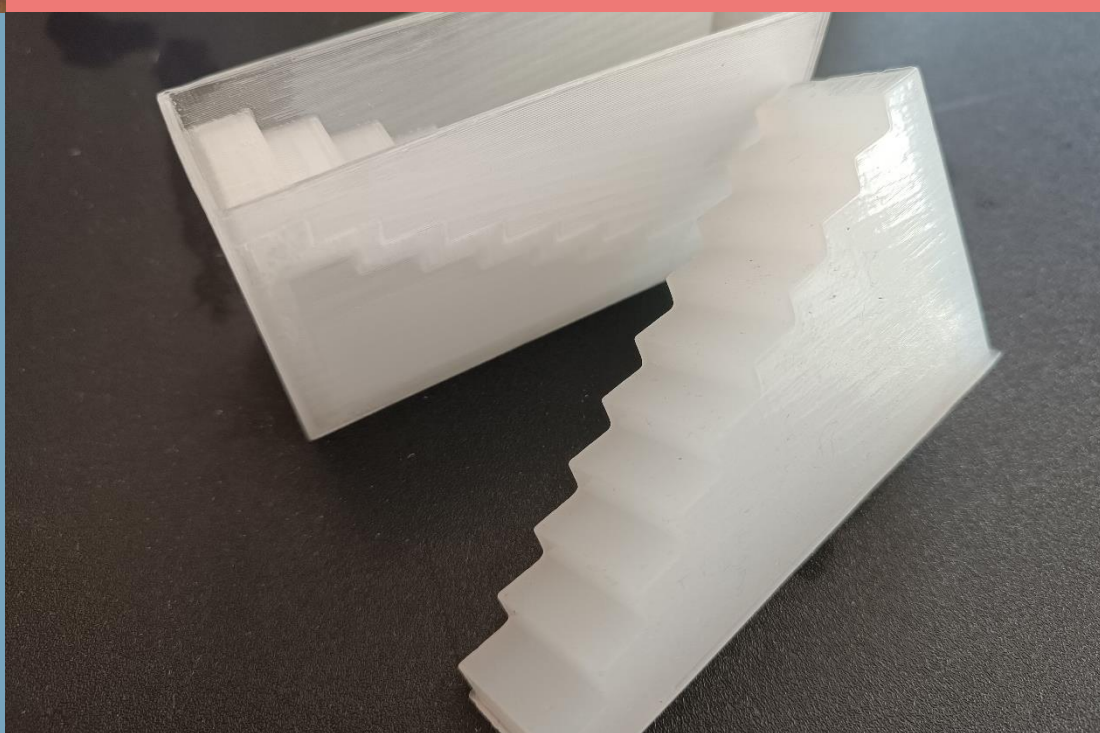


Kromě prvků/pomůcek, které mohou být tvořeny jen z tisknutelného materiálu, umožňuje vytvořit fantomy, bolusy pro RT atd. i z jiných materiálů, jejichž použití samostatně nebylo možné nebo velmi složité – 3D tisk slouží jako forma



Výběr a testování vhodného materiálu výplně, aby jeho vlastnosti (zeslabení,...) odpovídaly „tkáni“, kterou mají nahradit

Polotloušťka, CT čísla atd.



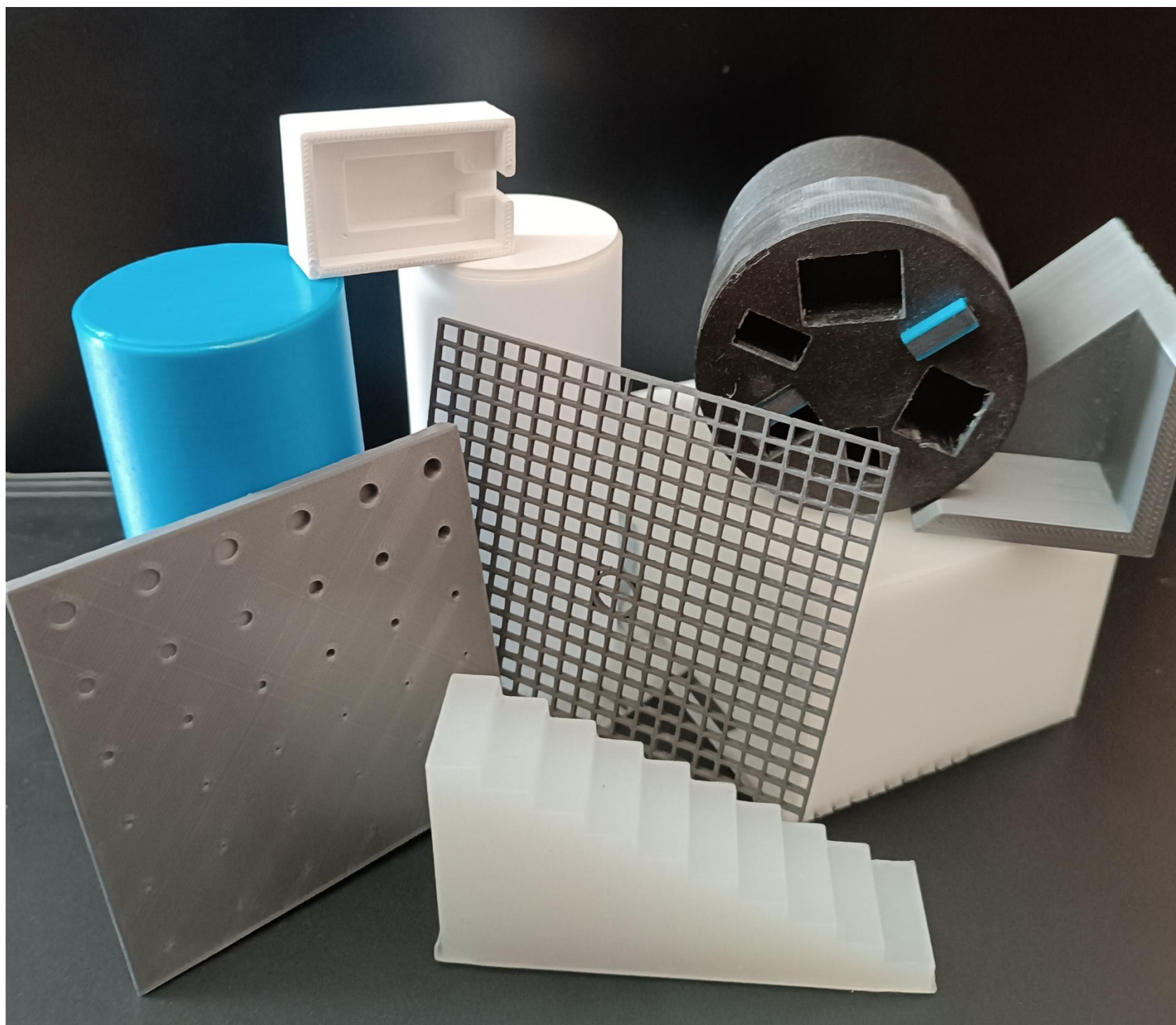
Zpracování materiálů bez chemické laboratoře

Materiály musí být stabilní a případně i kombinovatelné s dalšími materiály

2 složkový adiční silikon, parafín, polyuretanový kaučuk, jodová kontrastní látka, voda...



