

# Biomedicínský výzkum na University of Bedfordshire

**JOSEF KOHOUT**  
BESOFT@KIV.ZCU.CZ

**CENTRUM POČÍTAČOVÉ GRAFIKY A VIZUALIZACE DAT  
KATEDRA INFORMATIKY A VÝPOČETNÍ TECHNIKY  
ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# Obsah

- post-Doc Research Fellowship
- projekty LHDL a Aneurist
- MAF – Multimod Application Framework
- vizualizace rozsáhlých volumetrických dat
- vizualizace vektorových a tenzorových polí
- detekce aneurysmat
- dekompozice svalů
- přehled dalších výsledků
- zajímavosti z UK



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

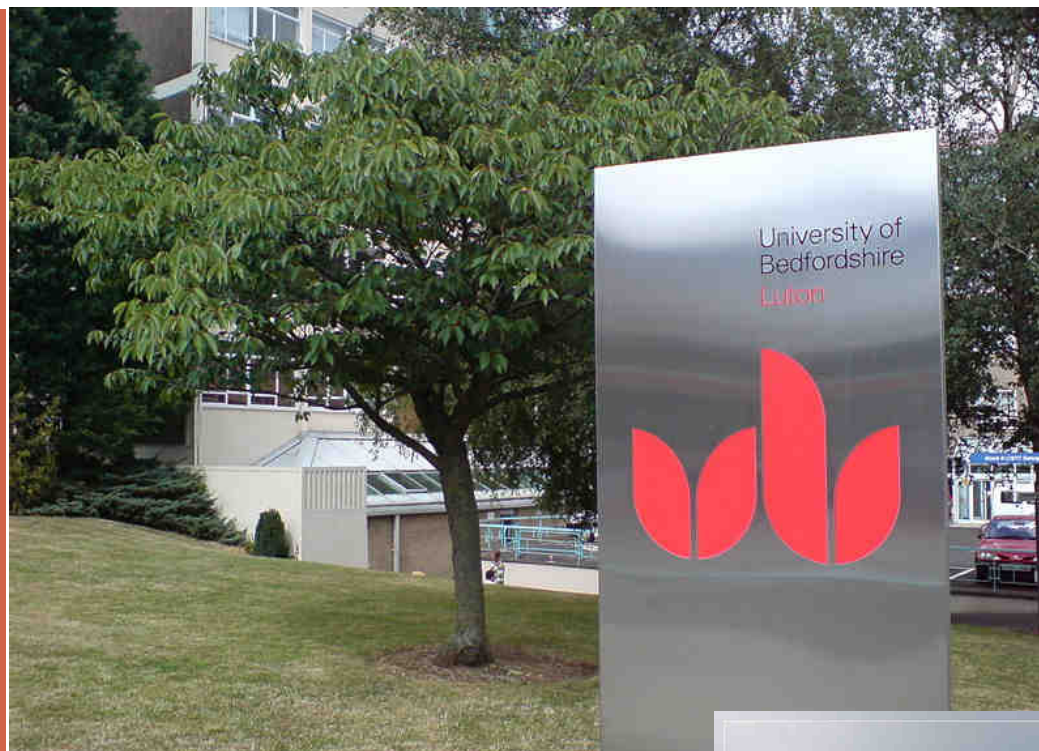
# POST-DOC RESEARCH FELLOWSHIP

Základní informace

Luton

University of  
Bedfordshire

Řešené projekty



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# Základní informace

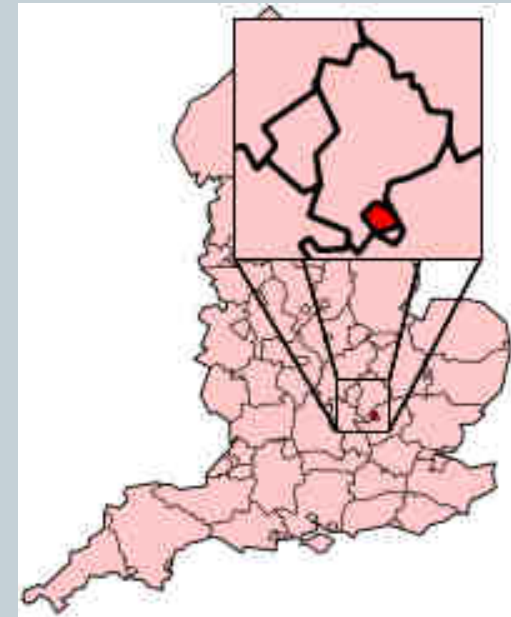
- **1.1.2008 – 30.6.2009**
  - Luton, Velká Británie
  - Post-Doc Research Fellow na University of Bedfordshire
  - práce na biomedicínských projektech v týmu prof. Gordon Clapworthy
- **7.1.2008 - 31.12.2008**
  - Full-time (35 hodin týdně a cca £30 000 ročně)
- **1.1.2009 – 30.6.2009**
  - 80% Part-time
  - 40 hodin týdně, za 3 odpracované týdny 1 volný



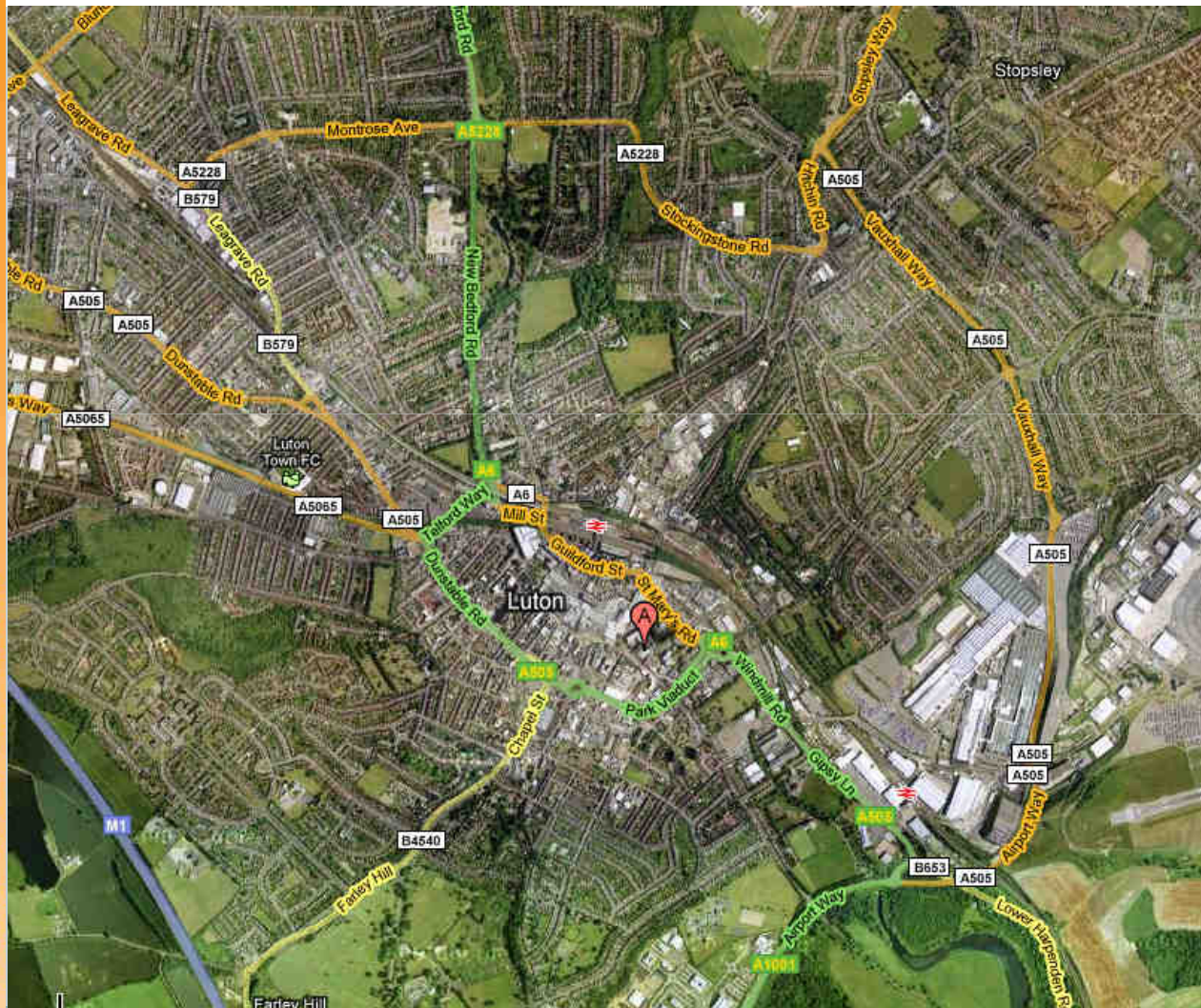
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# Luton

- 32 mil (cca 50 km) od Londýna
- 203 tisíc obyvatel (dle sčítání v r. 2006)
- cca 70% bílí (61% britů), 22% žlutí, 8% černí
- Pákistán (10%),  
Bangladéž (4%),  
Indie (4%), Poláci, Slováci
- průmyslové město
- dopravní křižovatka
  - London Luton Airport



# Luton



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# Luton



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# Luton



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

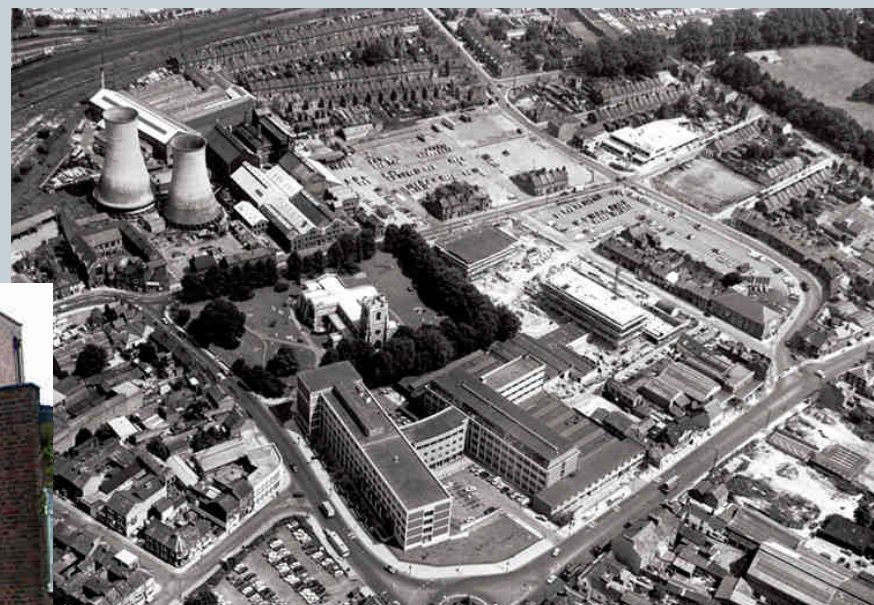


# Luton



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# University of Bedfordshire



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# University of Bedfordshire

- **mladá univerzita**
  - vznik v srpnu 2006 sloučením University of Luton a De Montfort University
  - University of Luton vznikla v roce 1993 transformací z bývalé „Luton College of Higher Education“ (založena roku 1882)
- **rychle se rozvíjející**
  - £134 miliónů investováno od roku 2005
- **důraz na výzkum**
  - v roce 2008 označena RAE za výzkumnou univerzitu celosvětového významu



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# University of Bedfordshire

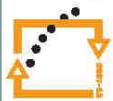
- 15 tisíc studentů (12 tisíc undergraduate)
- 4 fakulty
  - Faculty of Creative Arts, Technologies & Science
    - ✦ *Department of Computing & Information Systems*
  - Faculty of Education & Sport
  - Bedfordshire Business School
  - Faculty of Health & Social Sciences



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# University of Bedfordshire

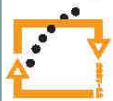
- 8 výzkumných center napříč fakultami
  - Institute of Research in Applied Natural Sciences
  - *Institute for Research in Applicable Computing (IRAC)*
  - Research Institute for Media, Art and Design
  - Institute for Health Research
  - Institute of Applied Social Research
  - Business and Management Research Institute
  - Institute for Research in Education
  - Institute for Sport and Physical Activity Research



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# University of Bedfordshire

- **prof. Gordon Clapworthy**
  - vedoucí skupiny „počítačové grafiky“
  - 1 brit, 1 čech, 1 slovinec (krátce), 1 turek, 6-7 číňanů
  - část specializovaná na vizualizace, část na webservices, část na zpracování obrazu
  - dlouhodobě 3-4 paralelně běžící EU projekty zaměřené na modelování a vizualizaci biomedicínských dat (vzájemně se doplňují)



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# Přehled EU projektů

- **ConcraCancrum, 2008-2011**
  - FP7 menší projekt, výzkum simulace rakoviny
- **VPH2, 2008-2011**
  - FP7 středně velký projekt, oblast kardiologie
- **VPHOP, 2008-2012**
  - FP7 větší projekt, problematika osteoporózy, pokračovatel projektu LHDL
- **Aneurist, 2006-2009**
  - FP6 větší projekt, problematika aneurysmů
- **LHDL, 2006-2009**
  - FP6 menší projekt (STREP), muskuloskeletární model, oblast ortopedie



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

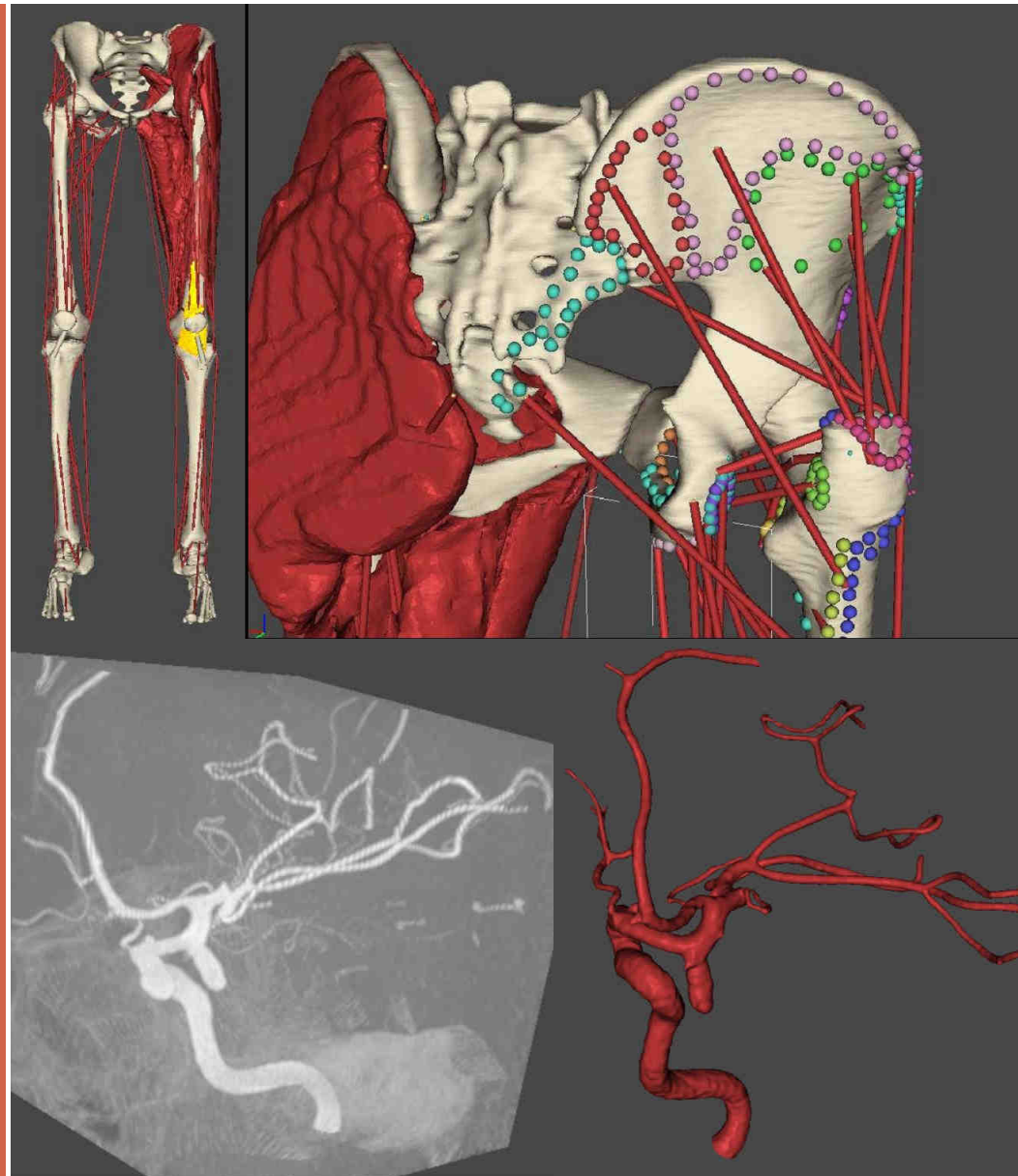
# PROJEKTY LHDL & ANEURIST

## LHDL

charakteristika  
cíle projektu

## AneurIST

charakteristika  
cíle projektu



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



# LHDL

- EU projekt FP6 (02/2006 – 01/2009)
- 5 partnerů
  - CINECA, Itálie (komerční subjekt)
    - ✦ koordinátor)
  - IOR, Itálie (ortopedický ústav)
    - ✦ modelování a simulace
  - Universite de Libre, Belgie
    - ✦ sběr dat od pacientů a jejich zpracování
  - University of Bedfordshire, UK
    - ✦ vizualizace a modelování
  - Open University, UK
    - ✦ partner do počtu :-)



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# LHDL

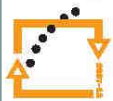
- aplikovaný výzkum
  - tvorba muskuloskeletárního modelu pro stanovení rizik spojenými s ortopedickými problémy / zákroky (např. náhrada kyčle)
  - výstupem databáze vzorků, muskuloskeletární model, software pro manipulaci, zpracování a vizualizaci dat
  - úkoly výzkumného charakteru (často jen kombinace známých přístupů) i úkoly ryze implementačního charakteru



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# AneurIST

- EU projekt FP6 (01/2006 – 03/2010)
- velký projekt
  - 28 institucí (univerzity, profesní odborníci, firmy)
    - ✦ Universitat Pompeu Fabra, Španělsko
      - koordinátor
    - ✦ Université de Genève, Švýcarsko; The University of Sheffield, UK; Hospital General de Catalunya, SP; ...
      - příprava dat od pacientů
    - ✦ University of Bedfordshire
      - modelování aneurysmů, vizualizace
    - ✦ ANSYS Europe Ltd, NEC Europe Ltd; ...
      - licence simulačních softwarů, provozování sítě
    - ✦ ...



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# AneurIST

- projekt zaměřen na problematiku aneurysmat
- aneurysma = výduť na cévě v mozku
  - vzniká dlouhodobým tlakem krve na stěnu cévy
  - výduť může prasknout
  - prasknutí vede často k smrti
- ohrožení
  - statisticky: 1%
  - zejména pak lidé
    - ✦ s vysokým krevním tlakem
    - ✦ starší lidé



# AneurIST

- projekt členěn na několik podprojektů
  - aneuLink
    - ✦ sběr dat, výzkum v oblasti genetických indispozicí
  - aneuRisk
    - ✦ kalkulace rizik ruptury aneurysmů na základě dalších lékařských informací (krevní tlak, životospráva, velikost nalezených aneurysmat) a kalkulace rizik léčby
  - aneuEndo
    - ✦ simulace lékařských zákroků
  - aneuFuse
    - ✦ vizualizace dat, modifikace dat, měření, atd., zajištění sdílení dat mezi uživateli (přes síť)
    - ✦ University of Bedfordshire (jen část)



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# AneurIST

- opět aplikovaný výzkum
  - úkoly výzkumného charakteru (často jen kombinace známých přístupů) i úkoly ryze implementačního charakteru
  - výstupem software pro vizualizaci dat v nejrůznějších formátech (volume, povrch, řezy, mesh), vizualizace vektorových polí, segmentaci dat (GAR), transformaci mezi formáty, úpravu dat (vyhlazení, zalepování děr), kalkulaci skeletonu cév, vizualizace „stentu“ (lékařská drenáž), detekci a uložení aneurysmat