# Fantomy a pomůcky RF v radiodiagnostice



## ***Testovací fantomy pro ZPS***

Zubní CBCT

Tomosyntéza a stereotaktická biopsie v mamografii

Kontrast/detail fantom



## ***Pomůcky pro provádění ZPS***

Stanovení vyosení svazku rtg

Soulad středu rad. pole se středem receptoru obrazu

Zaměřovací systém bioptického systému v mamografii

Velikost radiačního pole



## ***Pomůcky***

Držák intraorálního detektoru

Držáky pro PMMA desky

# 3D tisk v radiodiagnostice

## Proč?



- Možnost testování specifických vlastností jednotlivých modalit
- Dostupnost
- Usnadnění testování - více testů z 1 snímku, resp. série snímků
- Možnost přizpůsobit testovaný objekt reálné tkáni díky materiálům výplně a rozměrům
- Lepší objektivita některých testů v porovnání s testy dopor. výrobcem
- Možnost kombinovat se standardizovanými testovacími prvky
- Nízká cena
- Tvorba pomůcek nedostupných na trhu
- Možnost operativní výměny jednotlivých prvků fantomu
- Ideální pro relativní měření v rámci ZPS
- Tvorba forem pro využití dalších vhodných materiálů



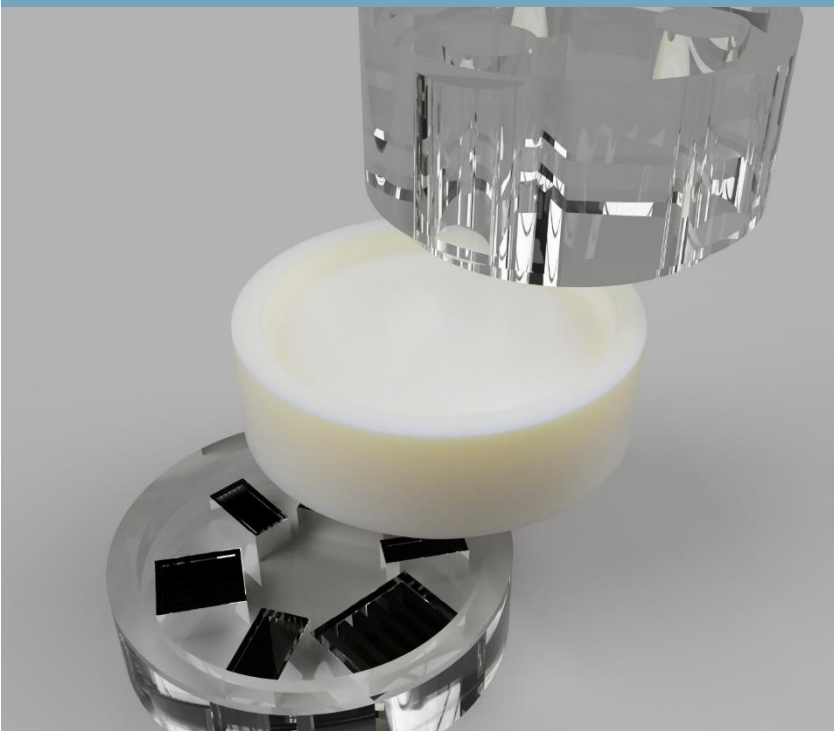
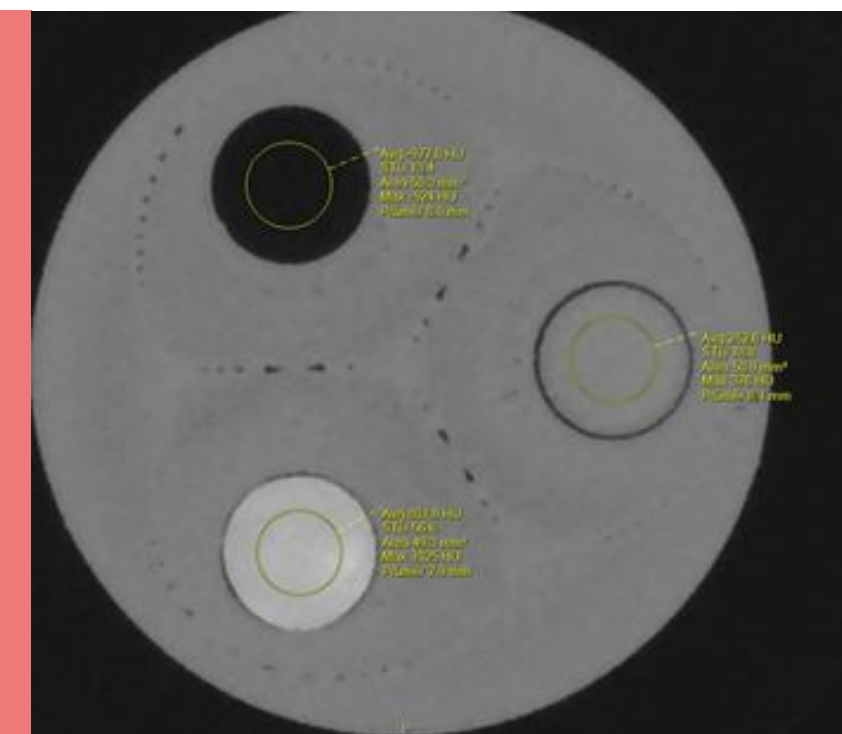
# CBCT zubní fantom

Rutinní testování funkcí CBCT



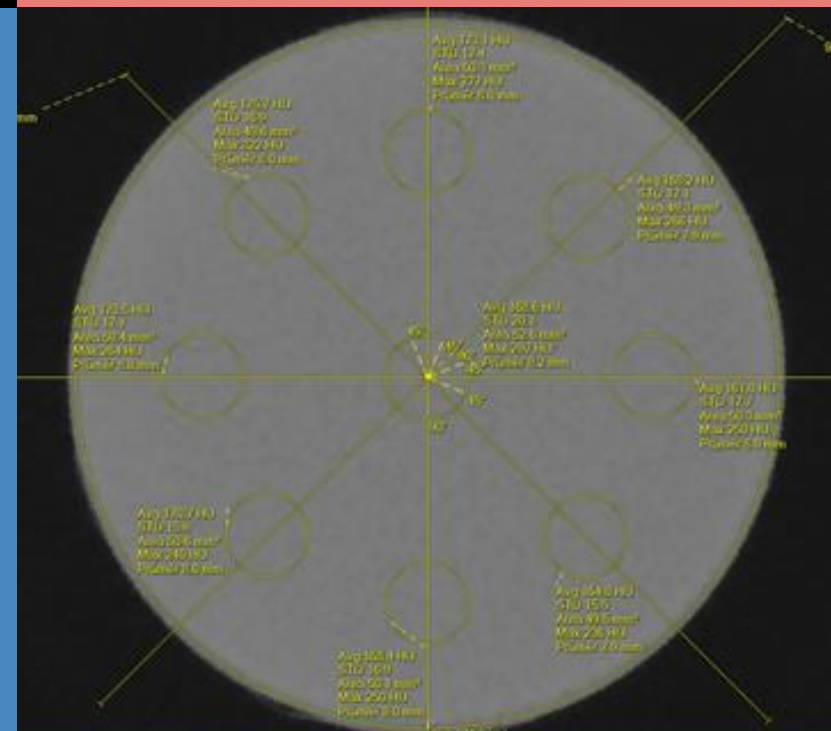
Homogenita

Plný disk/disk plnitelný vodou



Prostorové rozlišení

LP z PETG+wolfram



Plnitelné nádoby pro kontrolu CT čísla

Vzduch, voda/měkká tkáň, „kost“

# Fantom pro tomosyntézu a stereotaktickou biopsii v mamografii

Univerzální fantom simulující SOP („standardní olomoucký prs“) + hodnocení všech parametrů ze snímků z 1 rotace



## ***Použité materiály***

PVB – kostra fantomu + prvek pro kontrolu úhlů rotace

Polyuretanový kaučuk – Clearflex 30 – CNR, prsní tkáň, rozlišení nízkého kontrastu

Hliníkový plíšek tloušťky 1 mm;