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# MAF

Stručný popis

Architektura

VMEs

Views

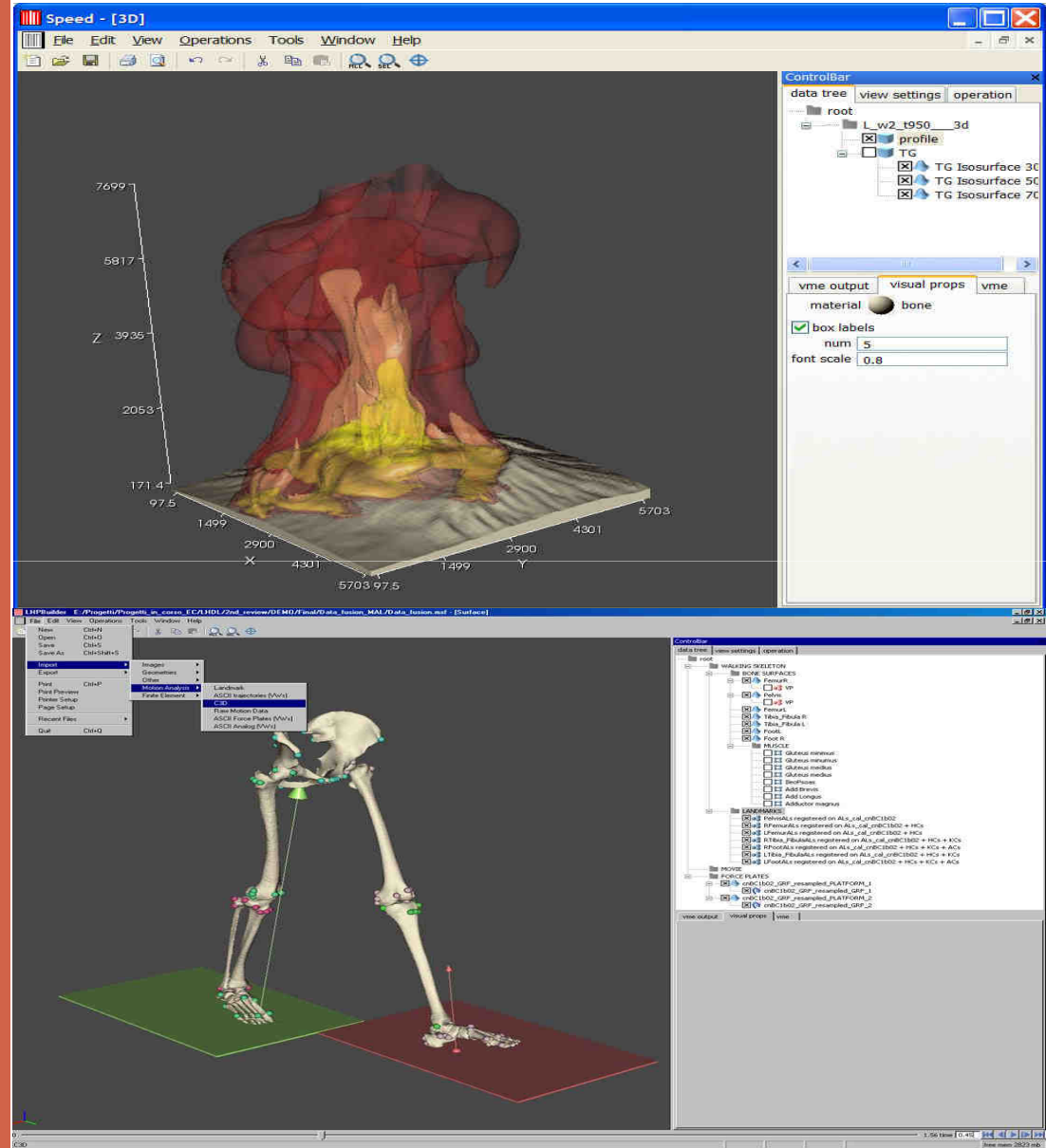
Operations

Interactions

Srovnání s MVE2



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



# Stručný popis

- MAF – Multimod Application Framework
  - <http://www.openmaf.org>
  - C++ framework pro rapidní vývoj vizualizačních aplikací
  - crossplatform (Windows, Linux)
- založeno na VTK (Kitware Inc.)
- integruje další specializační knihovny
  - wxWidget, ITK, Crypto++, XerxesC, Curl

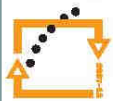


INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

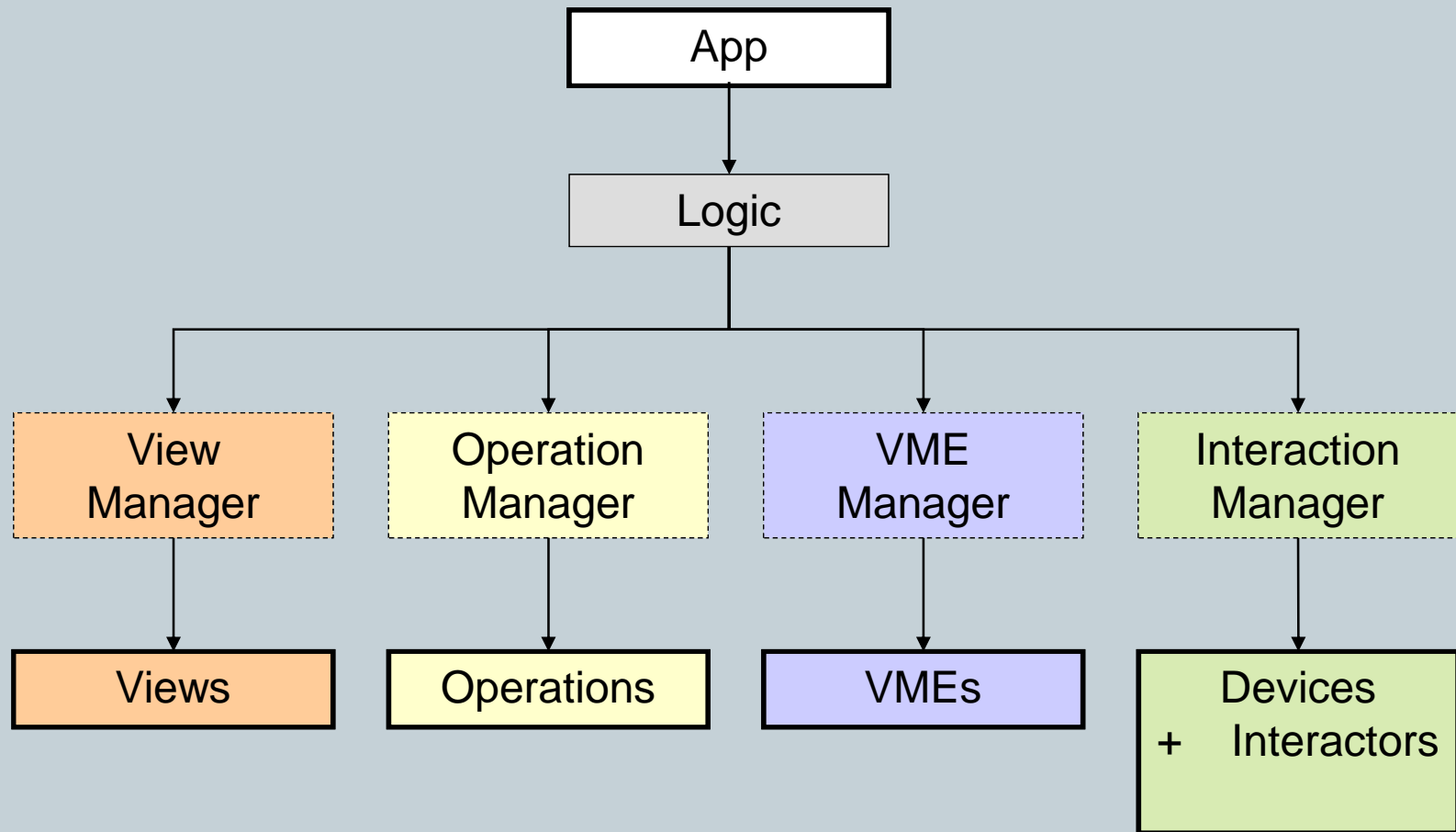


# Stručný popis

- **MAF verze 1.0**
  - vyvinuto v rámci EU FP5 projektu
  - pouze pro biomedicínské aplikace
- **MAF verze 2.2**
  - současná verze
  - opensource (od verze 2.0)
  - vyvinuto v rámci EU FP6 projektu LHDL
  - komplexnost, určeno pro obecné aplikace
- **MAF verze 3.0**
  - ve vývoji
  - návrh od října 2008
  - cíl: zjednodušení, lepší podpora časově proměnných dat a multiscale dat, lepší využití současného HW



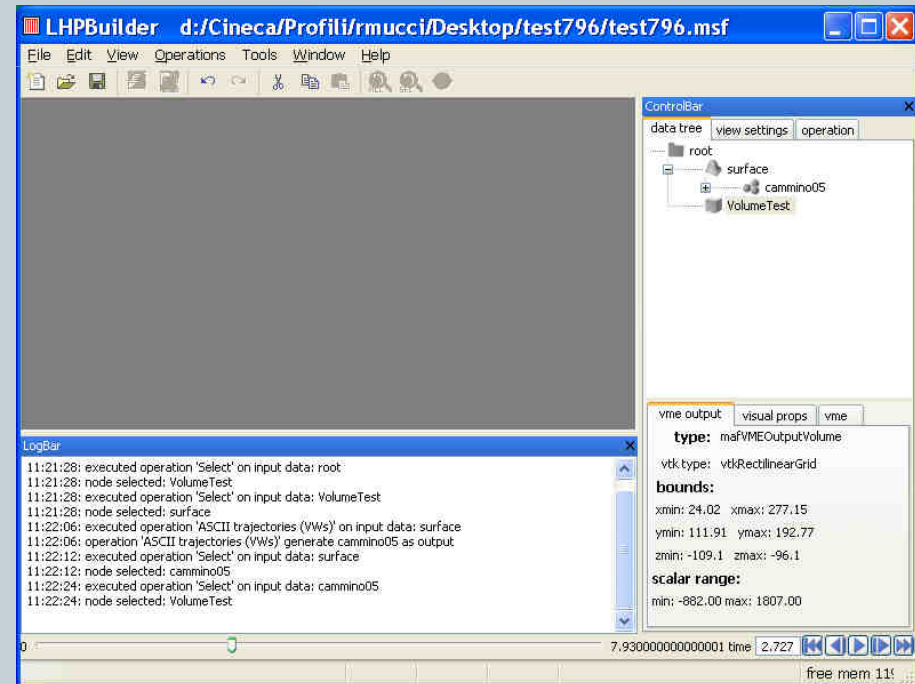
# Architektura



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# Architektura

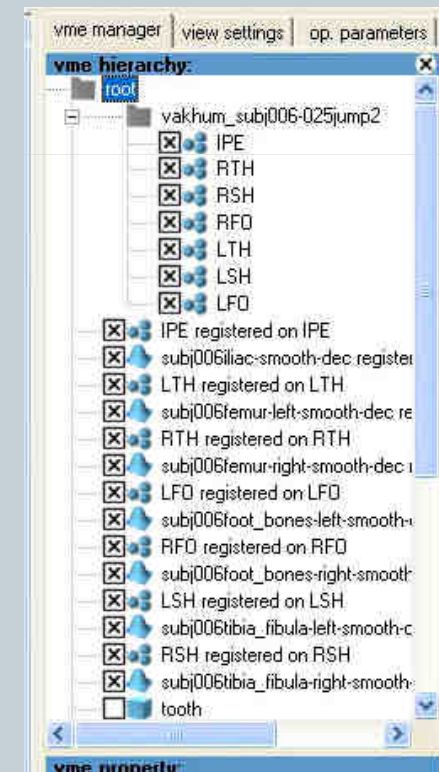
- App
  - vytváří hlavní okno aplikace
  - registruje VMEs, Views a Operations používané v aplikaci
  - vytváří instanci Logic
- Logic
  - vytváří menu, panel nástrojů, postranní okna, ovladač času, apod.
  - vytváří instance všech managerů
  - obsluhuje události



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

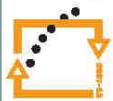
# VMEs

- zapouzdřují data a základní atributy
- mohou být procedurální
- více než 20 VME
  - volumetrická data
  - povrchová (polygonální) data
  - mesh (FEM síť)
  - landmarks (body)
  - polyline
  - obrázek, řez daty (slice)
  - ...
- hierarchicky seskupeny



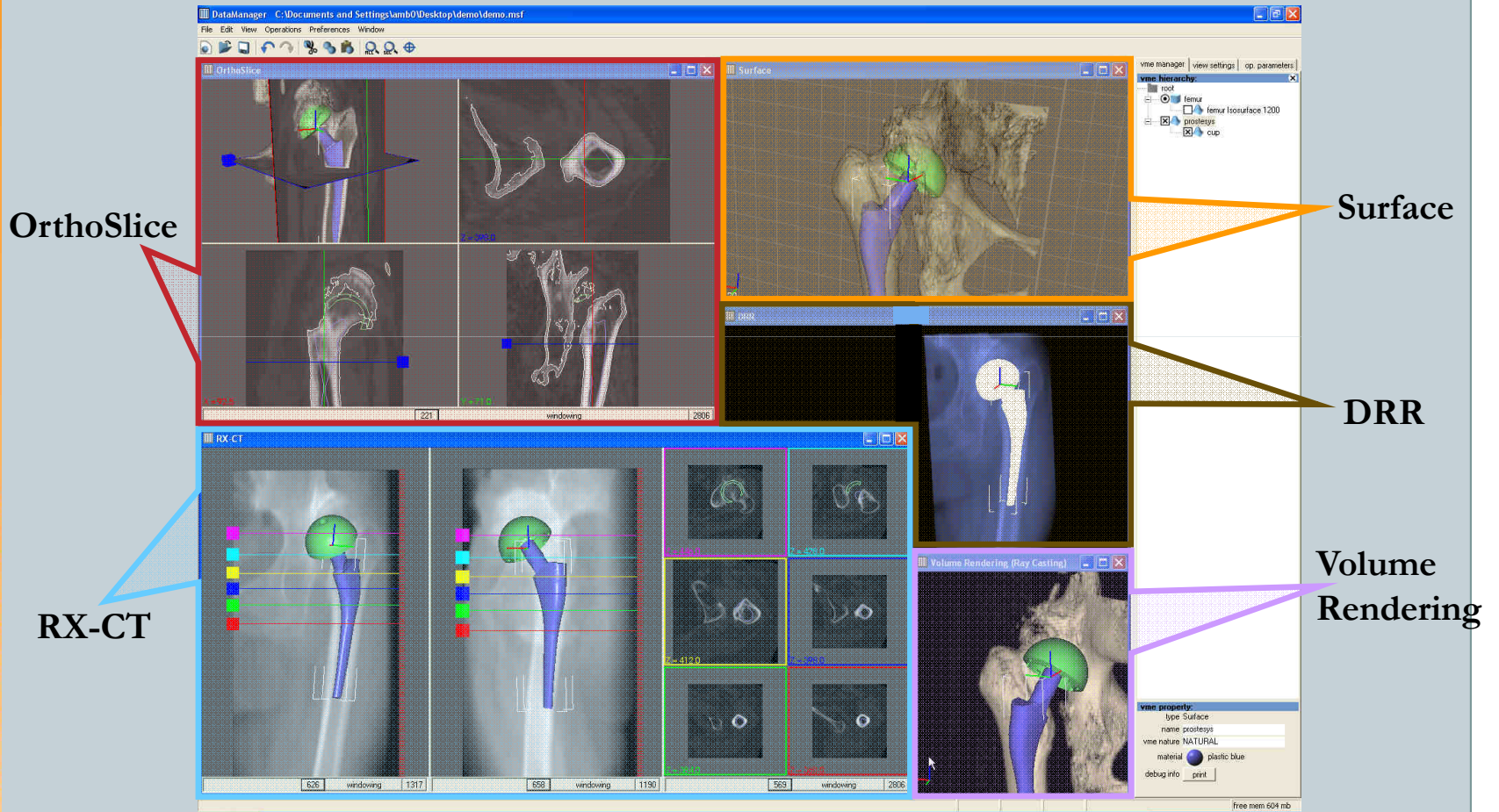
# Views

- poskytují náhledy na vybraná VMEs prostřednictvím tzv. visual pipes
- více než 30 visual pipes
  - pro volumetrická data: iso-surface, VR, MIP, DRR, obecný řez, ...
  - pro FEM sítě: povrchové zobrazení, obecný řez, transparentní obarvení, streamlines
- jedno okno může obsahovat více náhledů
- náhled nemusí být statický



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# Views



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# Operations

- provádějí manipulaci s VME
- více než 60 operací na úrovni MAF a stovky operací na úrovni aplikací
  - import a export dat
    - ✦ podpora nejrůznějších formátů: RAW, ANSYS, DICOM, BMP, JPG, PNG, VTK, ...
  - transformace dat
    - ✦ volumetrická → povrchová (segmentace - GAR), povrchová → polyline (detekce skeletonu, řezání), ...
  - úprava dat
    - ✦ ořezávání, vyhlazení, zalepení děr, ...
  - měření na datech



# Interactions

- reakce na vstup od uživatele
- podpora různých zařízení
  - myš, klávesnice, headtracker, ...



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



# Srovnání s MVE2

- **MAF**
  - početný tým zodpovědný za jeho vývoj (min 15)
  - mzdové finanční prostředky (z projektů EU)
  - finanční prostředky pro propagaci
  - vývoj řízen poptávkou z průmyslu (klinická centra z celého světa)
- **MVE2**
  - vývoj v rámci volného času
  - propagace na domácích stránkách
  - vývoj řízen stylem „co by bylo dobré tam mít“



# Srovnání s MVE2

- **MAF**
  - velké množství „modulů“
  - rozsáhlý kód (4 hod. na překlad LHDL aplikace)
  - programování nových modulů obtížné pro začátečníky (těžká orientace)
  - uživatel dostane pevnou procesní pipeline
- **MVE2**
  - omezené množství modulů
  - distribuce v binární podobě
  - programování nových modulů snadné (rozhraní)
  - uživatel si procesní pipeline sám vytváří



# VIZUALIZACE ROZSÁHLÝCH VOL. DAT

Motivace

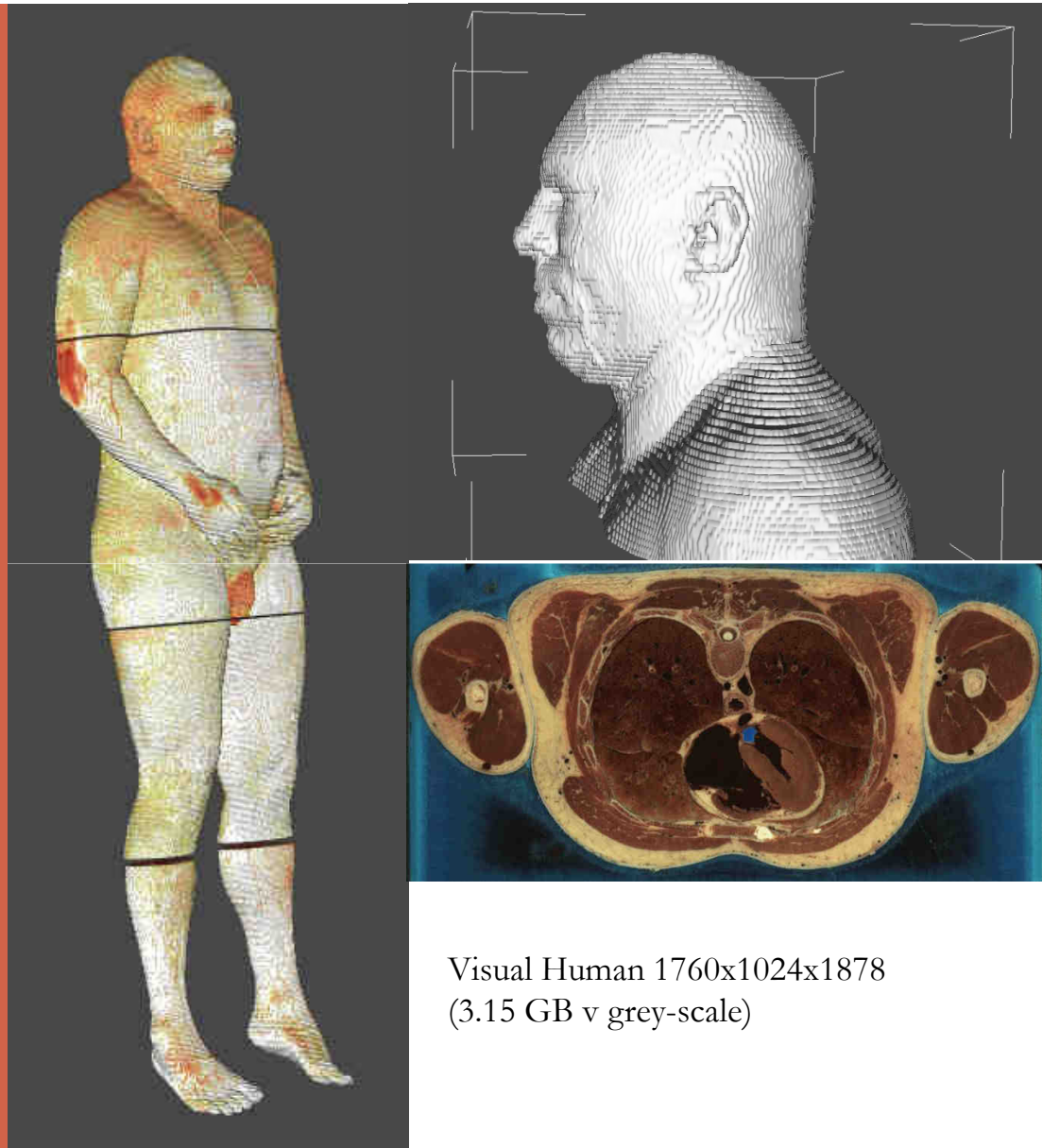
Existující řešení

Vizualizační systémy

Navržené řešení

multiresolution  
bricking  
fast-compression

Výsledky



Visual Human 1760x1024x1878  
(3.15 GB v grey-scale)



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# Motivace

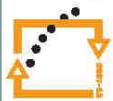
- vizualizace zjednodušuje pochopení dat
- volumetrická data mohou být veliká
  - vyšší rozlišení snímacích zařízení
  - nelze umístit do operační paměti (32 bit)
    - ✦ často díky fragmentaci paměti
  - nelze zpracovat v interaktivním čase
- Visual Human male data
  - $1760 \times 1024 \times 1878$  voxelů (3.15 GB)
- typická IOR data = 350 MB



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# Existující řešení

- zobrazování velkých volumetrických dat
  - multi-resolution (hierarchické struktury)
    - ✦ LaMar et al. 1999, Parker et al. 1998
  - komprese (wavelets)
    - ✦ Strengert et al. 2005
  - distribuované zpracování
    - ✦ Castanie et al. 2006, Parker et al. 1998
  - data-stream techniky
    - ✦ Ahrens et al. 2001