Single-exposure high contrast resolution phantom

Parafínové pecky – pro simulaci tuku v prsní tkáni

Chirurgická ocel



## ***Testované charakteristiky***

Rozlišení nízkého kontrastu a SNR

Rozlišení při vysokém kontrastu – mezní kontrast

CNR

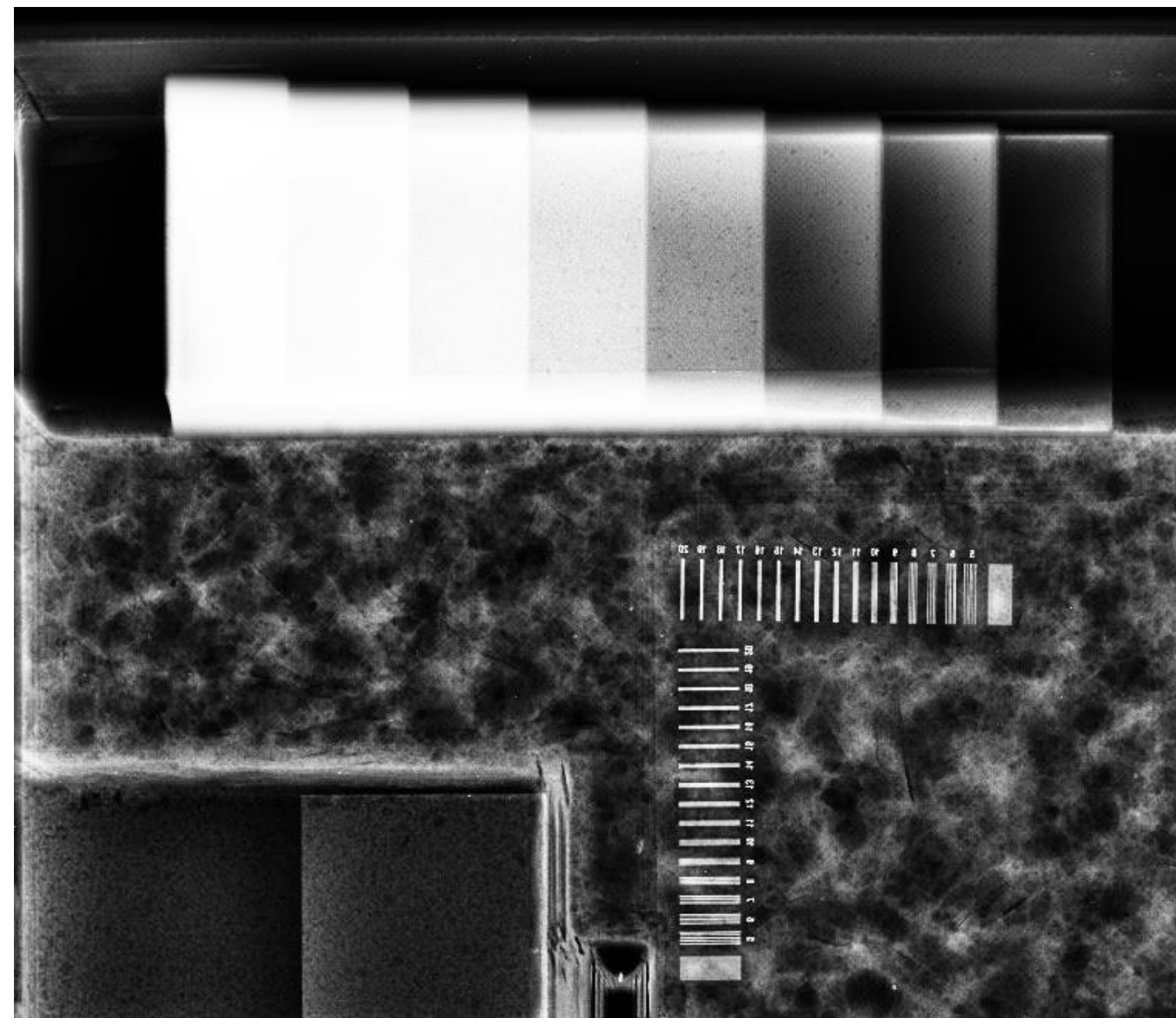
Stabilita AEC

Kontrola tloušťky komprese

Test chybějící tkáně u hrudní stěny

Střední dávka v mléčné žláze

Kontrola úhlů rotace při tomosyntéze

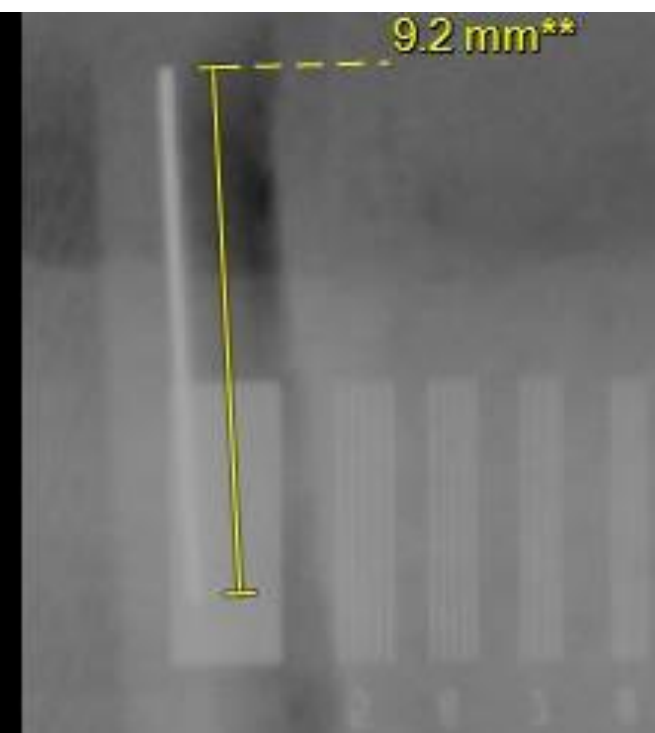




# Specifické testy

Kontrola úhlů rotace pro  
mamografie GE

centrum rotace 4,3, resp. 2 cm nad  
podpěrou pacientky



Nedozáření k hrudní stěně

Stanovení díky znalosti přesného  
umístění jednotlivých prvků ve  
fantomu, tedy i jejich vzdálenosti od  
hrudní stěny



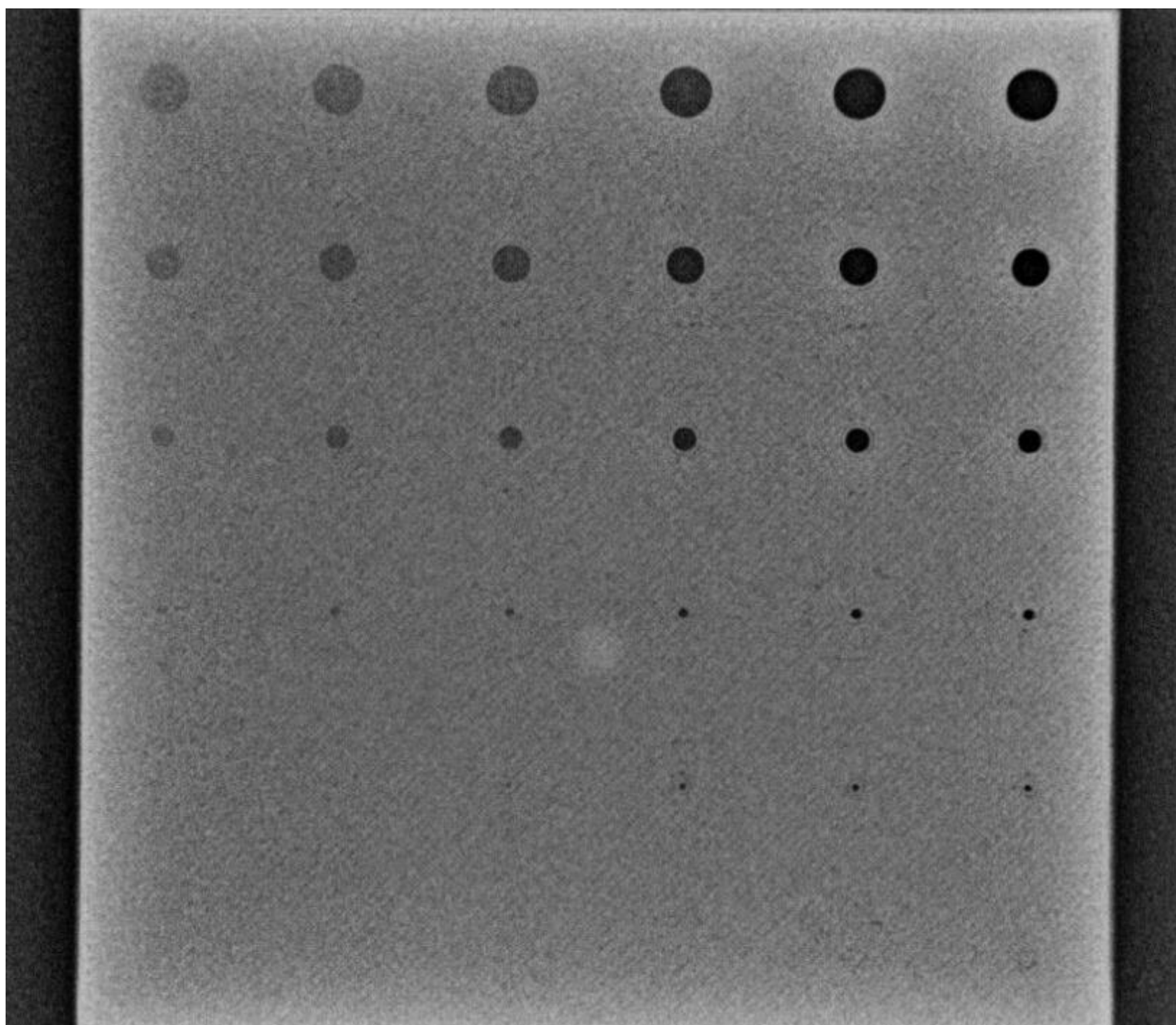
Srovnání indikovaného úhlu  
rotace s úhlem stanoveným  
pro 9 projekcí



Fantom je používán také pro  
kontrolu sestavy pro  
stereotaktickou biopsii pod  
MM kontrolou

Uzpůsobeny rozměry fantomu

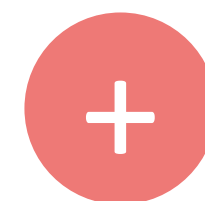
# Kontrast-detail fantom



Blok z PLA s 6x6 maticí prohlubní

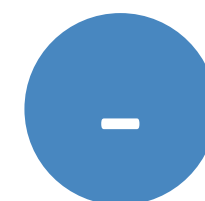
V každém řádku 6 válcových prohlubní se stejným průměrem