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

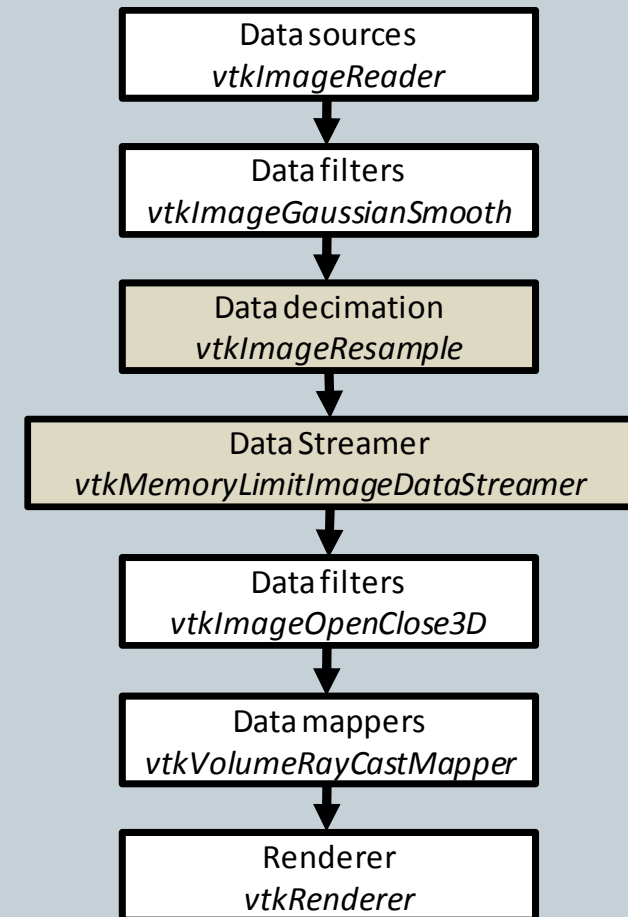
# Vizualizační systémy

- určeny nejen pro zobrazování vol. dat
  - různá data, souběžné zobrazování dat, interakce
  - filtrování dat, transformace, různé vizualizační metody (MIP, DRR, iso-surface)
- často založené na principu „data-flow“
  - data načtena v paměti a předávána mezi moduly
  - integrace práce s velkými daty obtížná
    - ✦ načtení dat a jejich zobrazení jsou nezávislé
    - ✦ typické řešení = data-stream technika
  - VTK, MAF, MayaVi, 3D Slicer, OsiriX, (MVE2)



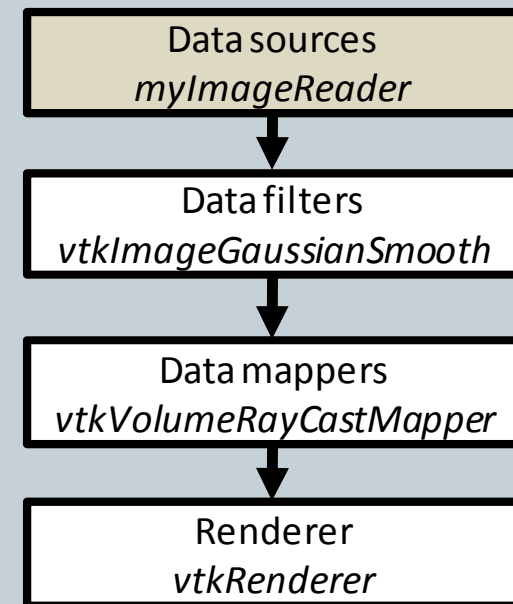
# Vizualizační systémy

- data-stream technika
  - vhodné pro obecné zpracování dat
  - podporováno VTK
  - neefektivní (nutnost číst všechna data)



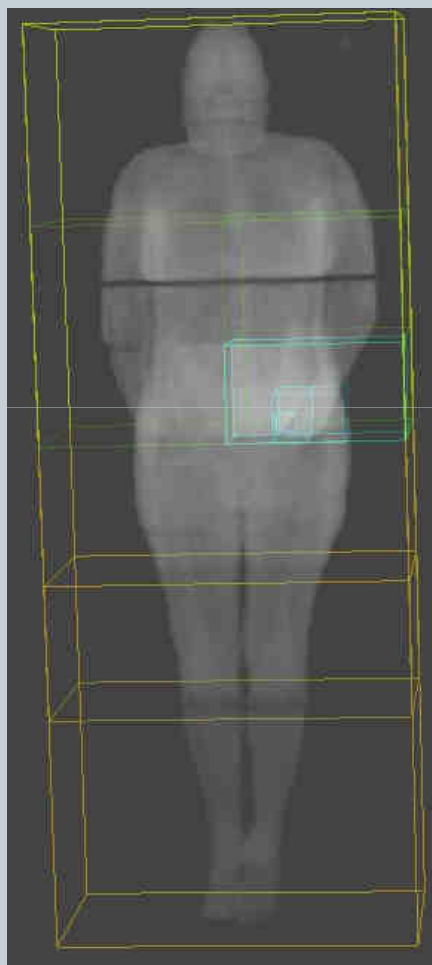
# Navržené řešení

- uživatel specifikuje oblast zájmu (ROI)
  - vizuální prozkoumávání dat
- data v ROI poskytnuta v rozlišení vyhovující paměťovým omezením





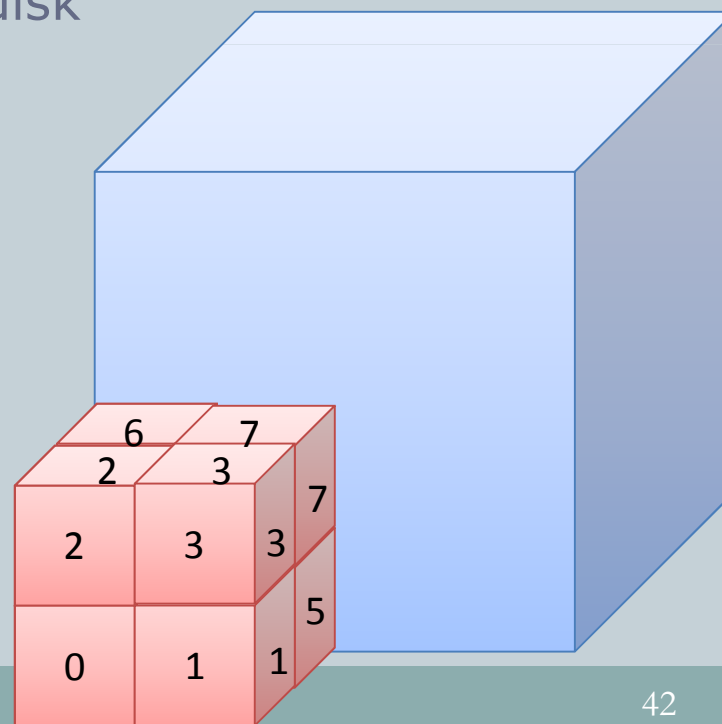
# Navržené řešení



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

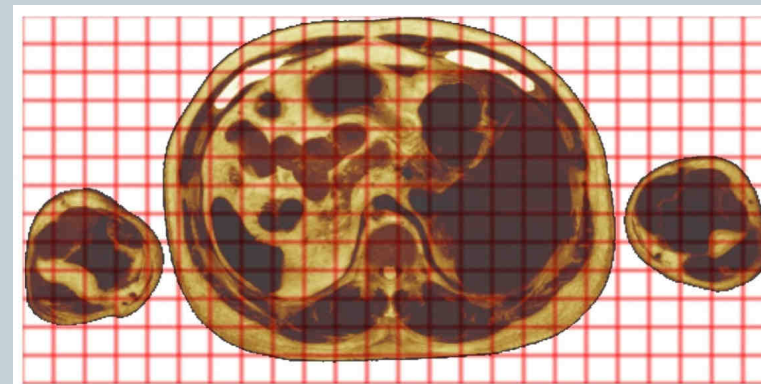
# Navržené řešení

- kombinace více technik
  - multi-resolution, bricking, fast-compression
- multi-resolution
  - jednotlivé úrovně vytvořeny podvzorkováním během pre-processingu a uloženy na disk
- bricking
  - vzorky ukládány v nelineárním pořadí
    - ✦ seskupování do cihel



# Navržené řešení

- fast-compression
  - vzorky uniformních cihliček (obsahují vzorky téže intenzity) nejsou ukládány
  - časté pro medicínská data (vzduch)
- diskové nároky
  - maximálně 1.2x
  - reálné diskové nároky menší
    - ✦ zejména jsou-li data již zbaveny šumu



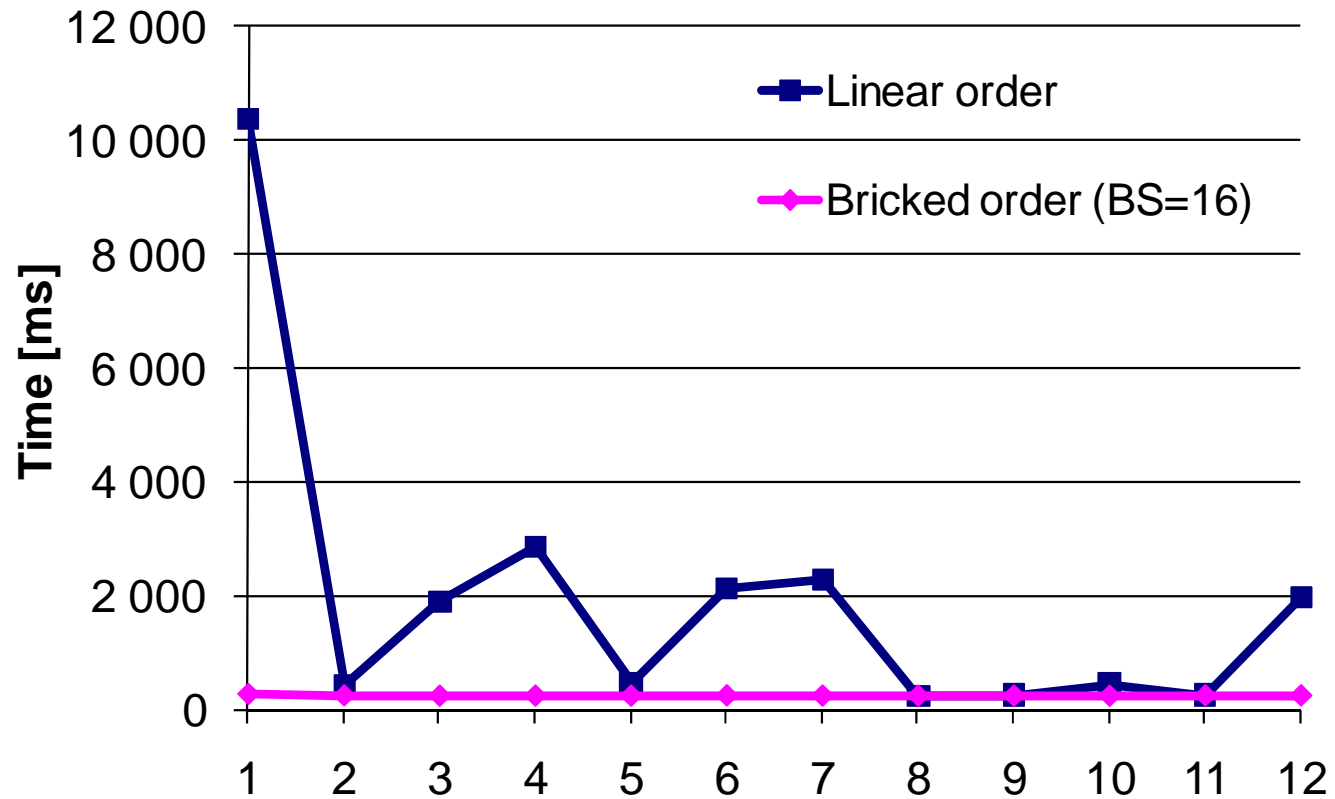
# Navržené řešení

<b>Model</b>	<b>Velikost před / po kompresi [MB]</b>	<b>Komprese [%]</b>	<b>Úrovní</b>	<b>t [s]</b>
VH_Female	12317 / 3115	25.29	32	1886.61
VH_Female (part 1)	8194 / 2696	32.90	32	1230.11
VH_Female (part 2)	4097 / 1201	29.30	16	495.93
VH_Male	3228 / 1205	37.32	16	393.40
Xmas_tree	250 / 261	104.56	8	27.61
Bunny	181 / 181	100.46	8	19.89



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# Výsledky

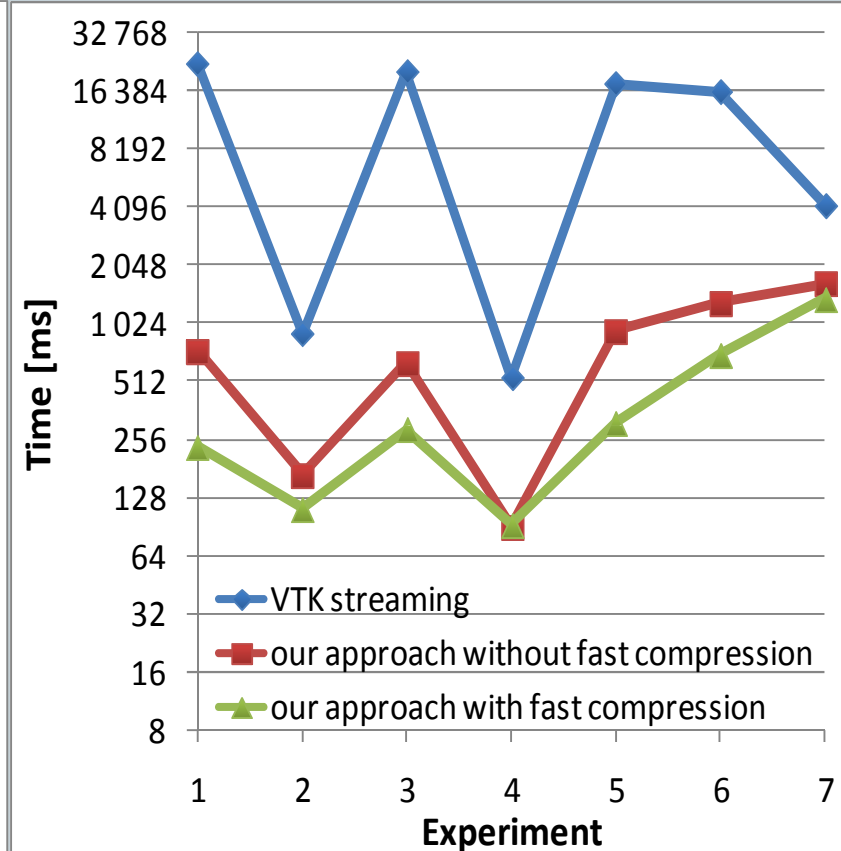
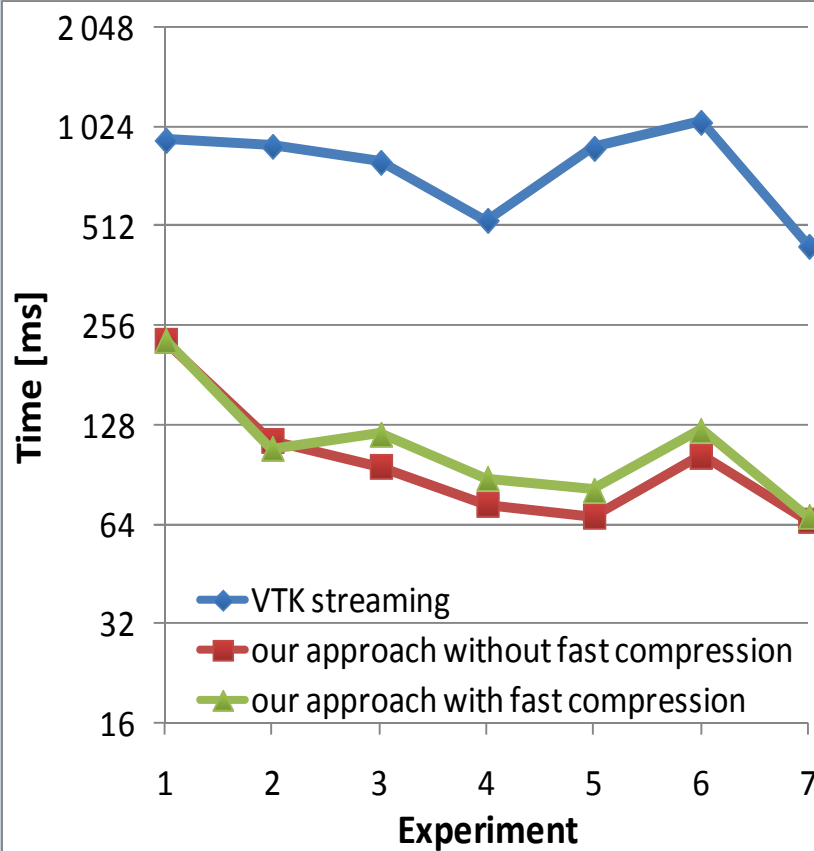


Načtení 12 různých ROI 400×400×400 v nejvyšším rozlišení (bez fast-compression)  
AMD Athlon 2.8 GHz, 512 MB RAM, HDD 60GB (4200rpm), WinXP



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# Výsledky

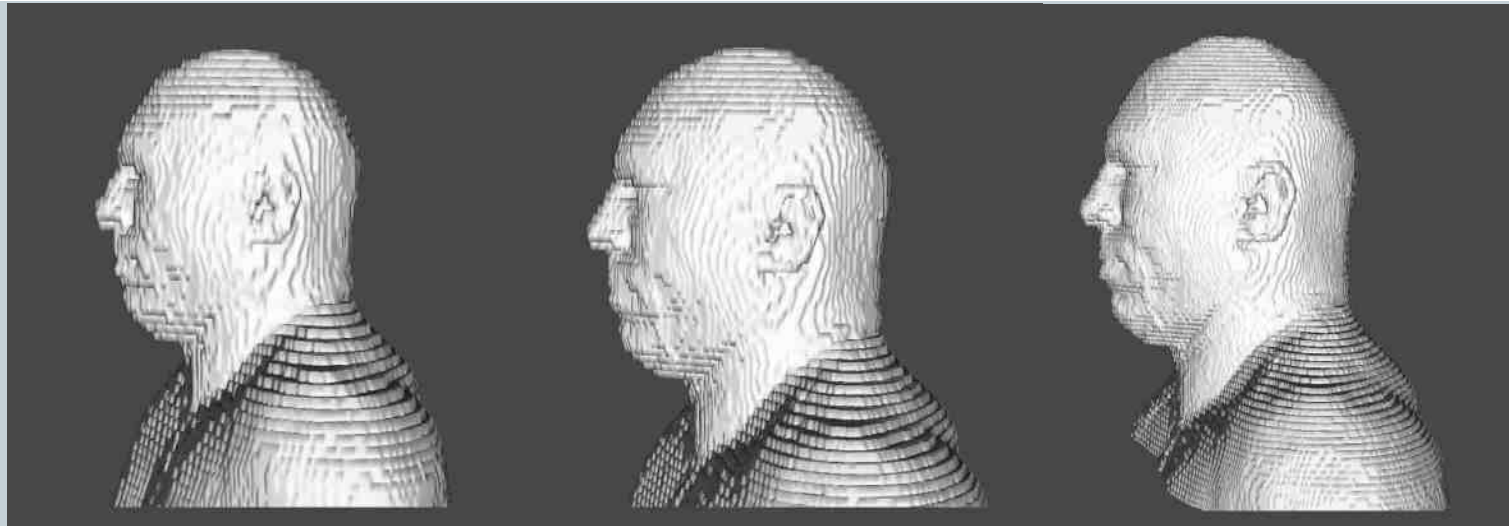


Prohlížení VH data v 7 ROI - min and max čas pro poskytnutí dat  
2x Intel Xeon 3.4 GHz, 2 GB RAM, 2x HDD 137 GB SCSI (10 000rpm), WinXP



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# Výsledky



paměť 8MB, rozlišení: 8:1, 6:1, 4:1



real-time, memory limit 4MB



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# Výsledky

- Agrawal A, Kohout J, Clapworthy GJ, McFarlane NJB, Dong F, Viceconti M, Taddei F, Testi D. Enabling the Interactive Display of Large Medical Volume Datasets by Multiresolution Bricking. The Journal of Supercomputing 2009, Springer Netherlands; ; ISSN: 0920-8542; IF(2007): 0.246 – *in print, currently available online*
- Agrawal A, Kohout J, Clapworthy GJ, McFarlane NJB, Dong F, Viceconti M, Taddei F, Testi D. Interactive Out-of-Core Exploration of Large Volume Datasets in VTK-Based Visualisation Systems. In: Proceedings of EG UK Theory and Practice of Computer Graphics (TP.CG. 2008), June 9-11, 2008, Manchester, UK, p. 1-8
- Agrawal A, Kohout J, Clapworthy GJ, McFarlane NJB, Dong F, Viceconti M, Taddei F, Testi D. Adapting the Storage of Large Medical Datasets to Enable Interactive Display. In: Proceeding of International Conference on Computer Graphics & Virtual Reality (CGVR'08), July 14-17, 2008, Las Vegas, Nevada, USA