V každém sloupci 6 válcových prohlubní o stejné hloubce



Vhodný pro rychlé ověření stálosti kvality zobrazení v čase

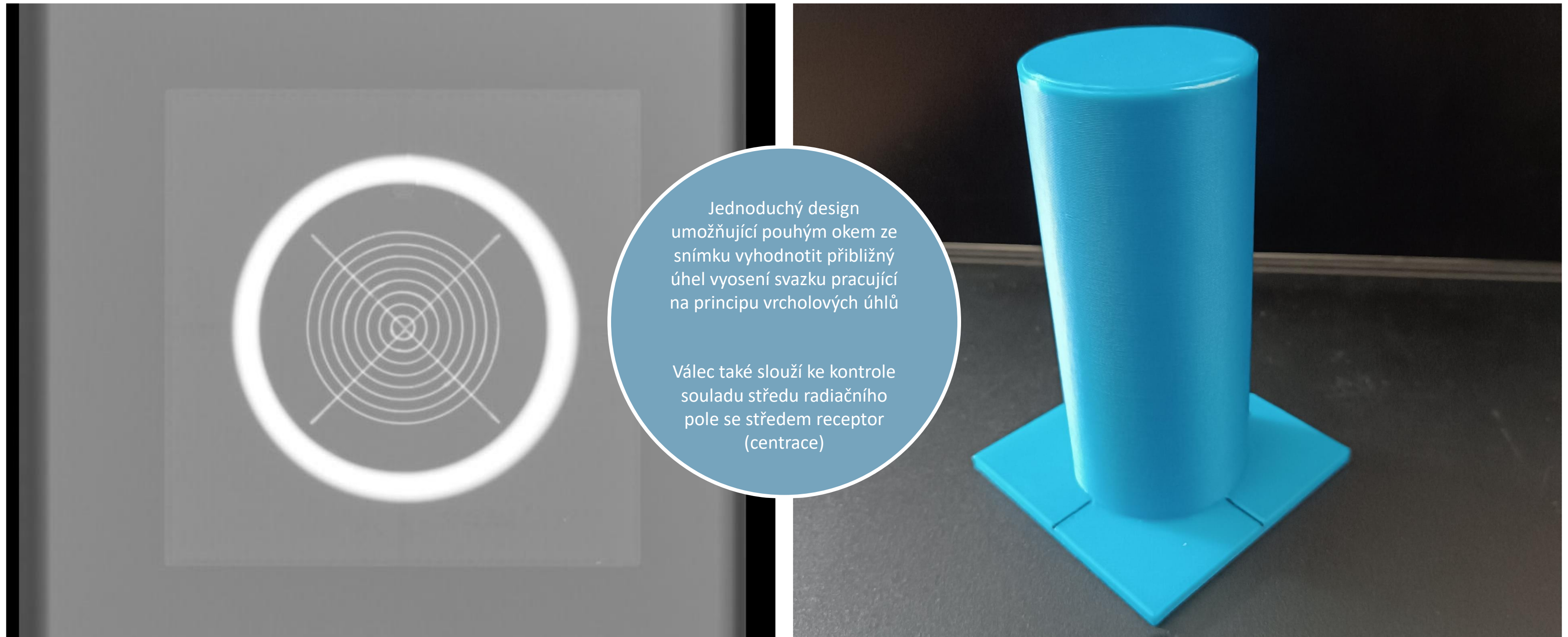
Nástroj pro rychlé porovnání jednotlivých zařízení mezi sebou



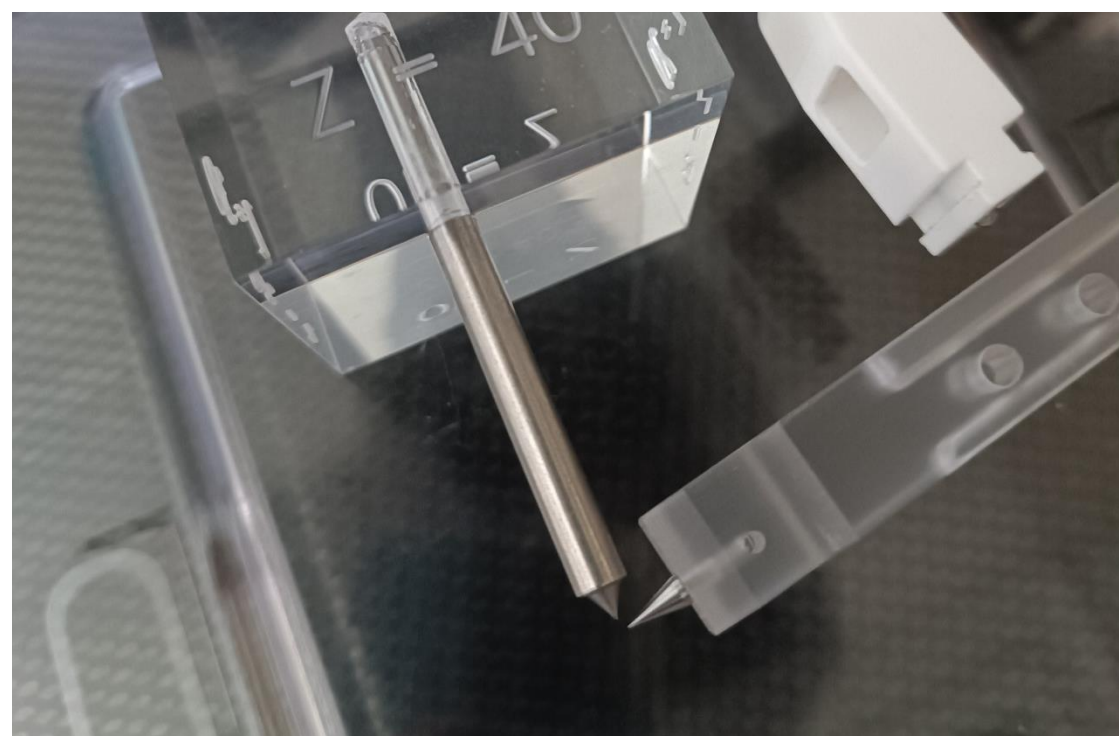
U nejmenšího rozměru otvorů narážíme na limity prostorového rozlišení tisku