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



# VIZUALIZACE V & T POLÍ

Motivace

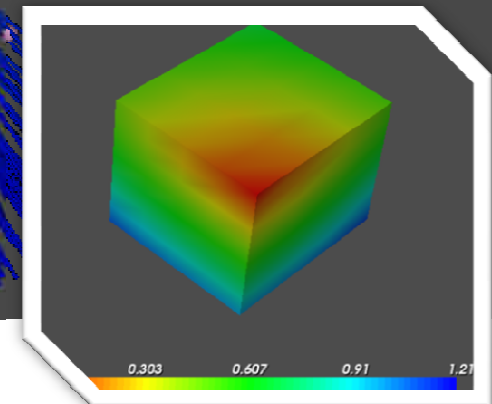
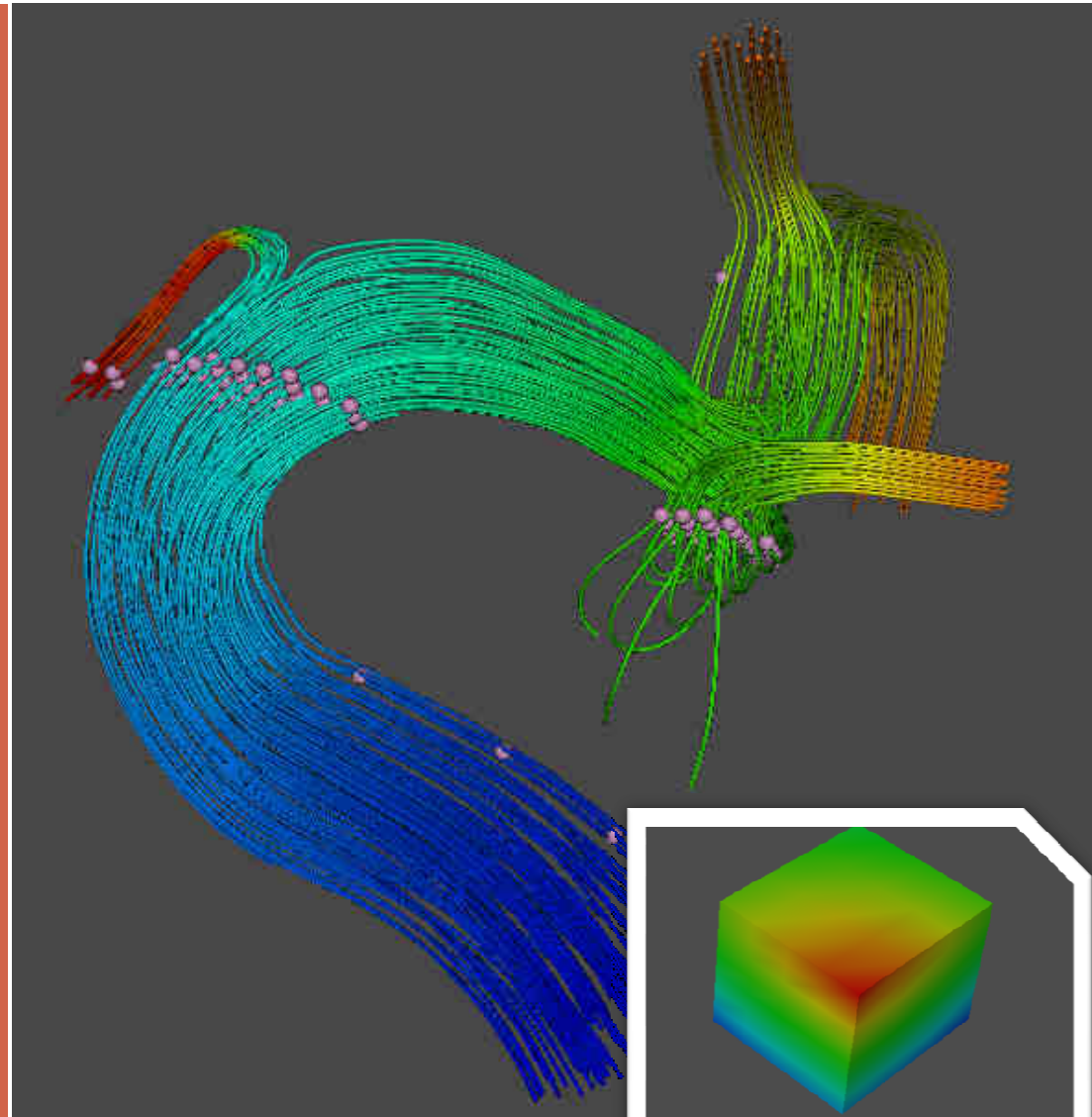
Použité techniky

Obarvování

Glyphs

Streamlines

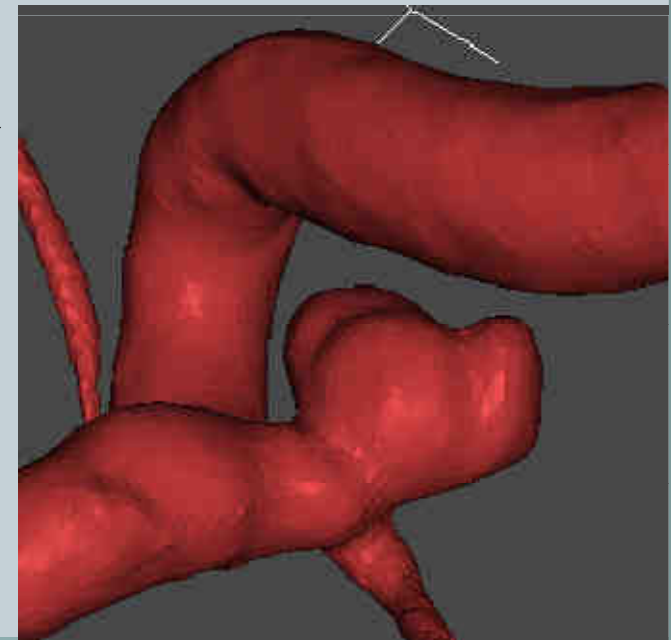
Výsledky



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# Motivace

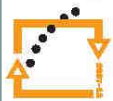
- vzorky asociovány s dalšími informacemi
  - tlak, směr a rychlost proudění krve, stress-strain charakteristika
  - lepší pochopení problému
    - ✦ analýza vzniku aneurysma
    - ✦ stanovení rizika ruptury
    - ✦ zátěžová charakteristika kostí
    - ✦ riziko zlomeniny
    - ✦ detekce neočekávaných operačních komplikací



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# Použité techniky

- vektorová pole
  - obarvení vzorků dle hodnot komponent vektorů, magnitudy vektorů, apod.
    - ✦ možné obarvení jen některých vzorků (povrch, řez)
  - zobrazení glyphů (objektů) v místě vzorků
    - ✦ typ glyphu, velikost, barva, orientace závisí na velikosti a směru vektoru
  - zobrazení streamlines, tj. křivek trajektorií částic



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# Použité techniky

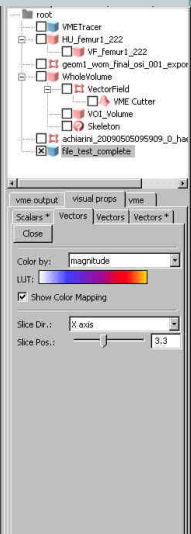
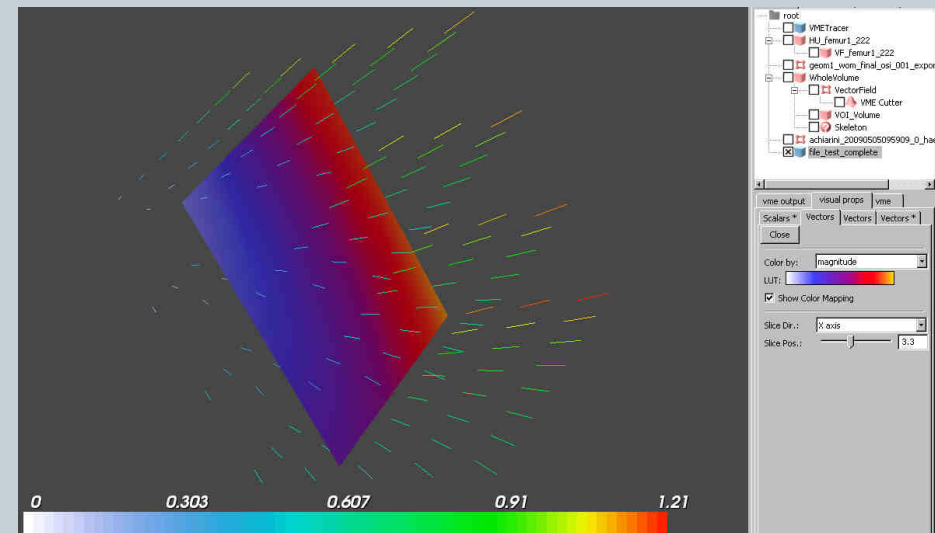
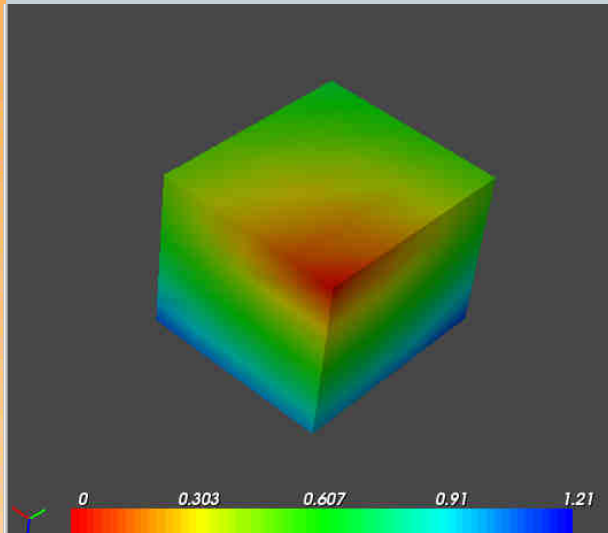
- tenzorová pole
  - obarvení vzorků dle hodnot komponent vektorů, resp. magnitudy vektorů
    - ✦ možné obarvení jen některých vzorků (povrch, řez)
  - zobrazení glyphů (objektů) v místě vzorků
    - ✦ typ glyphu, velikost, barva, orientace závisí na hodnotách tenzoru (případně jeho vlastních čísel)



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

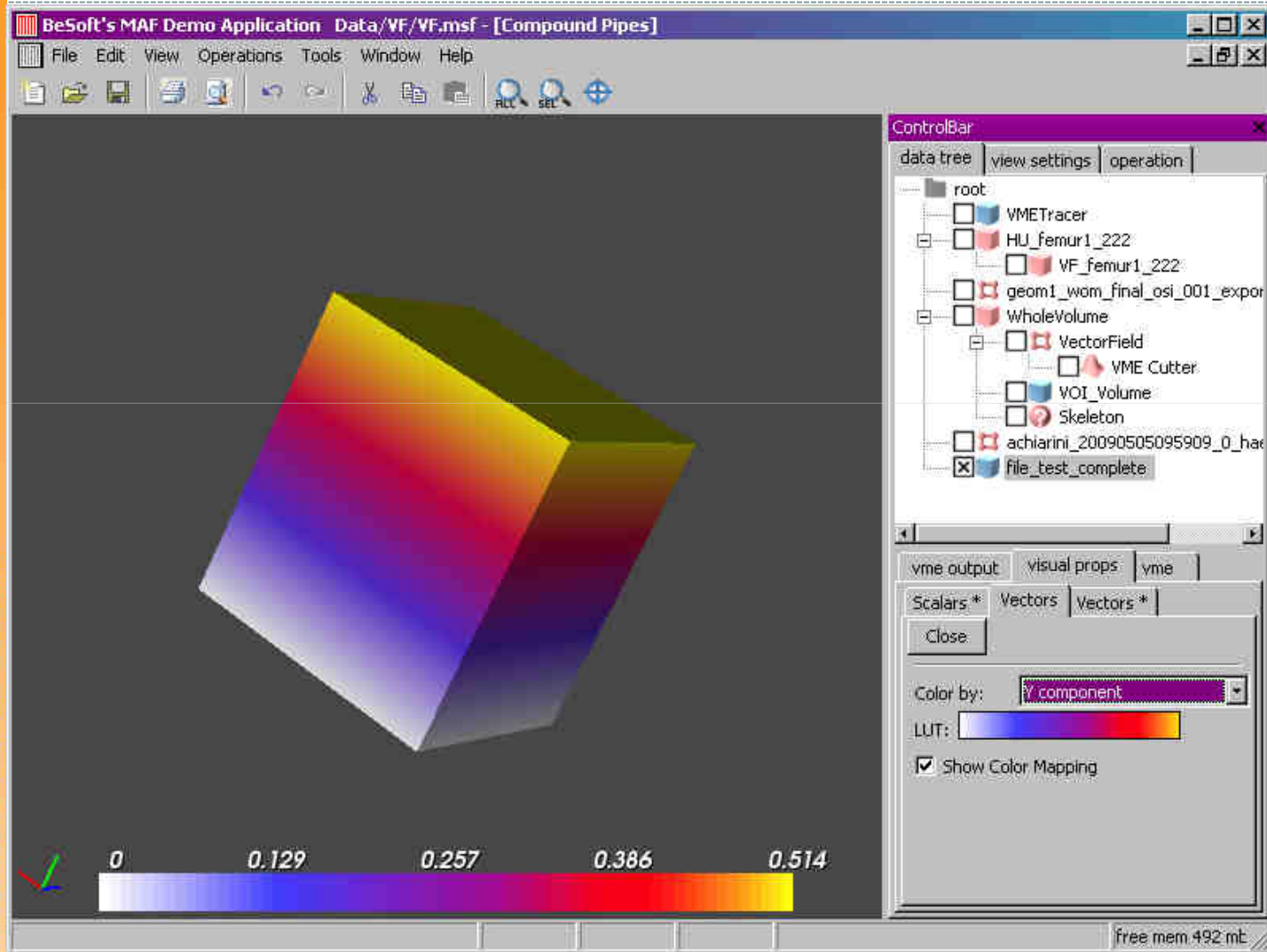
# Obarvování

- mapování hodnoty vybrané komponenty vektoru (resp. magnitudy vektoru) na zvolenou paletu barev
- obarvení aplikováno na povrch dat (pro FEM síť) nebo řez (obecně volený)



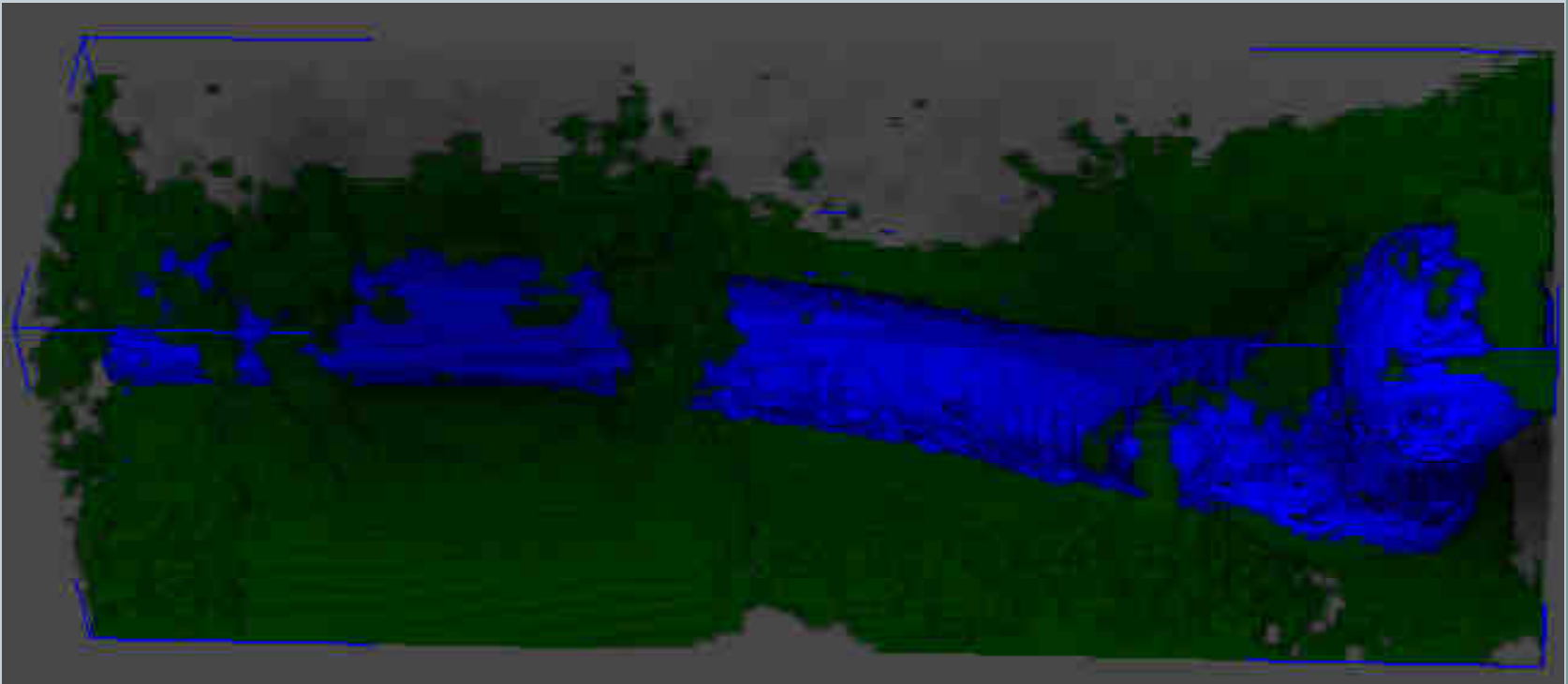
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# Obarvování



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# Obarvování



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# Obarvování

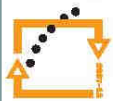
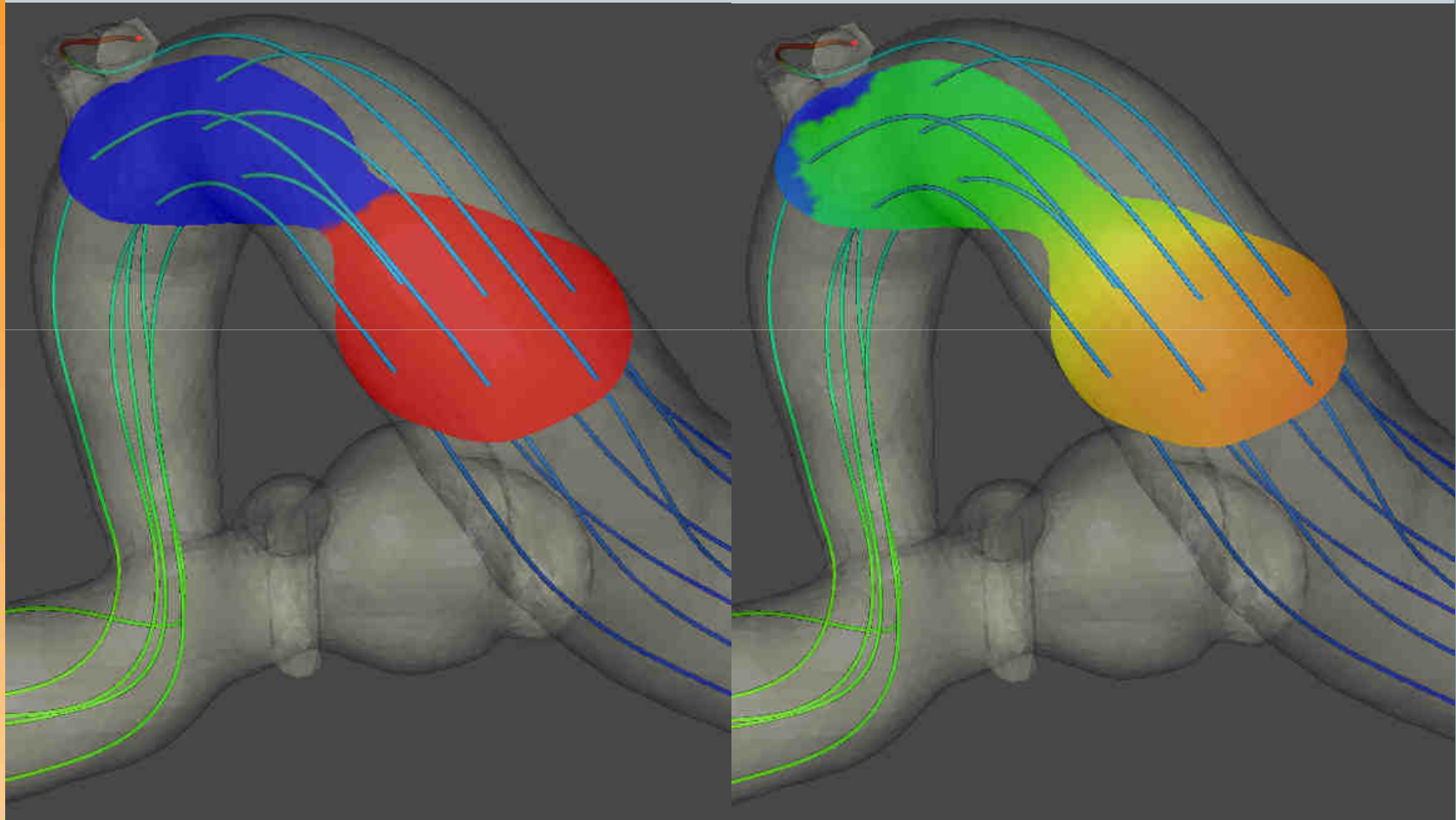
- Dopplerův efekt: obarvení podle úhlu sevřeného mezi daným vektorem a vektorem ve vzorku
- obarvení aplikováno na řez
  - binární: přivrácený vs. odvrácený
  - plné barvy: model HSV



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



# Obarvování



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

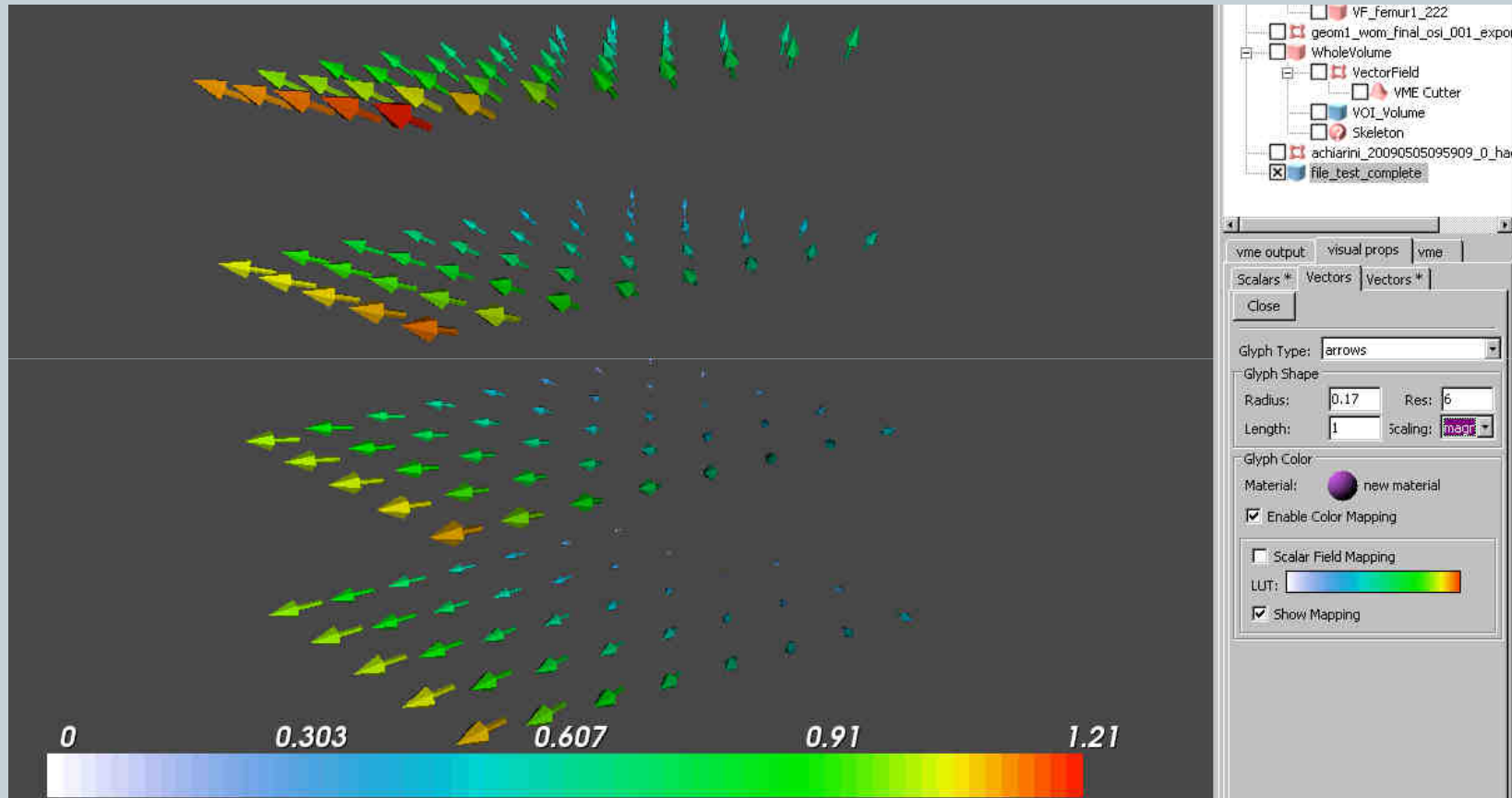
# Glyphs

- vektorová pole: čáry, šipky, válce, kužely
  - orientace odpovídá směru vektoru
  - velikost magnitudě vektoru (volitelné)
- tenzorová pole  $3 \times 3$ : elipsoidy
  - velikost poloos dána vlastními čísly tensoru
- obarvení podle magnitudy nebo dle hodnoty v jiném skalárním poli (např. poli teplot, tlaku, atd.)