# Testovací válec

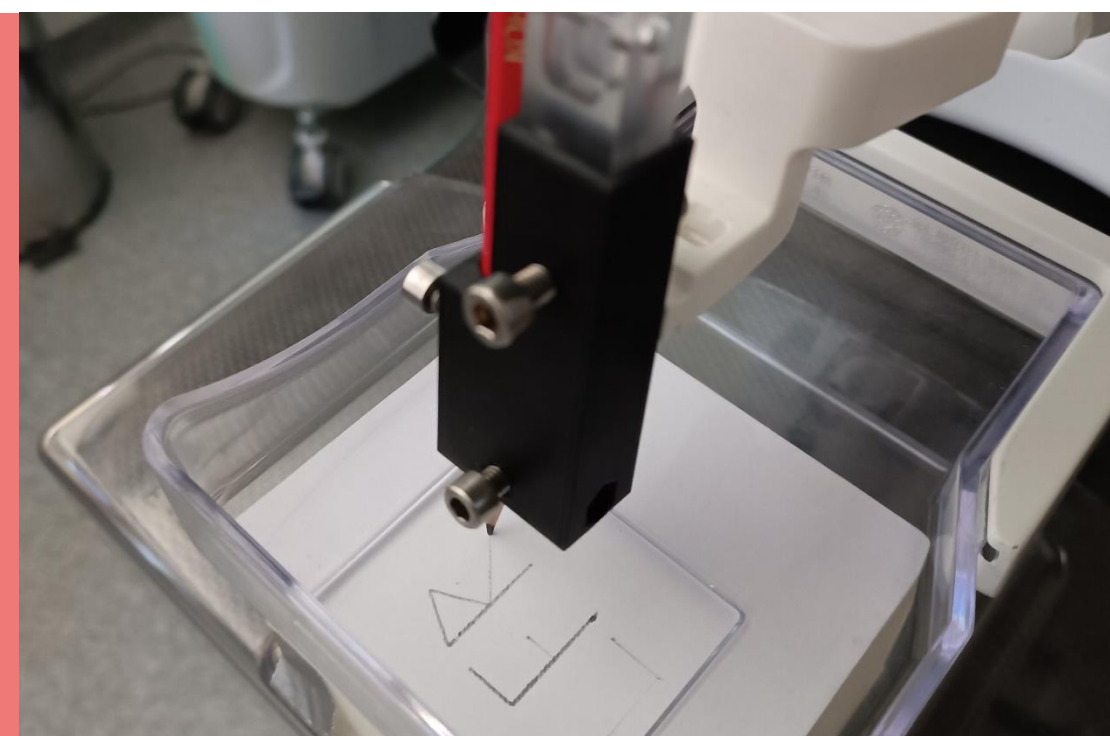


# Pomůcka pro kontrolu správného zaměření při biopsii prsu pod mamografickou kontrolou



Prvek umožňuje kontrolu zaměřovacího systému při vertikálním i horizontálním přístupu

Možnost kontroly všech 3 os pohybu pro oba přístupy



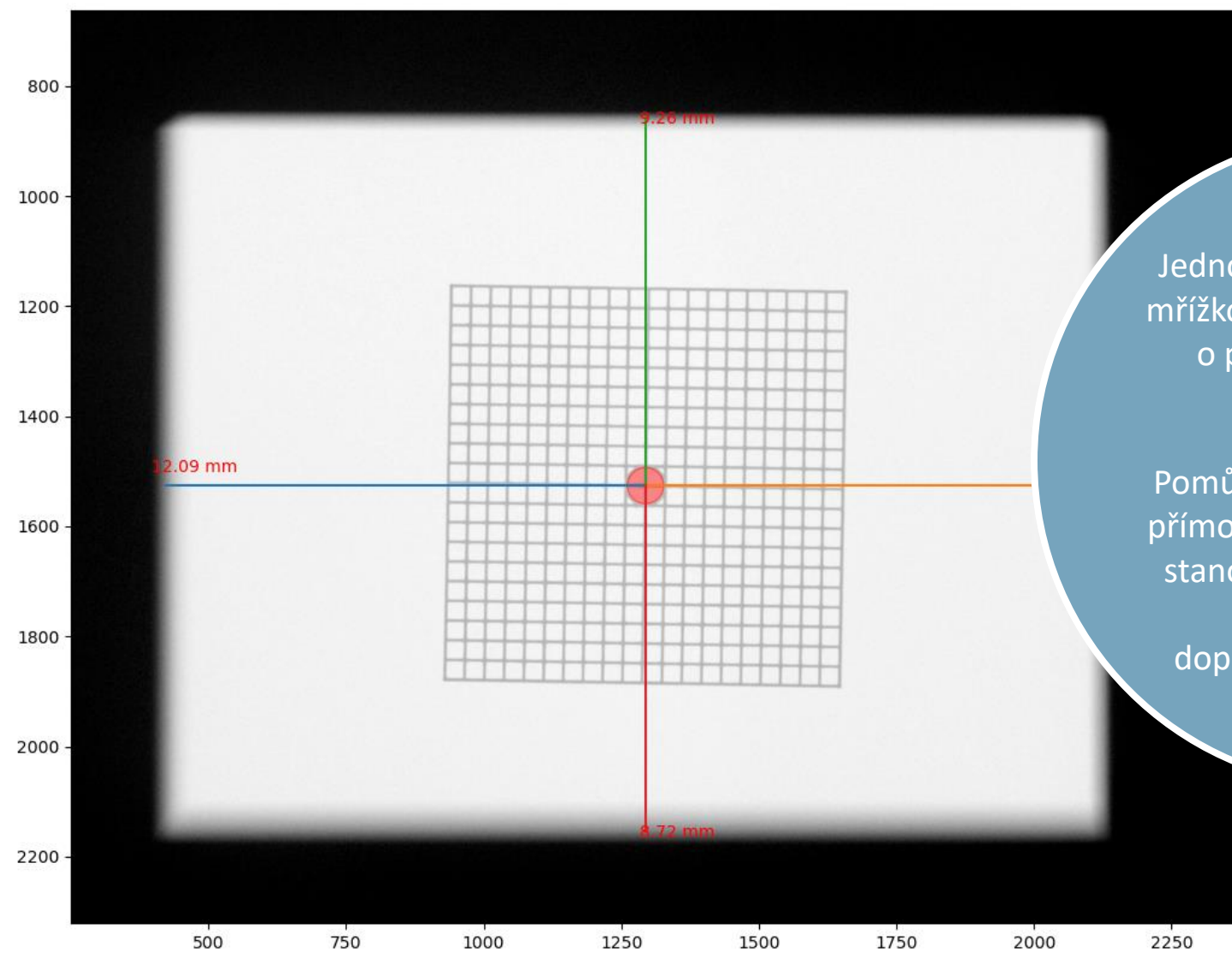
Výrobce dodávaná pomůcka umožňuje pouze vizuální kontrolu vzdáleností 2 hrotů



Možnost vizuální kontroly testovacího obrazce (zkreslení, nedokonalý obrazec...) + možnost ověřit délky jednotlivých posunů měřením