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# Glyphs



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# Streamlines

- křivky trajektorií částic
- nutno specifikovat startovní body
  - málo bodů = nedostatečně vystihuje chování
  - mnoho bodů = vysoké časové i paměťové nároky, nepřehledné pro uživatele
  - VTK praxe: pro téměř interaktivní odezvy musí být bodů maximálně 5000
  - jak je volit?



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

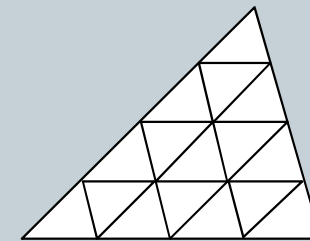
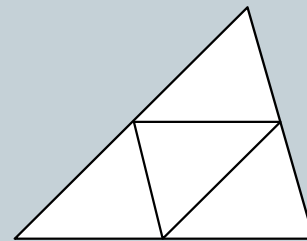
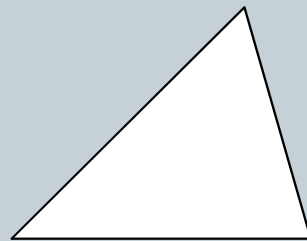
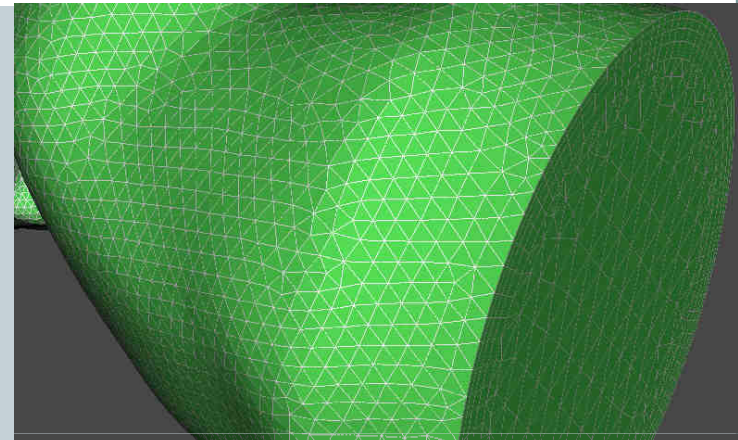
# Streamlines

- FEM síť (typická data)

- najdi povrch ( $\Delta$  síť)
- pro každý trojúhelník

- ✦ spočti jeho normálu  $n$  a průměrný vektor  $u$  z vektorů v jeho vrcholech

- ✦ je-li úhel mezi  $n$  a  $u$  v intervalu  $175 - 185^\circ$ , použij „subdivision“ techniku pro vygenerování startovacích bodů pro tento trojúhelník



# Streamlines

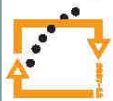
- jiný typ dat
  - vygeneruj body na základě bodů vzniklých ortogonálním řezáním dat
    - ✦ řezy prochází středem dat
- proved' clustering vygenerovaných bodů pro snížení jejich počtu
- vypočítej streamlines
  - Runge-Kutta integrační metoda 2. řádu
  - VTK standardní funkce



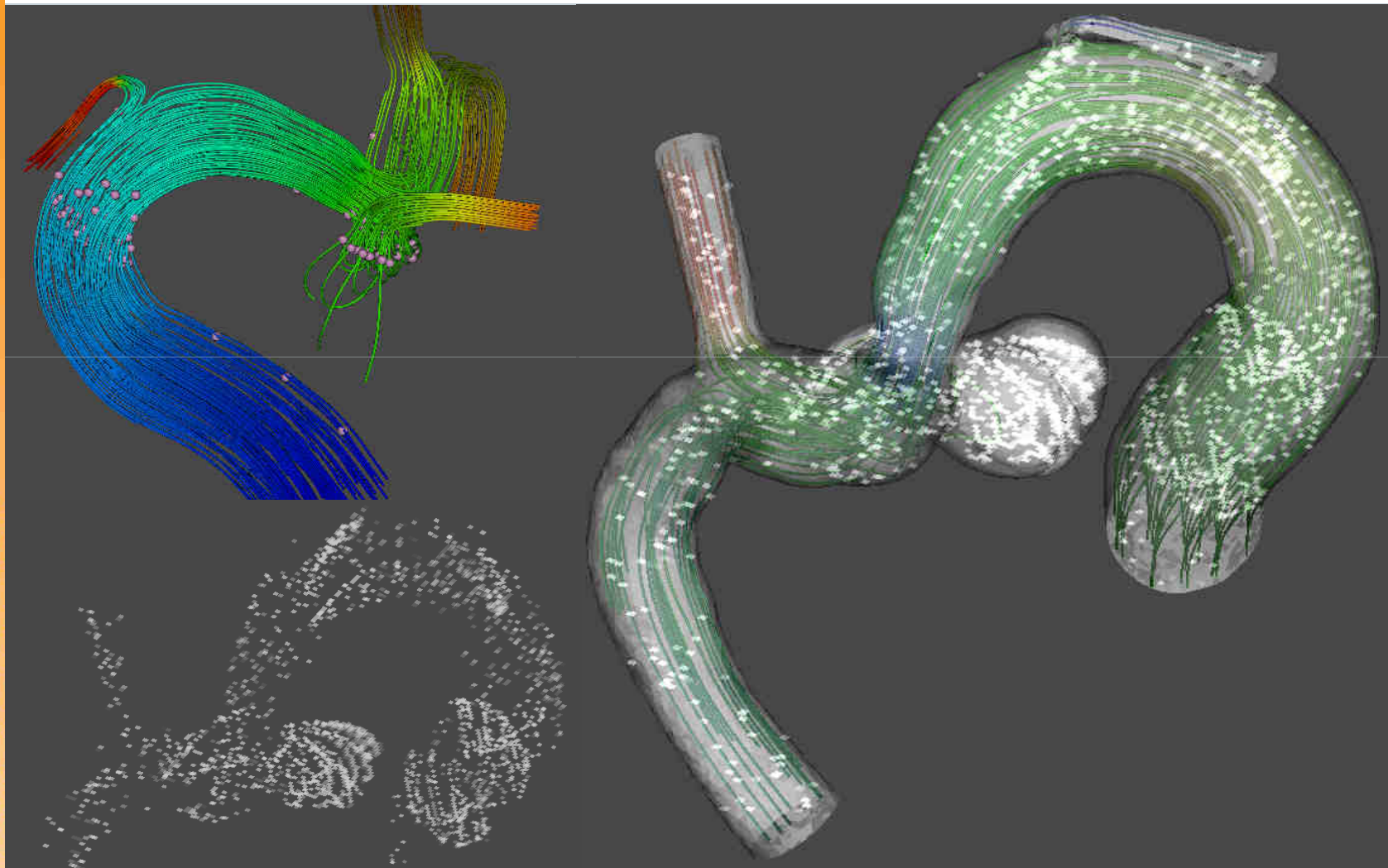
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# Streamlines

- **zobrazení streamlines**
  - statické = zobrazení lomených čar obarvených např. podle asociovaného skalárního pole tlaků
  - dynamické = zobrazení částic pohybujících se po „streamlines“ v závislosti na čase
    - ✦ typ částic, velikost, počet částic na jednu křivku, rychlostní modulátor definován uživatelsky
    - ✦ speciálně: částice vloženy do volumetrických dat → výsledkem nová data s vyznačenými částicemi
      - simulace toho, co vidí doktor, když vstříkne kontrastní látku do žil a dívá se na to přes MRI



# Streamlines



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



# Výsledky



DopplerSlice, Glyphs, VMETracer, ViewFlow



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

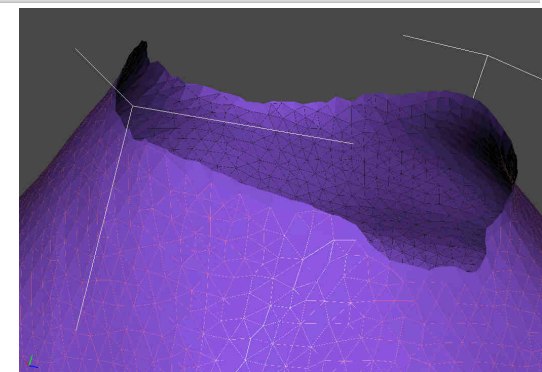
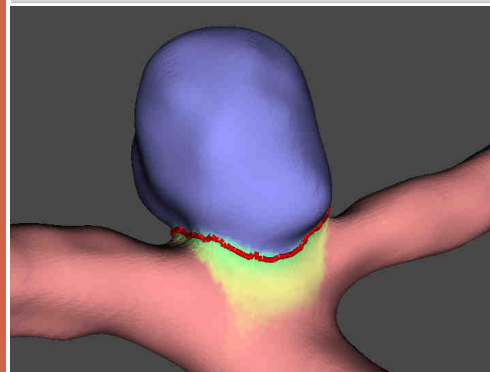
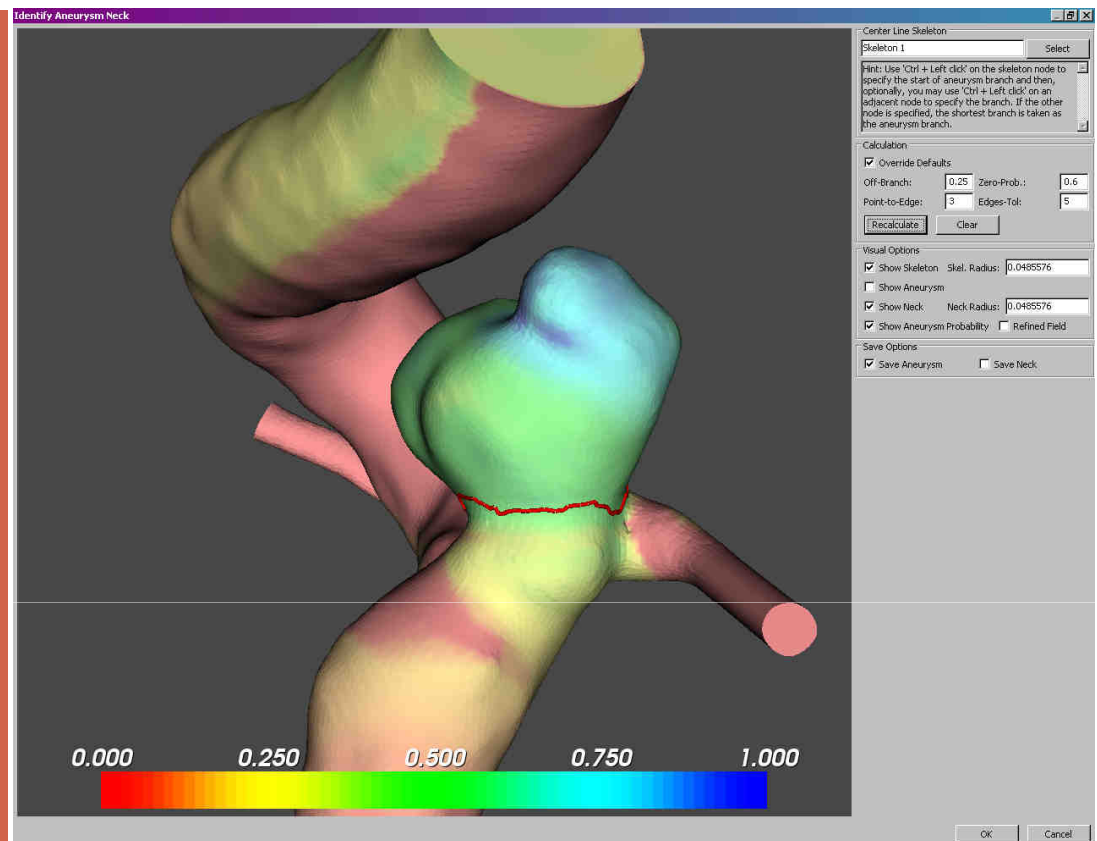
# DETEKCE ANEURYSMAT

Motivace

Existující řešení

Navržené řešení

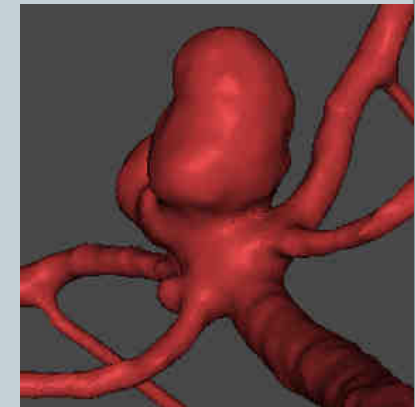
Výsledky



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# Motivace

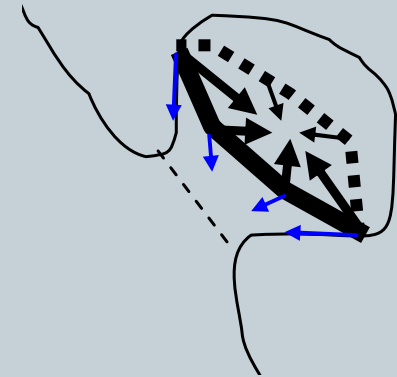
- měření velikosti aneurysma
  - zvětšil se aneurysma od poslední kontroly?
  - stanovení rizika ruptury
- potřeba extrahovat aneurysma z dat
  - cévy reprezentovány povrchovým modelem
    - ✦ trojúhelníková síť
  - extrakce = identifikace krku aneurysma a následné odříznutí povrchu v místě krku



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

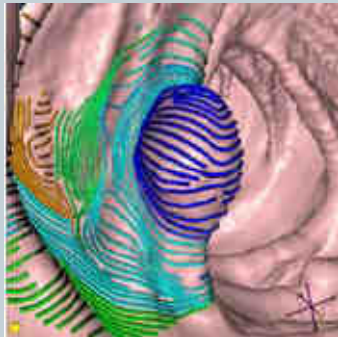
# Existující řešení

- manuální identifikace krku aneurysma
  - uživatel vybere minimálně tři body na krku
  - krk určen pospojováním bodů geodetikou
  - problém: dva experti vyberou jiné body
- semiautomatická identifikace
  - uživatel vybere libovolný bod v blízkosti krku
  - buď nalezení nejužšího místa v blízkosti bodu
    - ✦ minimalizace energie gumového pásku
  - nebo alternativně výpočet křivosti a nalezení sedla



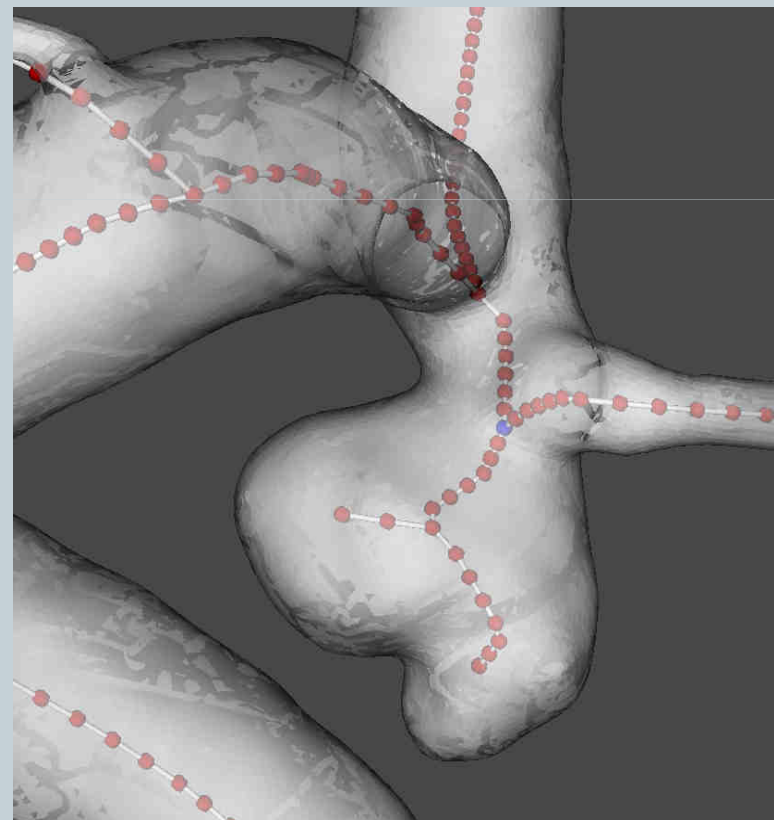
# Existující řešení

- problém: skutečný krk není v nejužším místě
  - experimenty s křivostí (normálová, Gaussova) značí, že křivost je nepoužitelná (G. Krivograd)
- Zhao et al., 2008 – automatická detekce polypů
  - pravděpodobně použitelné pro detekci aneurysmat
  - shlukování „curvature lines“ a následná analýza vztahů mezi sousedními shluky
  - komplexní řešení



# Navržené řešení

- automatická detekce skeletonu
- uživatel vybere jeden bod skeletonu = bod P
  - místo „začátku“ aneurysma
  - typicky uzel větvení
- bod rozděljuje skeleton
  - skeleton zdravých cév - SC
  - skeleton aneurysma - SA



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# Navržené řešení

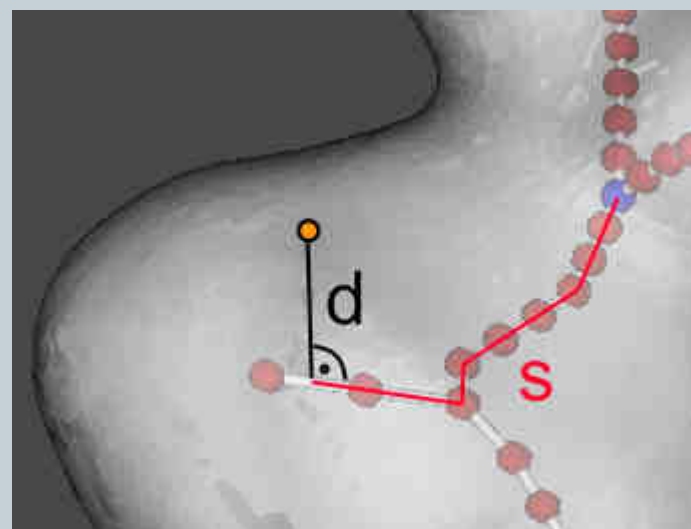
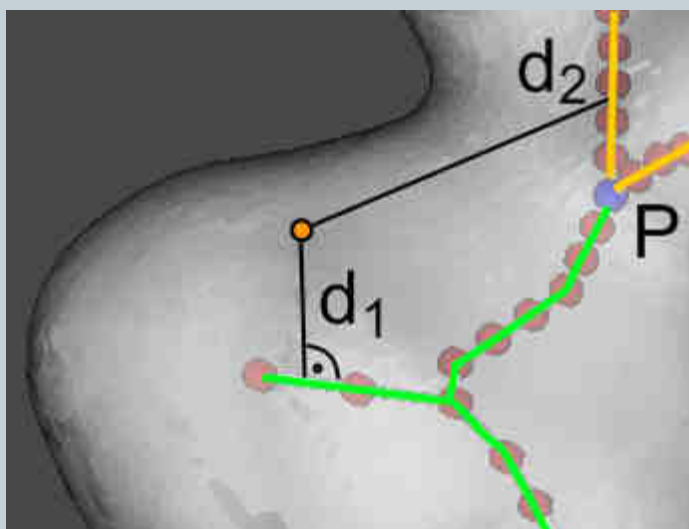
- pro každý vrchol  $V$  trojúhelníkové sítě vypočtena pravděpodobnost  $p_A(V)$ , že vrchol je součástí aneurysma a pravděpodobnost  $p_C(V)$ , že je součástí zdravé části
  - $p_A(V) = \max(p_d(H, V) * p_s(H, P))$
  - $p_d(H, V)$  = pravděpodobnost, že hrana  $H$  (skeletonu SA) podporuje povrch v místě vrcholu  $V$
  - $p_s(H, P)$  = pravděpodobnost, že hrana  $H$  (skeletonu SA) odpovídá aneurysma
  - analogicky pro  $p_C(V)$



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# Navržené řešení

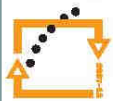
- heuristika:
  - čím dál je vrchol od hrany  $H$  (Euklidovská vzdálenost), tím menší pravděpodobnost, že bude hranou podpořen
  - čím dál je hrana  $H$  od bodu  $P$  (grafová vzdálenost), tím větší pravděpodobnost, že je součástí testované části





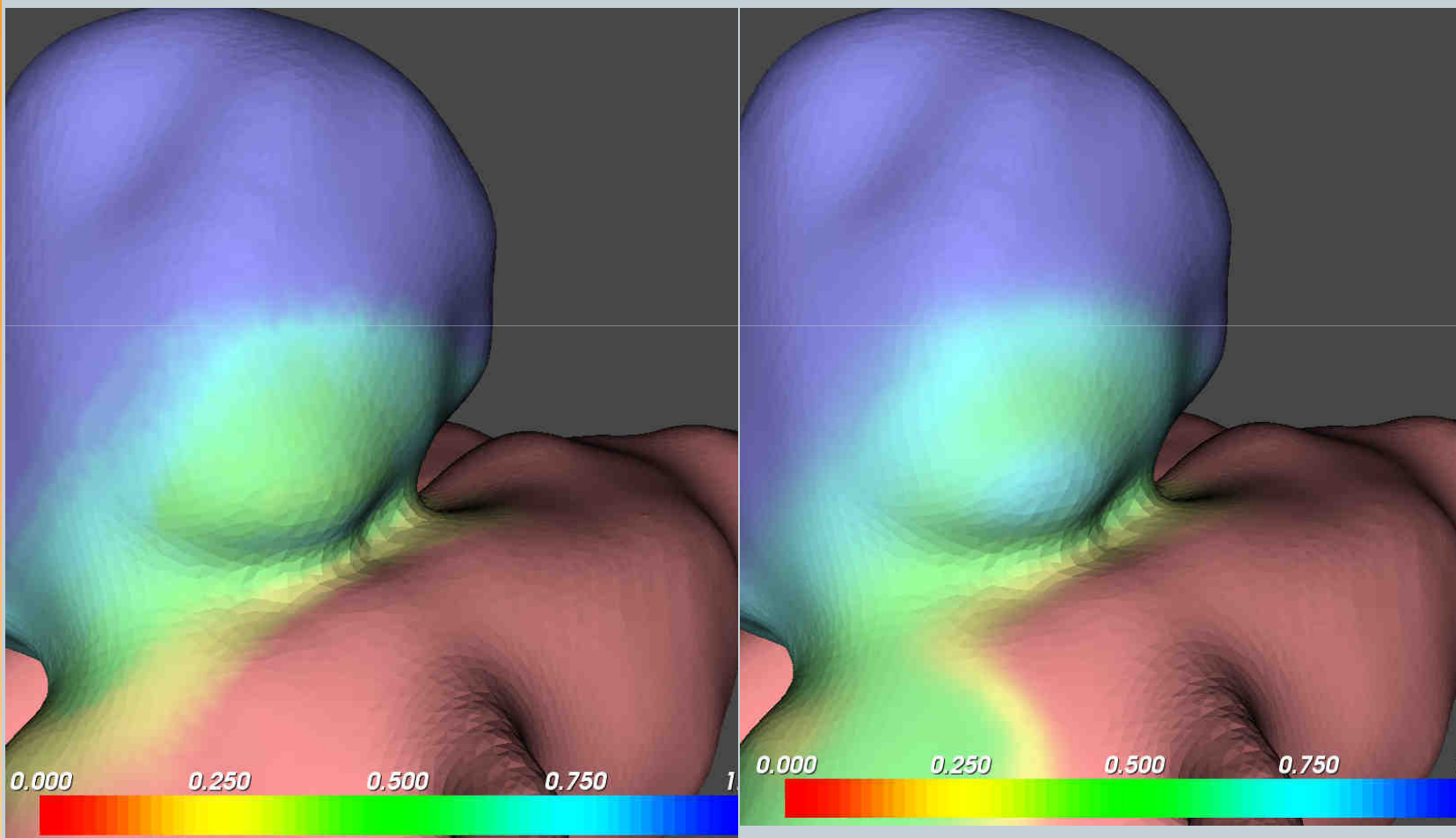
# Navržené řešení

- hrany bez přímé viditelnosti (uvnitř objektu) z vrcholu  $V$  jsou předem vyloučeny
- příliš vzdálené hrany (v porovnání s nejbližší) jsou vyloučeny
- pravděpodobnosti  $p_A$  a  $p_C$  refinovány
  - roztažení pravděpodobností na interval 0..1
  - eliminace malých oblastí s pravděpodobnostmi  $< 0.5$  uvnitř větších oblastí s pravděpodobnostmi  $> 0.5$   
→ právě jedna souvislá oblast



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

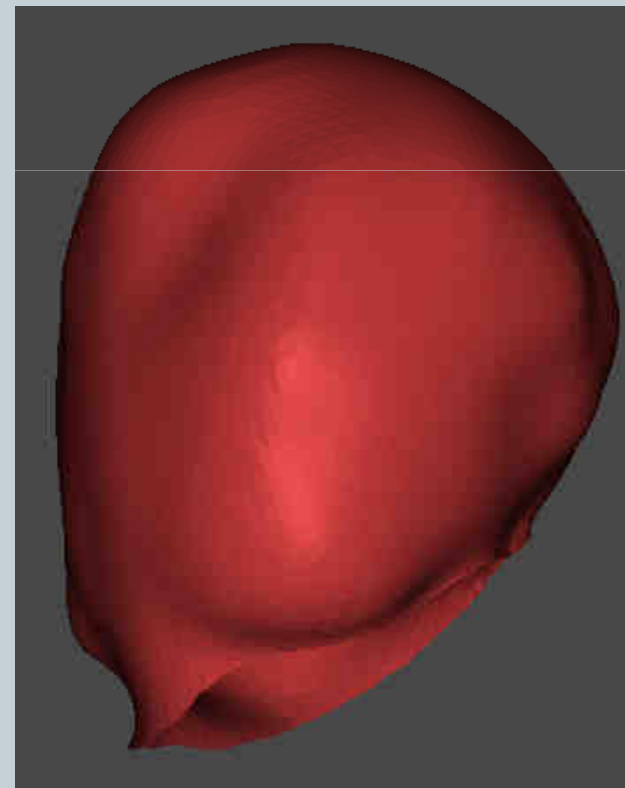
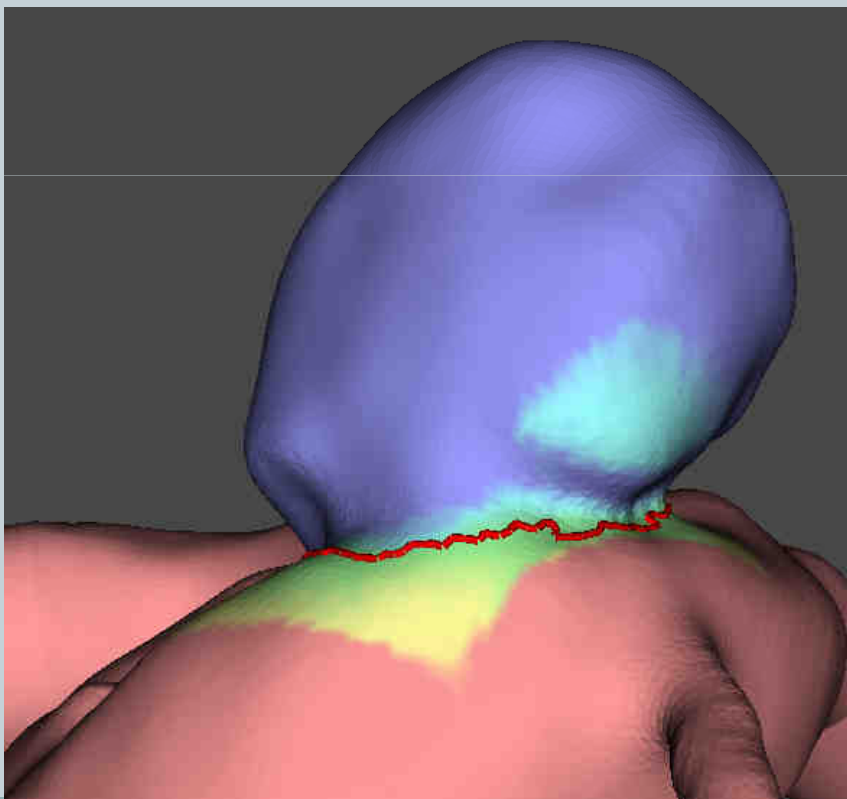
# Navržené řešení



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

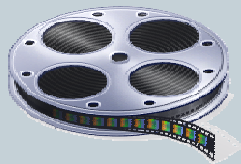
# Navržené řešení

- krk aneurysma je místo s  $p_A = 0.5$
- postprocessingové vyhlazení krku

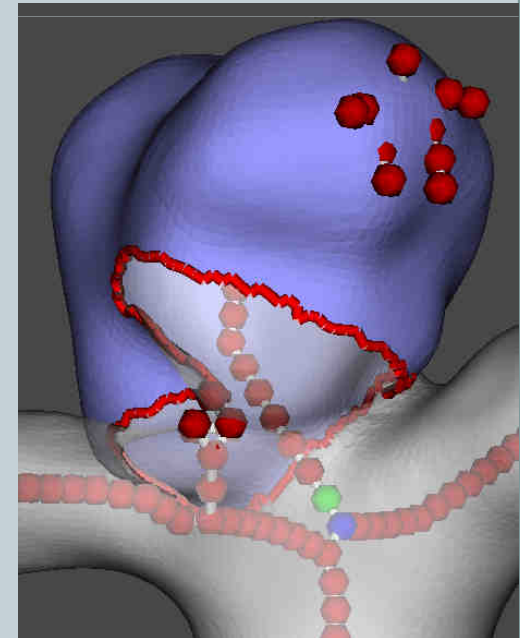


# Výsledky

- kvalita závislá na kvalitě skeletonu
- poskytuje výsledky akceptované experty
  - otestováno na malé množině vzorků
- publikace plánována



první verze



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# DEKOMPOZICE SVALŮ

Motivace

Rychlokurz anatomie

Existující řešení

Navržené řešení

deformace povrchu  
dekompozice vláken

Výsledky



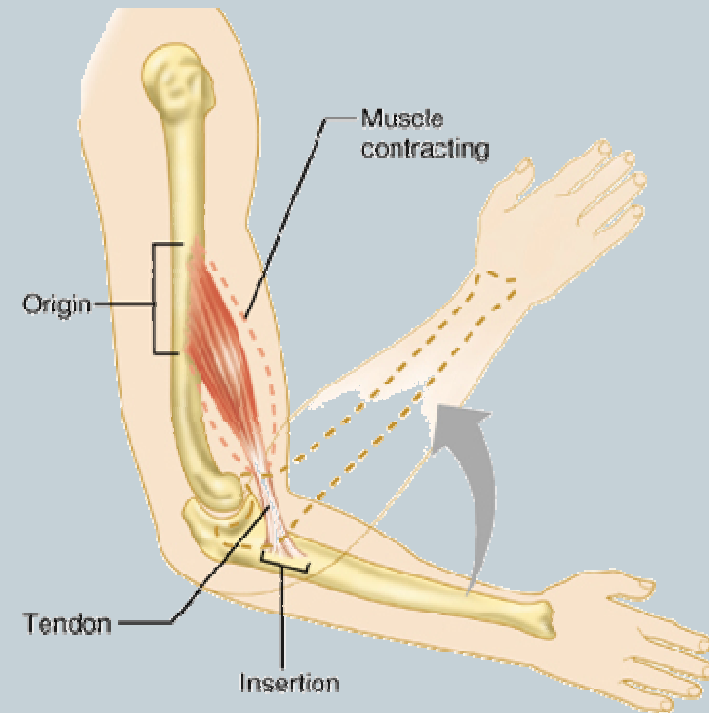
# Motivace

- opotřebování kloubů vede k nutnosti náhrady kloubu protézou
- často snížená pohyblivost
  - protéza nemá tvar jako původní zdravá kost
  - při operaci se poškodí svaly
- většinou snížená odolnost vůči nárazům
  - možnost poškození (např. praskne cement)
- cíl: naplánovat operaci tak, aby se eliminovalo snížení pohyblivosti a snížilo riziko poškození protézy → muskuloskeletární model



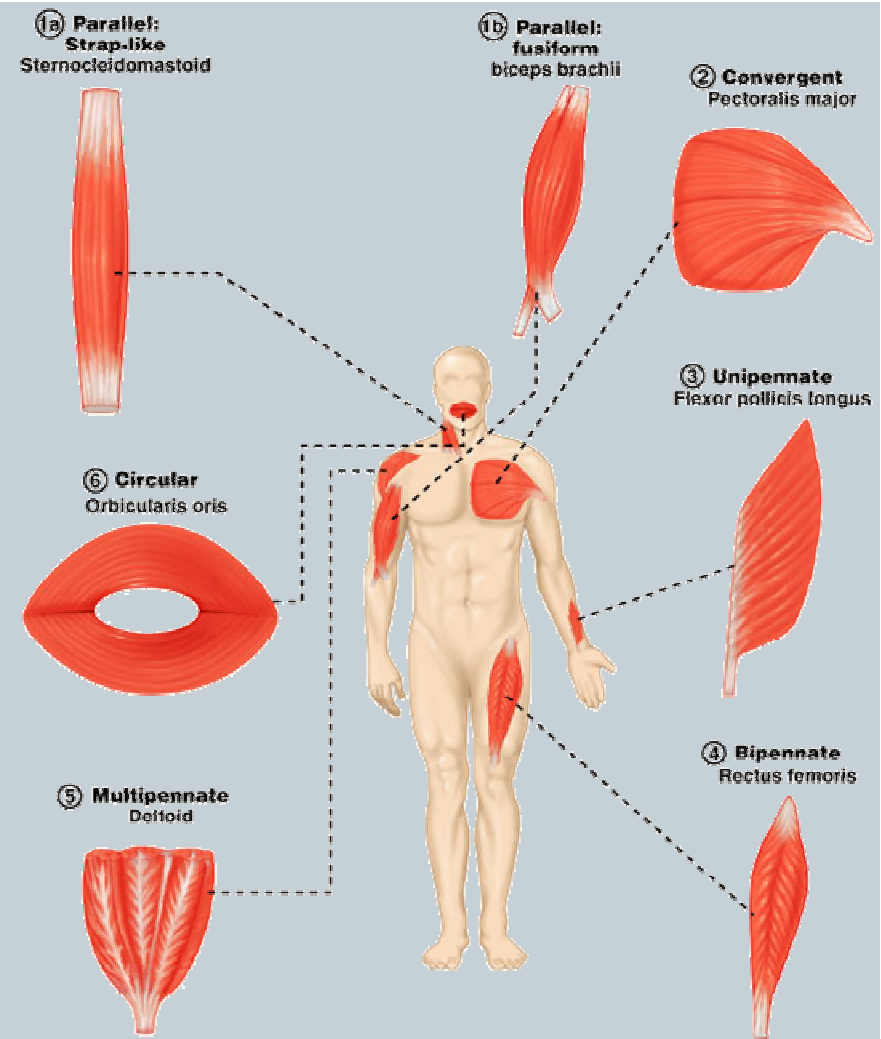
# Rychlokurz anatomie

- většina svalů spojuje dvě kosti
  - typicky spojení přes šlachu
- až 4 „origin“ místa na „nepohyblivé“ kosti
  - 2 = biceps, 3 = triceps, 4 = quadriceps
- jedno „insertion“ na „pohyblivé“ kosti
- při pohybu kosti dochází ke zkrácení svalu (na úkor jeho šířky)



# Rychlokurz anatomie

- svaly složeny ze svalových vláken
- různá struktura
  - vlákna
    - ✦ rovnoběžná
    - ✦ vypouklá
    - ✦ kruhová
    - ✦ ...





# Existující řešení

- přesný anatomický model neexistuje
  - už jen proto, že nelze změřit na živém pacientovi, co skutečně svalová vlákna dělají
- modelovací předpoklady:
  - kosti jsou pevné (nedeformují se)
  - sval a šlacha jsou jeden objekt, který se deformuje se zachováním objemu
- svaly modelovány pomocí tzv. „action lines“ (nejčastěji) nebo 3D FEM sítí



# Existující řešení

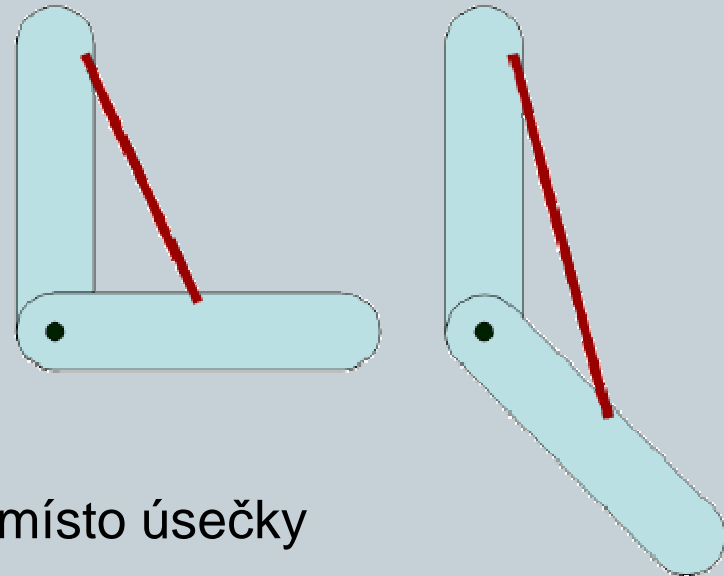
- „action lines“
  - sval reprezentován 1-n „action lines“
    - ✦ volba počtu a umístění „action lines“ nejednoznačná
    - ✦ změna koncového bodu o 5 mm může vést k zcela odlišným výsledkům → alchymie pro experty
  - vzájemné kolize svalů jsou zanedbány
  - různé modelovací přístupy
    - ✦ „straight-line“
    - ✦ „obstacle-set“



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

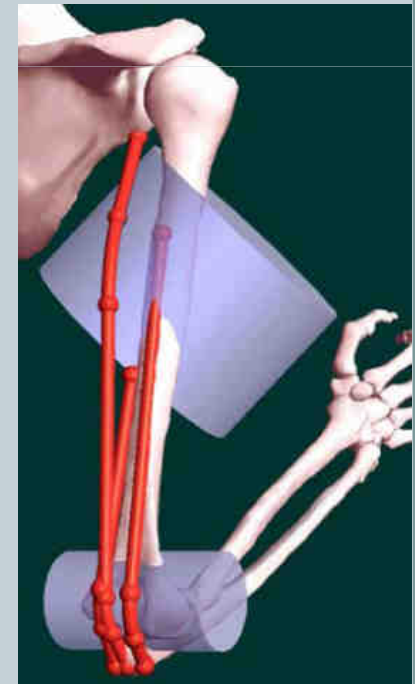
# Existující řešení

- „straight-line“
  - „action line“ = úsečka spojující středy „origin“ a „insertion“ oblastí svalu
  - jednoduché, real-time, ale použitelné jen pro některé případy
  - lze vylepšit přidáním tzv. „via points“
  - „via points“
    - ✦ zadávány v pevné relativní poloze vůči kosti
    - ✦ „action line“ musí jimi procházet → lomená čára namísto úsečky



# Existující řešení

- „obstacle-set“
  - „action line“ = křivka spojující středy „origin“ a „insertion“ oblastí svalu, jejíž části leží na ploše pevně definovaných geometrických překážek
  - překážky
    - ✦ koule, válec, kužel
    - typicky nejvýše dvě překážky
    - ✦ reprezentují kosti, klouby, okolní tkáň
  - přesnější, ale implementačně i výpočetně náročnější



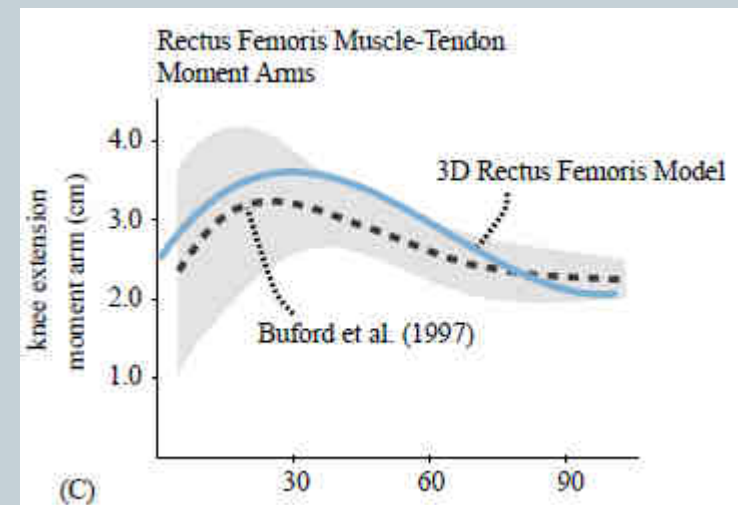
# Existující řešení

- „obstacle-set“
  - Garner et al., 2000; Delp et al., 2004
  - openSIM, SimTK
    - ✦ <https://simtk.org/home/opensim/>
  - AnyBody
    - ✦ <http://www.anybodytech.com/>
- 3D FEM síť
  - Blemker et al., 2006
  - sval reprezentován systémem pružin v rovnovážném stavu
  - pohyb kosti = externí síla → systém nevyvážen
    - ✦ nalezení vyváženého systému