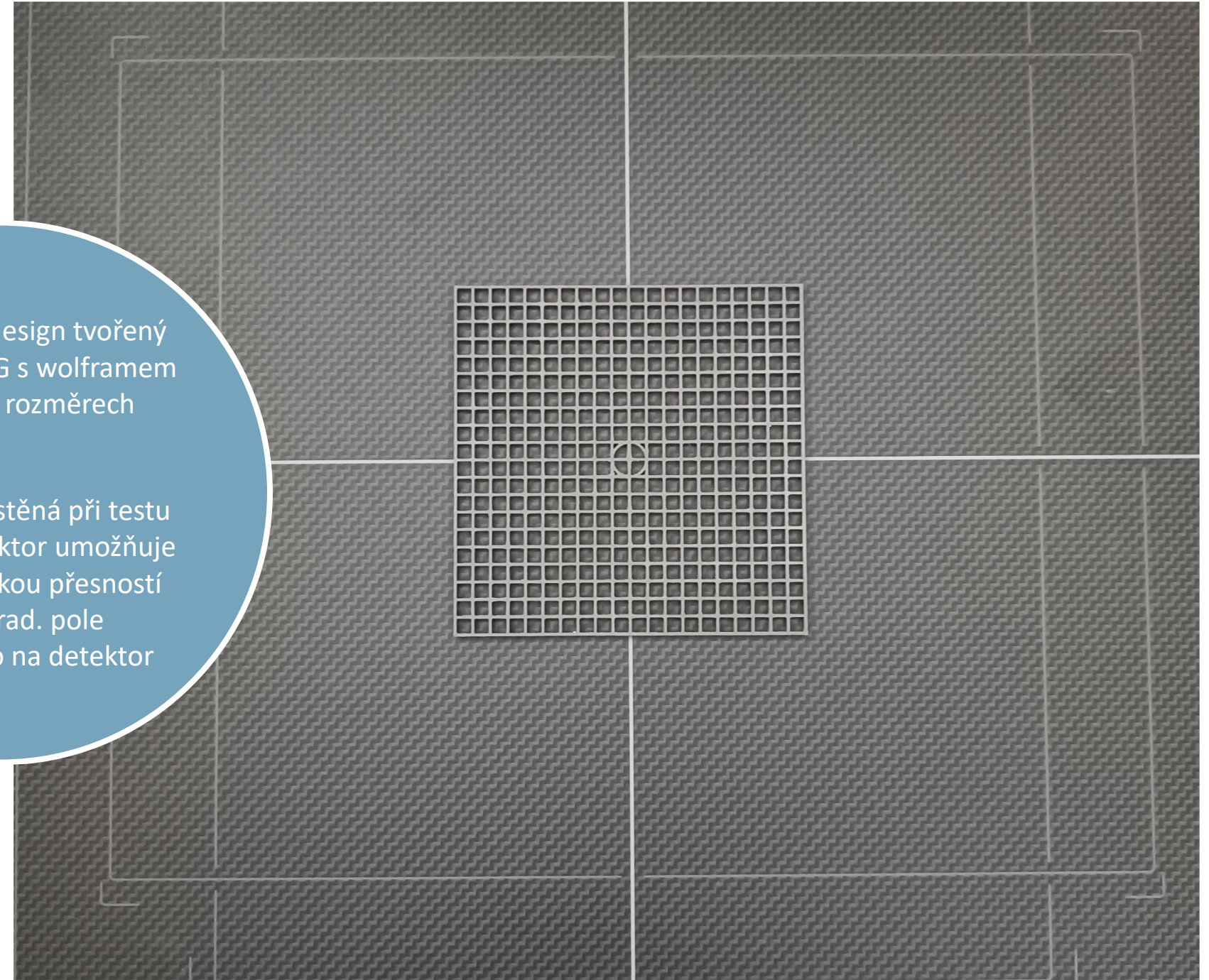


# Prvek pro kontrolu velikosti radiačního pole



Jednoduchý design tvořený  
mřížkou z PETG s wolframem  
o přesných rozměrech

Pomůcka umístěná při testu  
přímo na detektor umožňuje  
stanovit s velkou přesností  
velikost rad. pole  
dopadajícího na detektor