# Existující řešení

- 3D FEM sítě
  - lze uvažovat skupiny svalů současně a brát v úvahu jejich vzájemné kolize
  - velmi přesný model
    - ✦ nelze modelovat svaly s více „origin“ body
  - obtížné na implementaci
  - časově náročné
    - ✦ 5-10 hodin na superPC



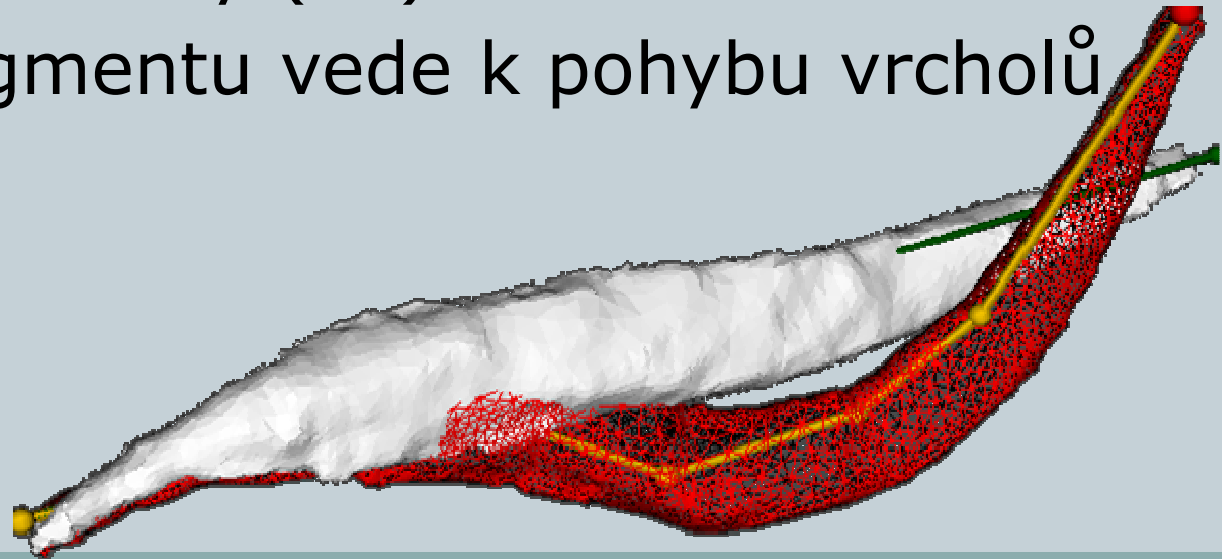
# Navržené řešení

- založeno na „obstacle-set“ modelu
- cílem vyšší přesnost
  - zobecnění vztahů pro více překážek (A. Agrawal)
  - „action lines“ reprezentují svalová vlákna
- algoritmus
  - základní „action lines“ (AL) reprezentují sval
  - při pohybu kostí se stanoví nový průběh ZAL
  - na základě změny AL se deformuje povrchový model svalu (se zachováním objemu)
  - sval je dekomponován na vlákna (dle typu svalu)
    - ✦ vlákna = nové AL pro výpočty



# Deformace povrchu (v kostce)

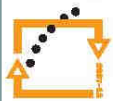
- založeno na deformaci na základě kostry
- kostra = „action line“ (AL)
  - AL nemusí vést vnitřkem!
- vrcholy trojúhelníků parametrizovány segmenty křivky (AL)
- pohyb segmentu vede k pohybu vrcholů





# Deformace povrchu (detail)

- **vstupy**
  - povrchový model svalu ve výchozí poloze
  - jedna nebo více AL ve výchozí poloze
  - odpovídající AL ve výsledné poloze
    - ✦ počet uzlů se může lišit od výchozí polohy
  - volitelně korespondence mezi uzly AL
- **výstup**
  - povrchový model ve výsledné poloze



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# Deformace povrchu (detail)

- algoritmus

- nalezení korespondence vrchol-vrchol

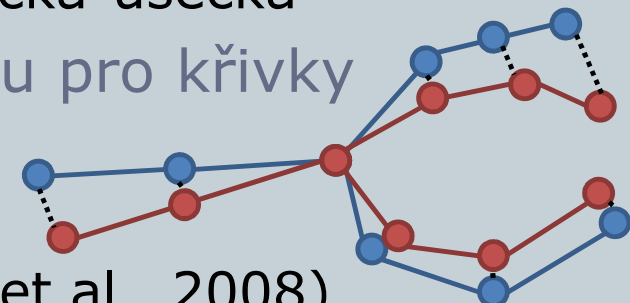
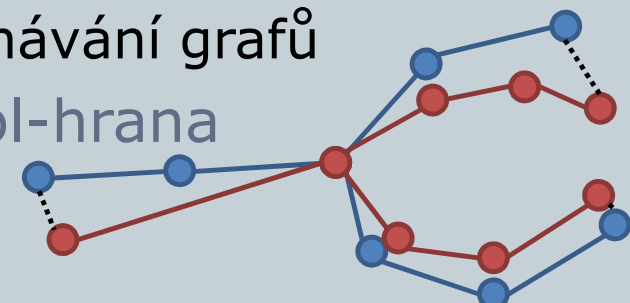
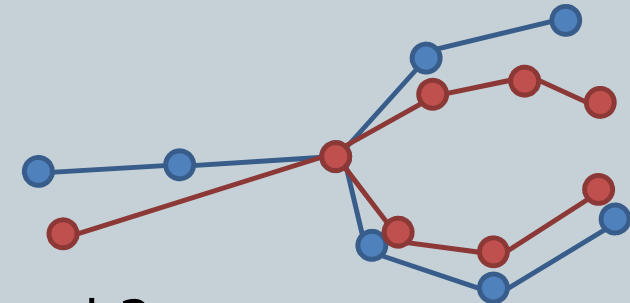
- ✦ jen pro vrcholy stupně různého od 2
    - ✦ Munkres algoritmus pro porovnávání grafů

- nalezení korespondence vrchol-hrana

- ✦ jen pro vrcholy stupně 2
    - ✦ vede k přidání nových vrcholů
    - ✦ výsledkem korespondence úsečka-úsečka

- stanovení souřadného systému pro křivky

- ✦ osa  $u$  totožná s úsečkou
    - ✦ osy  $v$  a  $w$  voleny tak, aby se minimalizovala rotace (Blanco et al., 2008)



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

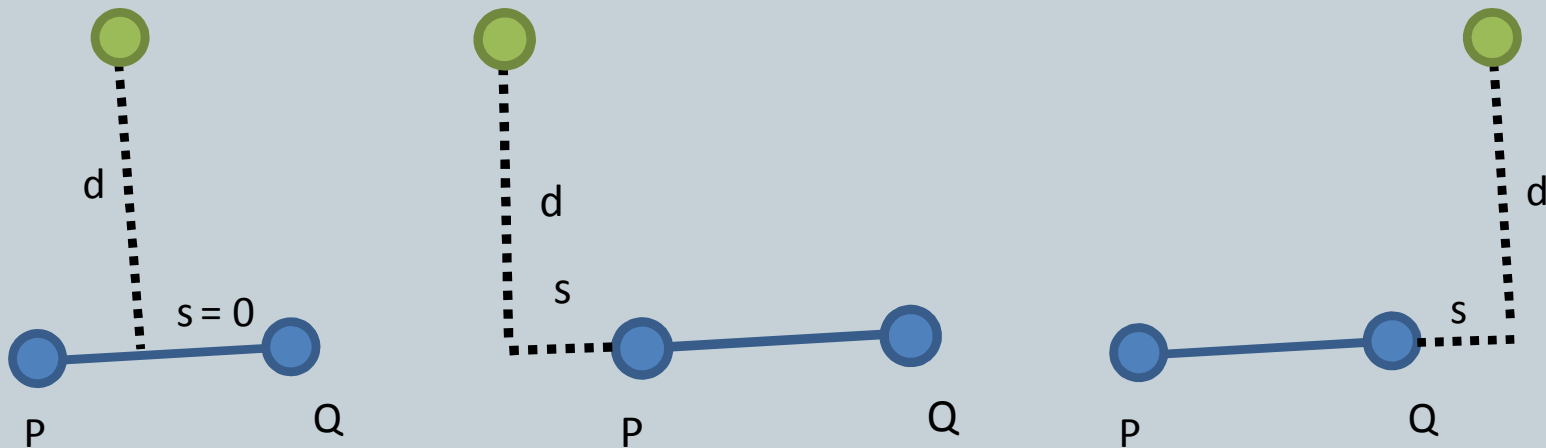
# Deformace povrchu (detail)

- algoritmus

- parametrizace vrcholů v trojúhelníkové síti pomocí všech úseček PQ ve výchozí pozici:

$$v(x, y, z) = \frac{\sum weight_i * (P(x, y, z) + \alpha \cdot u + \beta \cdot v + \gamma \cdot w)}{\sum weight_i}$$

$$weight_i = \frac{1}{0.0001 + d + s}$$



# Deformace povrchu (detail)

- algoritmus
  - výpočet nových souřadnic vrcholů
  - pokud došlo k prodloužení (zkrácení) hrany, posuň vrchol blíž k hraně (dál od hrany)
    - ✦ Aubel et. al, 2001
    - ✦ redukuje rozdíly v objemu (1% pro malé deformace, až 10% pro velké deformace)



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

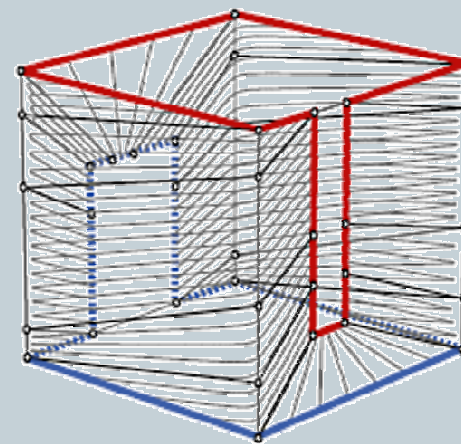
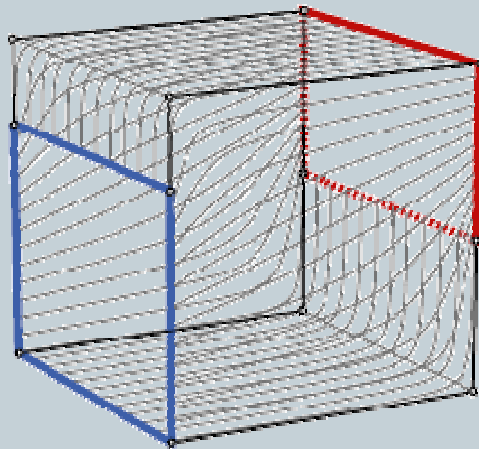
# Dekompozice svalů (v kostce)

- šablony svalových vláken v krychli 1x1x1
  - Blemker et al., 2006
- krychle natočena a zvětšena (různě v různých osách) tak, aby nejlépe obsáhla celý povrchový model svalu
- krychle (a s ní i svalová vlákna) a povrchový model svalu řezány v ose z (nejdelší osa u většiny svalů)
- mapování řezu krychle na řez svalu → body svalových vláken mapovány dovnitř



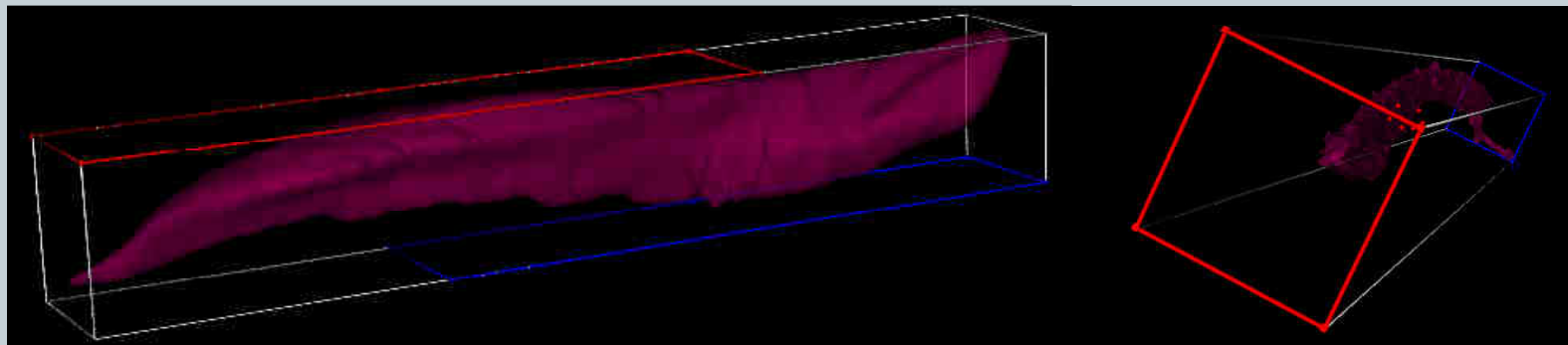
# Dekompozice svalů (detail)

- šablony svalových vláken v krychli 1x1x1
  - vlákna definována jako Bezierovy křivky  $C(r,s,t)$
  - počáteční body vláken (souřadnice  $r, s$ ) generovány jako Sobolovy body
  - počet vláken dán uživatelem
  - na krychli vyznačeny „insertion“ a „origin“ oblasti



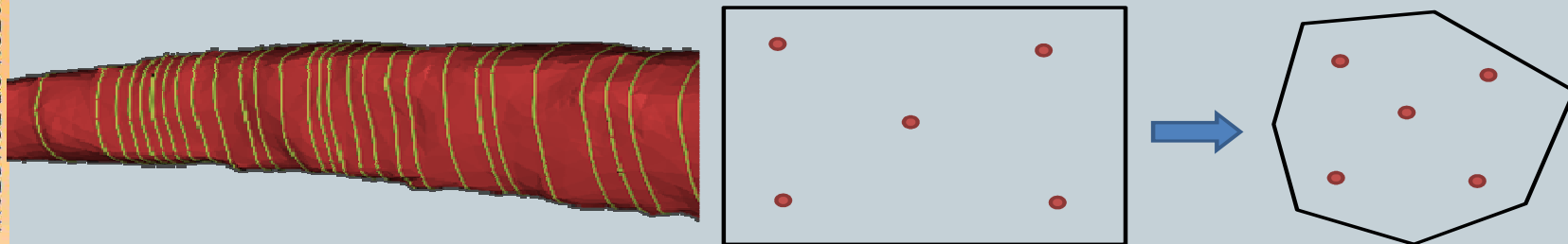
# Dekompozice svalů (detail)

- detekce hlavní osy svalu z vrcholů trojúhelníků na povrchu
  - osa šablony je totožná s hlavní osou
- nalezení kvádrů pro různé úhly ( $\Delta = 5^\circ$ )
- spočtení celkové chyby mezi „origin“ a „insertion“ body v datech a na šabloně
  - kvádr s min. chybou = hledané mapování



# Dekompozice svalů (detail)

- řezání povrchového modelu a šablony
  - počet řezů stanoven uživatelem
- mapování bodů z řezu šablony na řez povrchového modelu
  - zobecněné barycentrické souřadnice pro obecný polygon (Hormann et al., 2006)
- výsledné lomené čáry vyhlazeny





# Výsledky

- interaktivní deformace svalů a jejich dekompozice do vláken
- několik omezení
  - není uvažována kolize mezi svaly
  - zachování objemu není garantováno
    - ✦ max. změna 11%, obvykle 4% (fyziologicky 6%)
  - krajní řezy obsahují jeden bod, do kterého se vlákna sbíhají
    - ✦ problém pro krátké svaly a zejména pak pro svaly mající vlákna jiná než paralelní
- publikace plánována



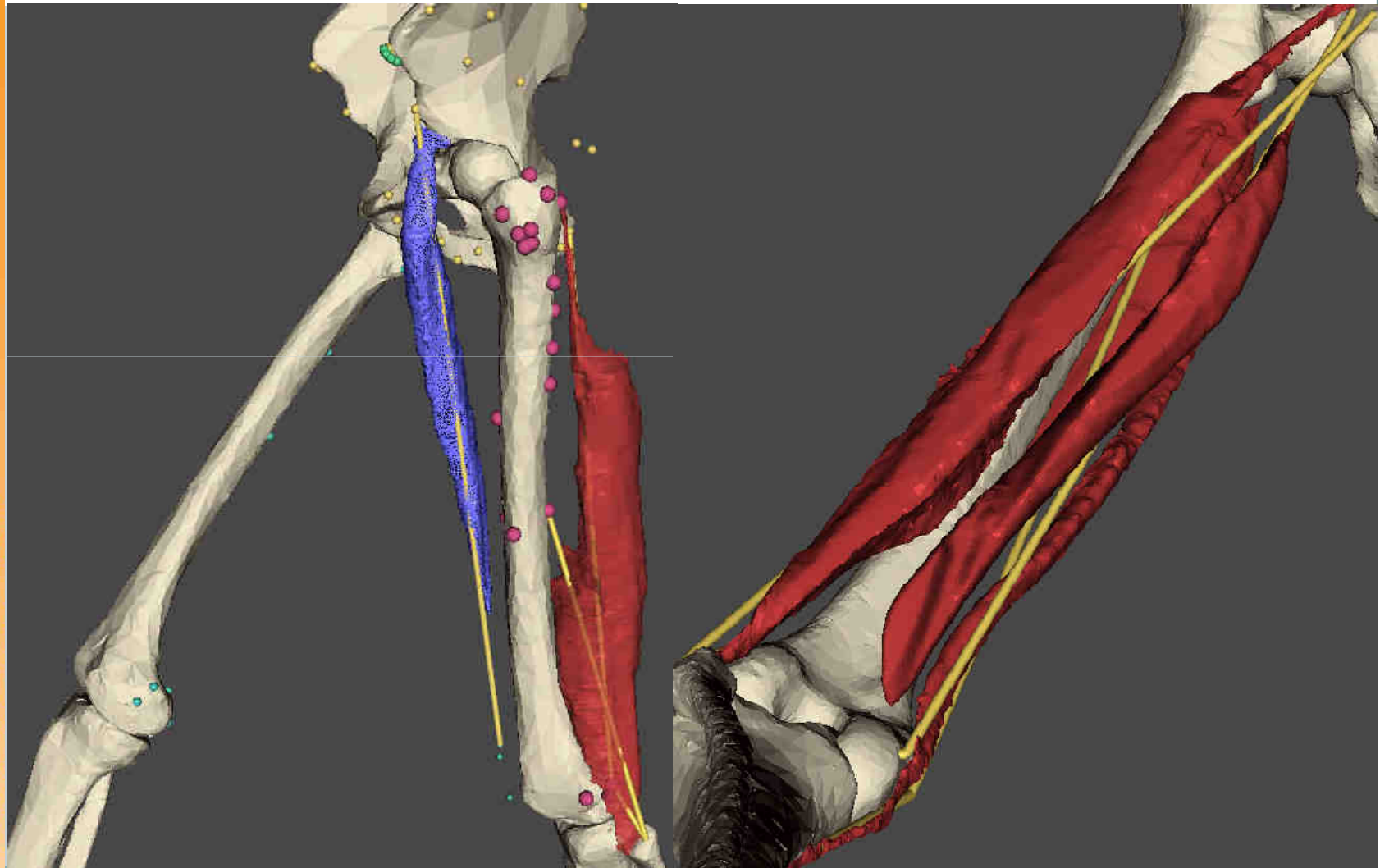
# Výsledky

- budoucí práce: eliminace omezení
  - mělo by být řešeno v rámci VPHOP projektu na Západočeské univerzitě od 1.9.2010 do 31.8.2012, pokud EC schválí přistoupení ZČU do projektu (EC ICT výzva do 26.10.2009)



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# Výsledky



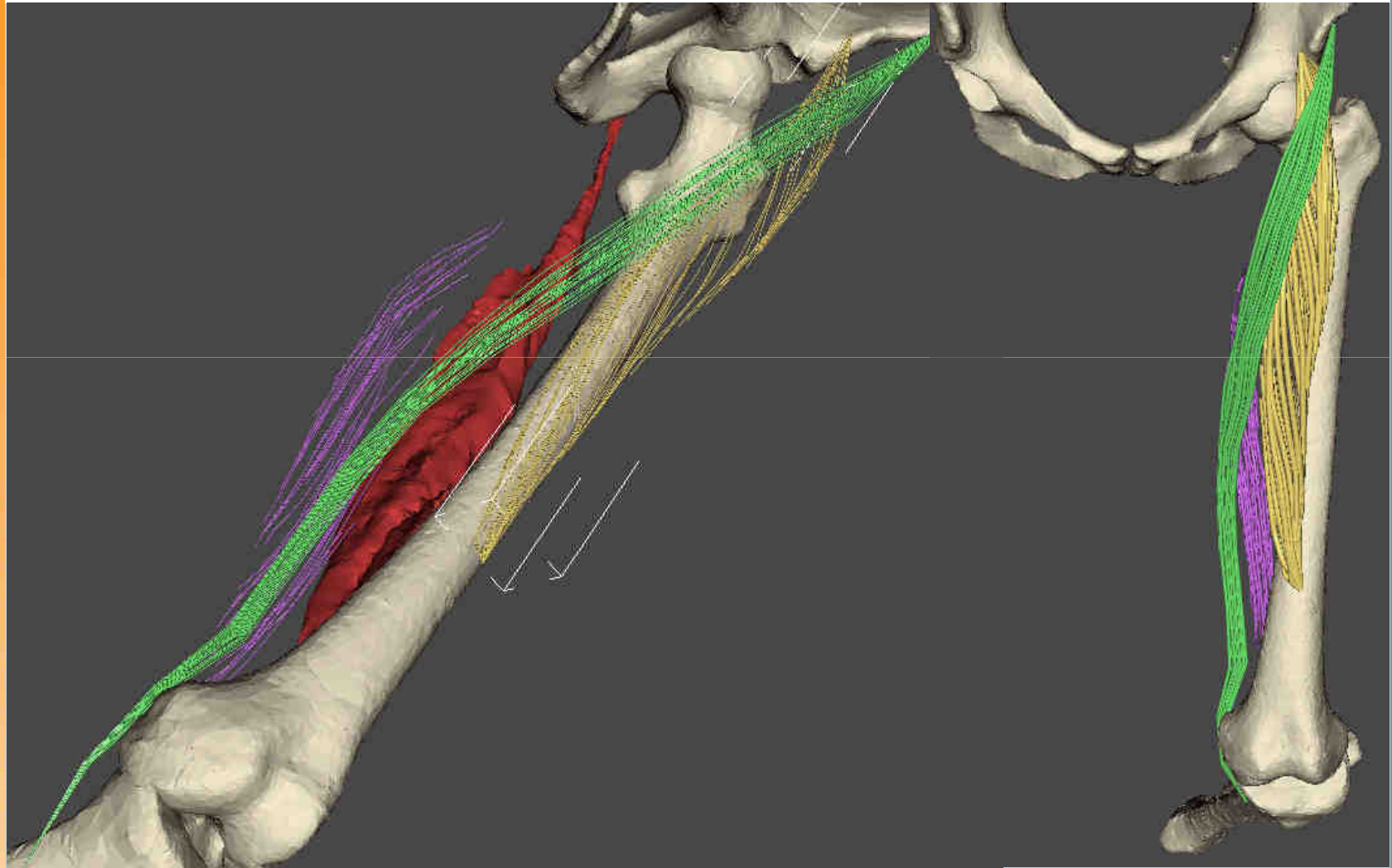
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# Výsledky