# Pomůcky usnadňující práci RF



Držák intraorálního detektoru

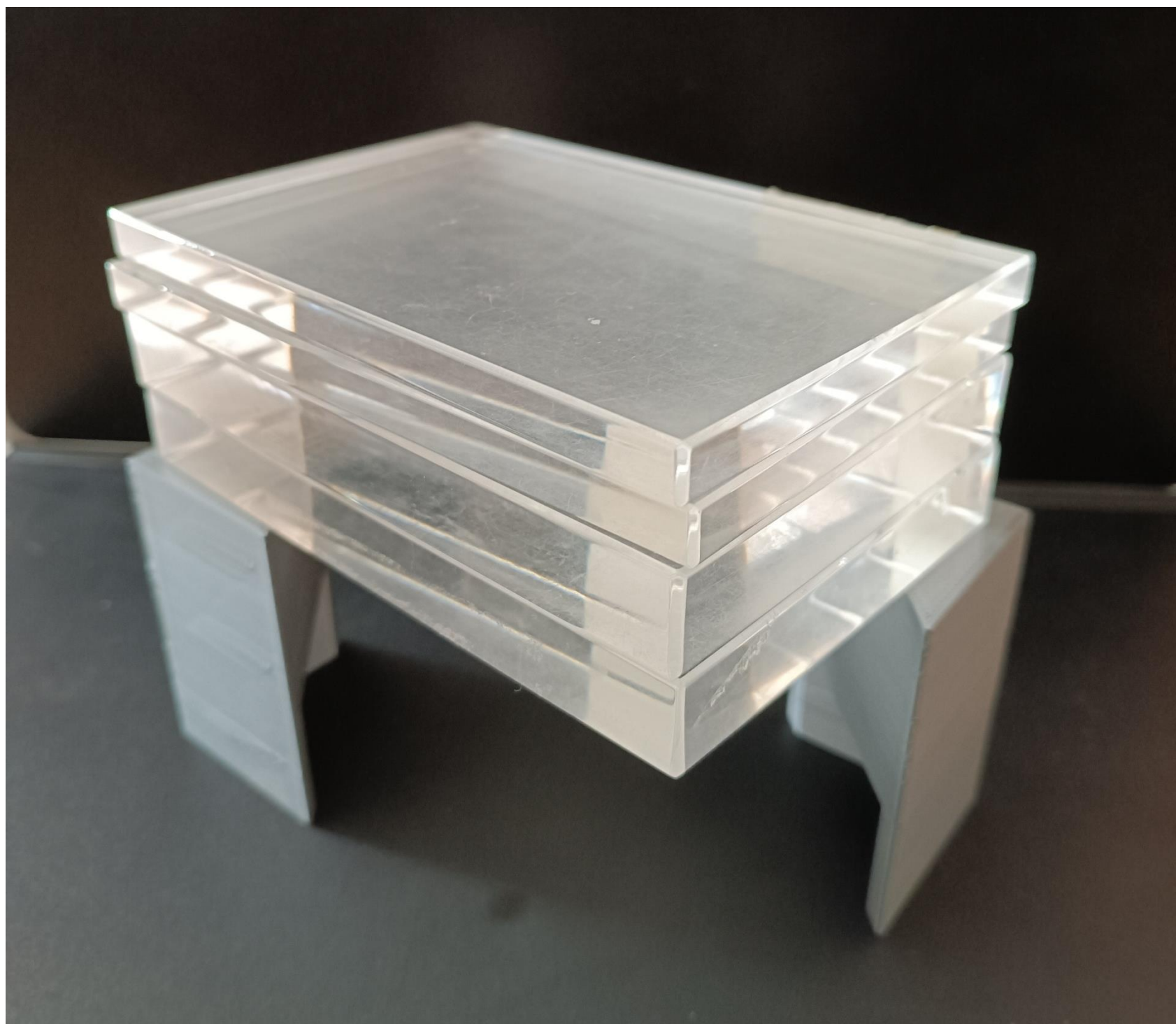


Umožňuje umístit detektor do vodorovné pozice pro testování fantomu



# Pomůcky usnadňující práci RF

## Držáky PMMA desek



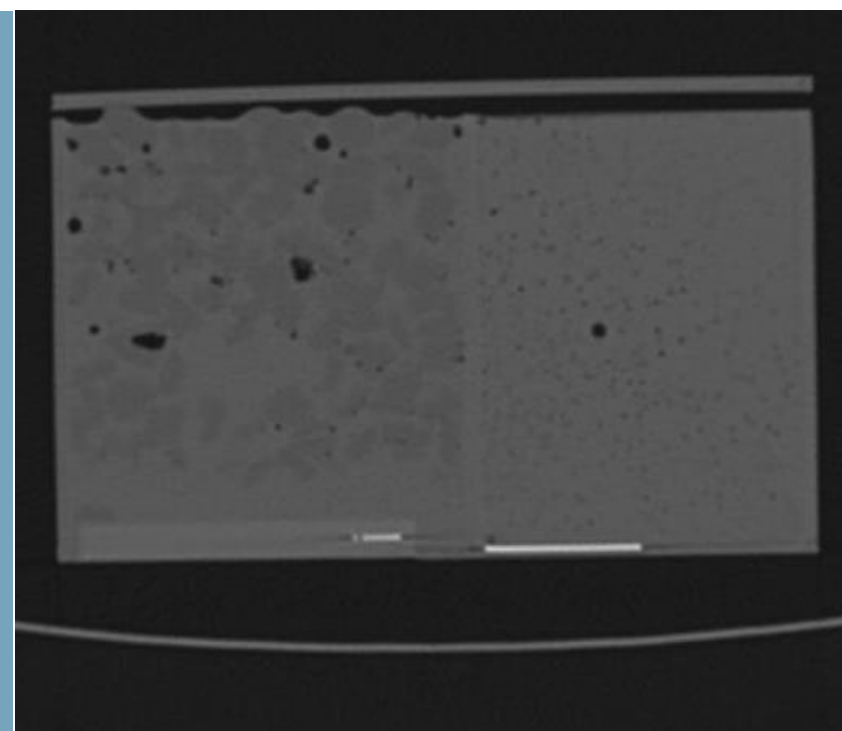
Vyvinuto na základě připomínkovaného doporučení ZPS  
skiaskopie

Umožňuje umístění i většího množství desek/resp. jakéhokoli  
těžšího fantomu přímo na detektor bez jeho poškození

Váha je z aktivní plochy detektoru přenesena na konstrukci  
C-ramene

Možnost přizpůsobit odsazení od detektoru

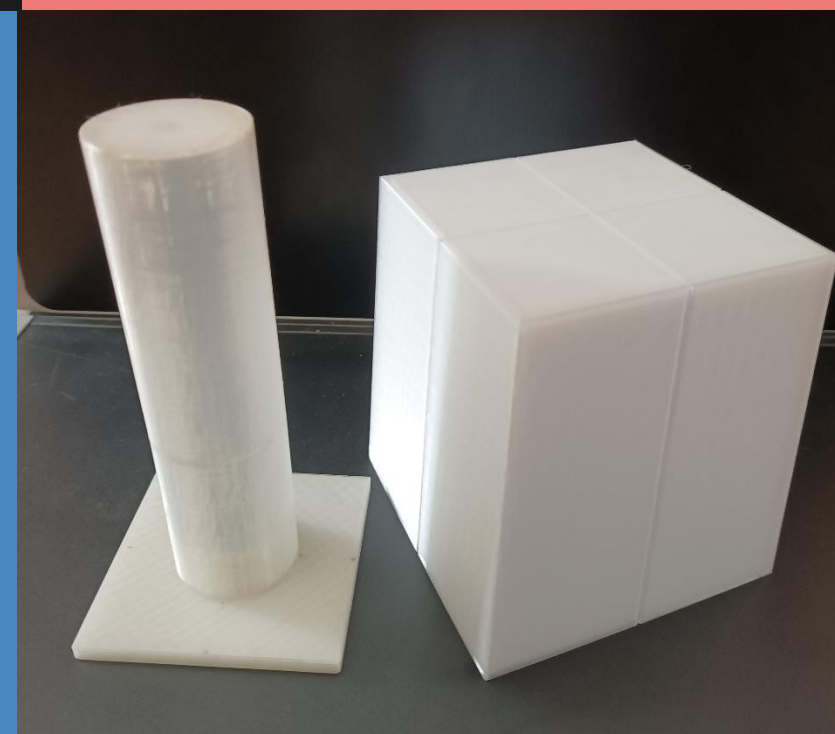
Vzorky pro testování  
vlastností materiálů v rtg  
svazcích



Různé verze 1.0 až X



Nevhodné zpracování  
materiálů



Nevhodně zvolené prvky  
degradující výsledek

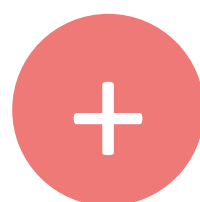


# Shrnutí

3D tisk poskytuje skvělou možnost vytvořit testovací pomůcky na míru.

Pomůcky čistě 3D tisk + kombinace s dalšími vhodnými materiály

Díky segmentaci z CT možné simulovat anatomicky přesné struktury.

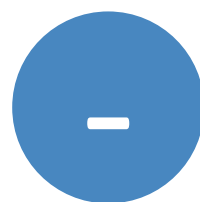


„Levná“ metoda

Mnohdy rychlejší proces získání pomůcky než v rámci standardního procesu ve zdravotnictví

Možnost tvorby přizpůsobených fantomů a pomůcek dle požadavků pracoviště

Široké spektrum použití



Návrh ≠ použitelný fantom

Komplikovaný výběr vhodných materiálů a jejich zpracování

Vhodné spíše pro relativní (srovnávací) měření než měření absolutní

Vyžaduje jistou dávku zkušeností a znalostí v oblasti 3D tisku (omezení tiskáren, volba materiálů, práce s modelovacími nástroji, atd.)





# DĚKUJI ZA POZORNOST

Oddělení lékařské fyziky a radiační ochrany



FAKULTNÍ NEMOCNICE<sup>®</sup>  
OLOMOUC