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# Výsledky



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# Výsledky



první verze



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# DALŠÍ VÝSLEDKY

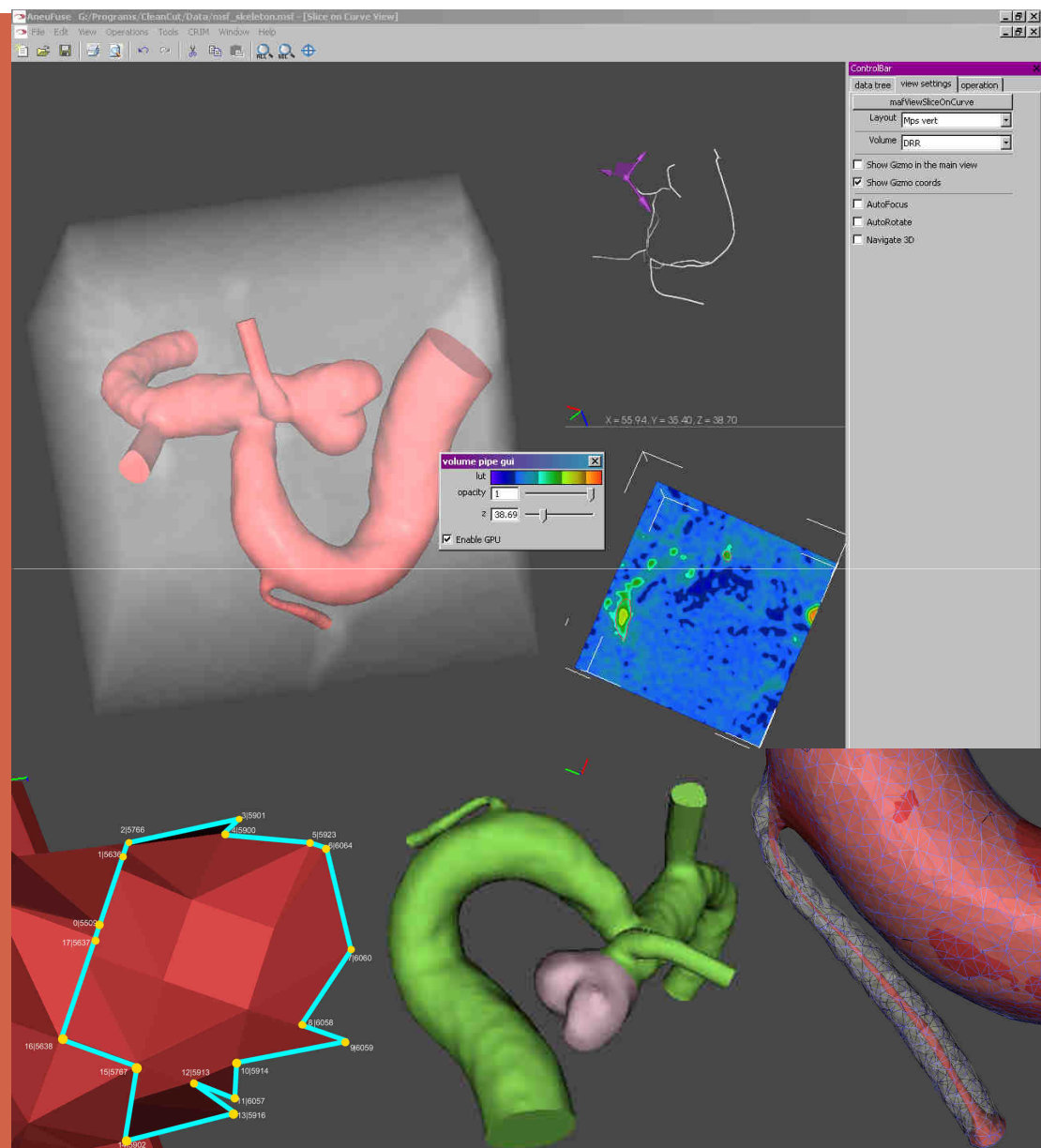
Úvod

SliceOnCurve

HoleFilling

Smoothing

CleanCut



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# Úvod

- převážně implementačního charakteru
- drobné úlohy pro LHDL i AneurIST

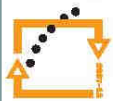


INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



# SliceOnCurve

- specializované „view“ obsahující tři pohledy (view): main, curve, slice
- main – zobrazuje vybrané VMEs
- curve – zobrazuje vybranou křivku nebo skeleton spolu s interaktivním „gizmo“, které může uživatel po křivce posouvat
- slice – zobrazuje řezy vybranými VMEs, rovina řezu definována pozicí a natočením „gizma“



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# SliceOnCurve

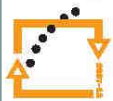
- požadována interaktivita → optimalizace existujících algoritmů řezání dat na základě pečlivého „profilingu“
- řezání objemových dat
  - volitelné využití GPU (OpenGL + Frame Buffer Objects)
  - urychlení: CPU verze cca 280x, GPU verze cca 1000x
  - 203 řezů CT hlavy 115 x 155 x 131 vyprodukováno za 34.04 ms (CPU) / 9.83 ms (GPU) na Dell Precision 470 (2x Intel Xeon 3.4 GHz, 2 GB DDR2 400 MHz RAM, NVIDIA Quadro FX 4500 with 512MB, Windows XP Pro)



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

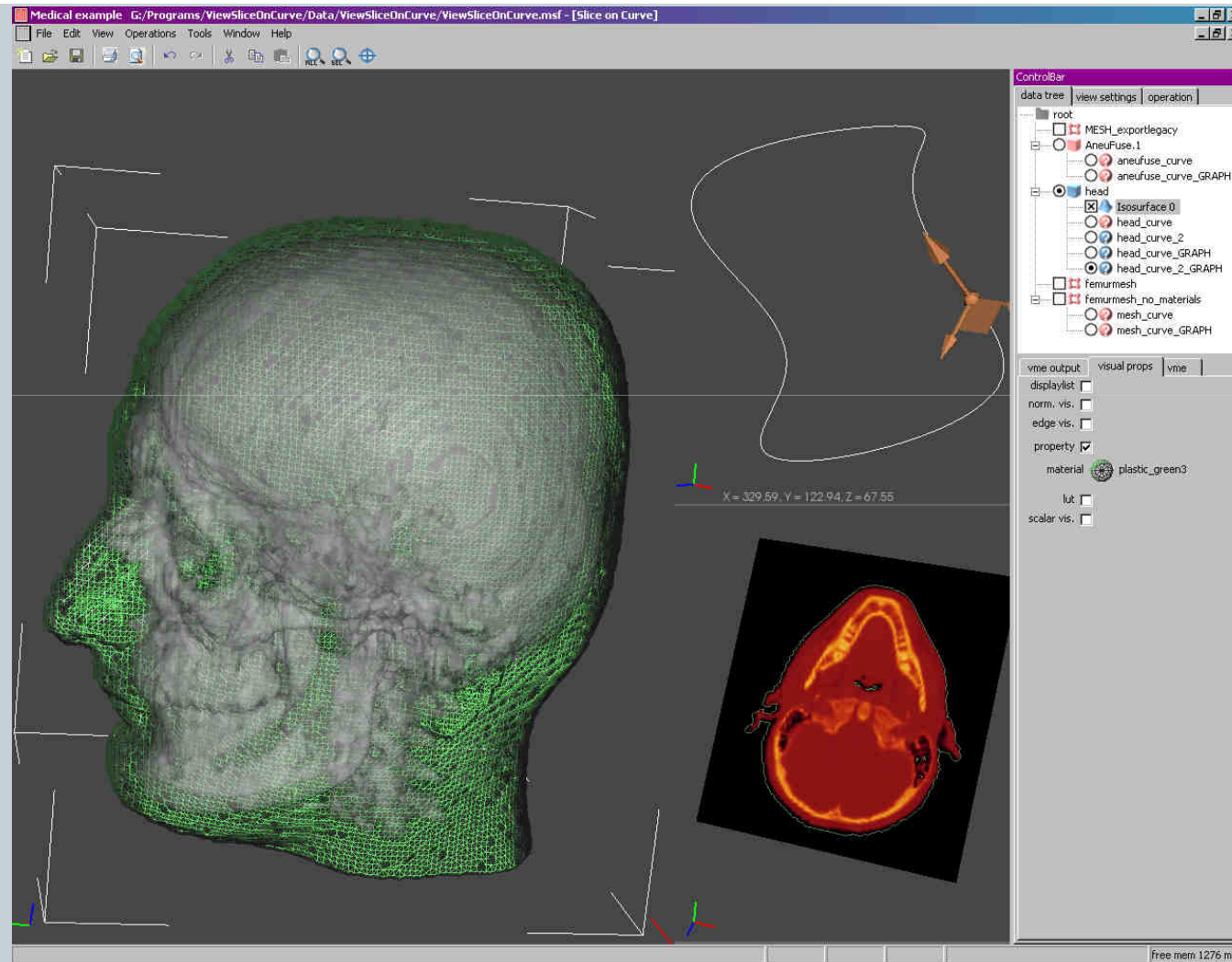
# SliceOnCurve

- řezání FEM sítí
  - urychlení cca 70x
  - Femur o 78495 čtyřstěnů řezán v průměru za 360 ms (záleží na orientaci gizmo) na Dell Precision 470 (2x Intel Xeon 3.4 GHz, 2 GB DDR2 400 MHz RAM, NVIDIA Quadro FX 4500 with 512MB, Windows XP Pro)
- řezání ostatních typů dat nezměněno (bylo rychlé dostatečně)



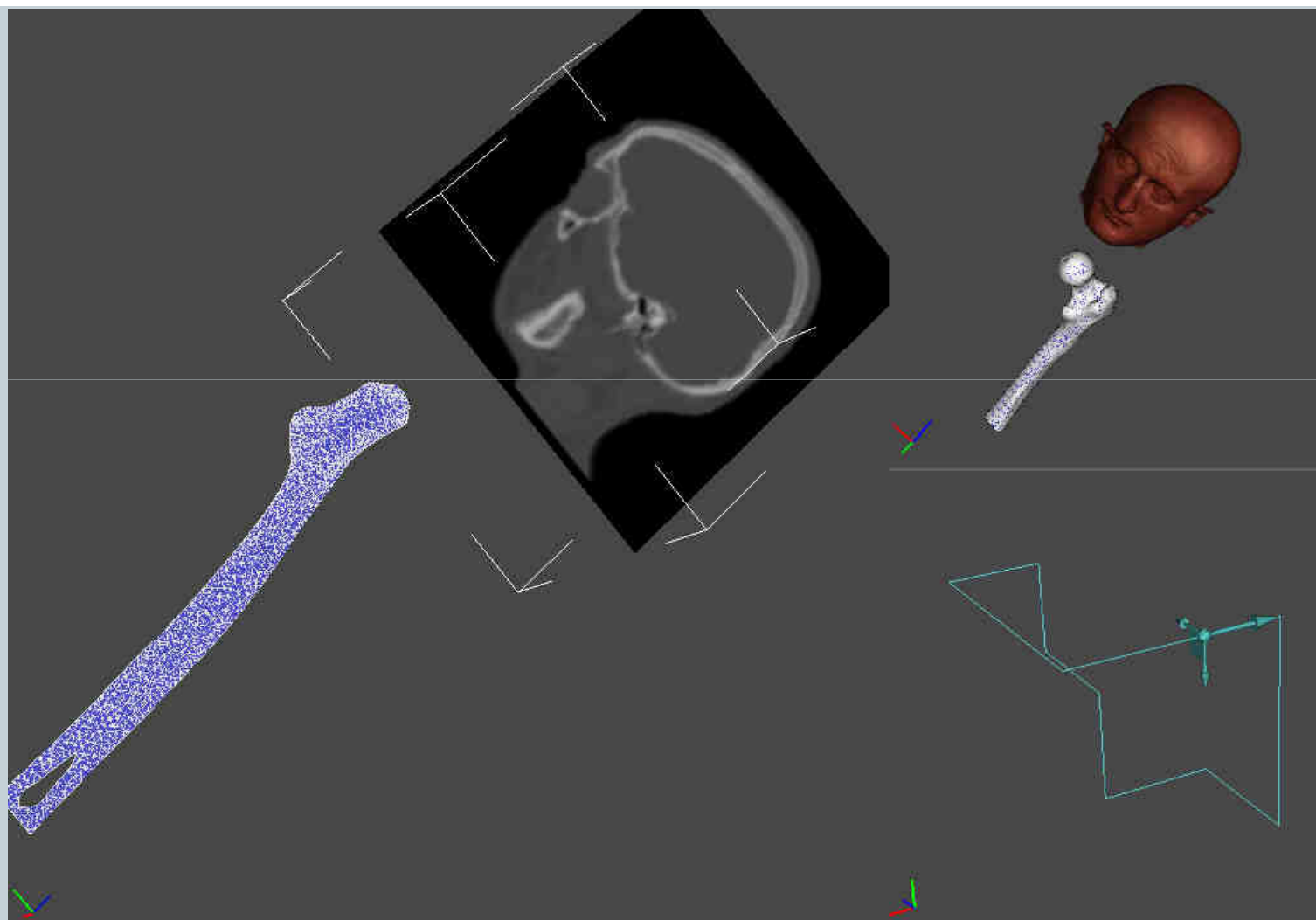
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# SliceOnCurve



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

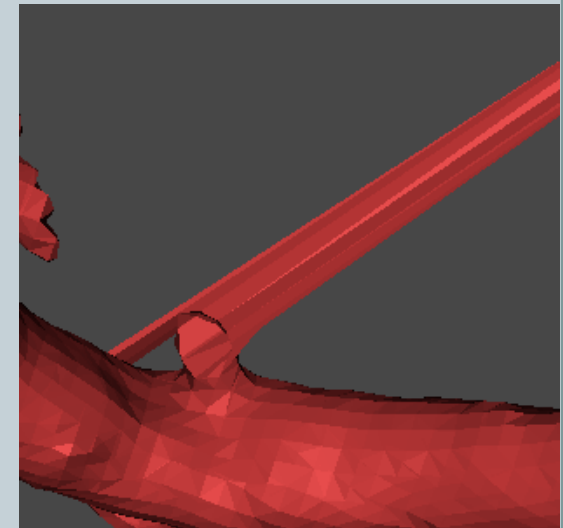
# SliceOnCurve



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

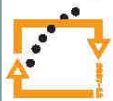
# HoleFilling

- stávající algoritmus založen na minimalizaci celkové plochy zalepované díry (na povrchovém modelu)
  - generuje non-manifold v některých případech
  - následné vyhlazení takhle zalepené díry nestabilní



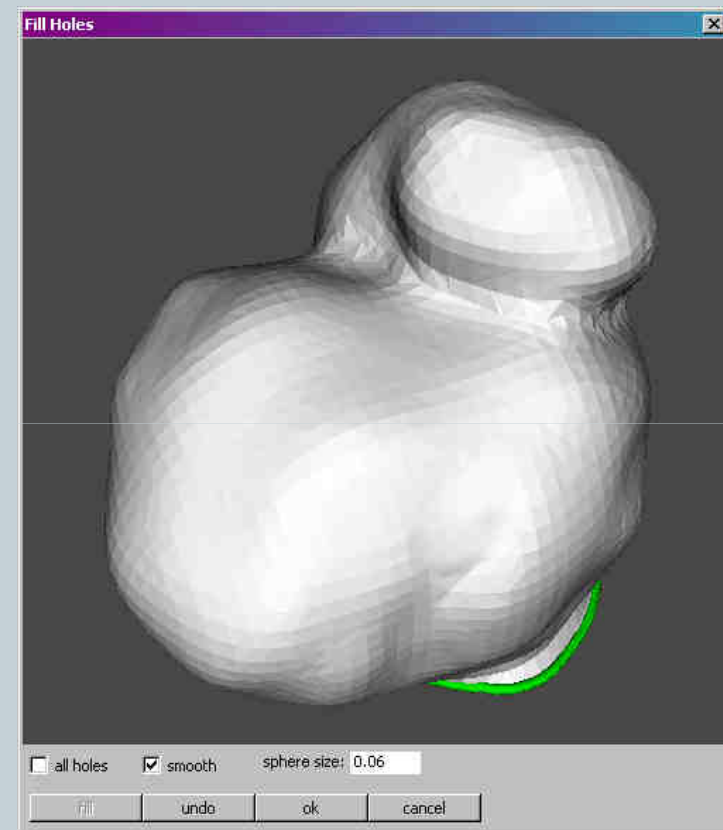
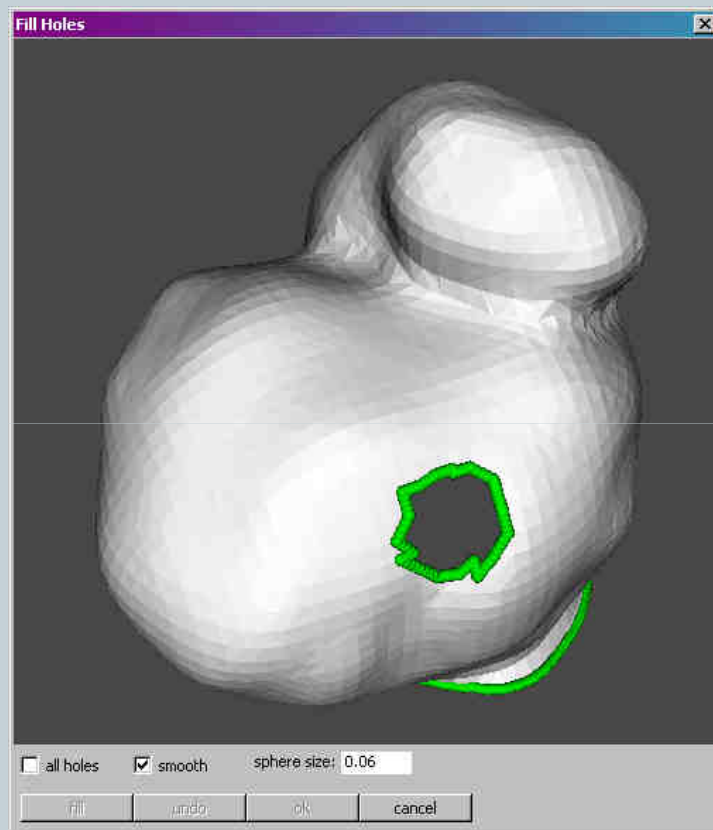
# HoleFilling

- nový algoritmus
  - založen na maximalizaci minimálního úhlu mezi dvojicí trojúhelníků
    - ✦ Liepa, 2003
  - implementace vyhlazování zalepené díry metodou minimalizace energie tenkého povrchu
    - ✦ zachovává křivost
    - ✦ Kobbelt et al., 1998



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# HoleFilling

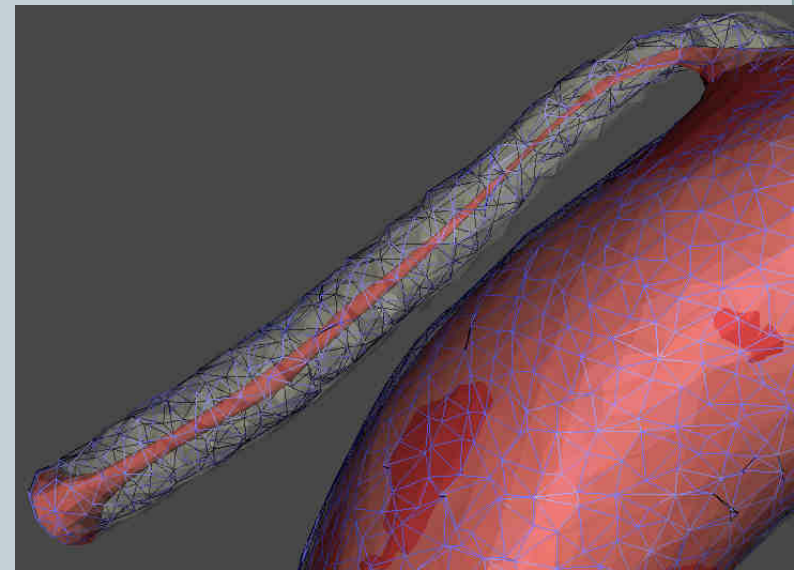


INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

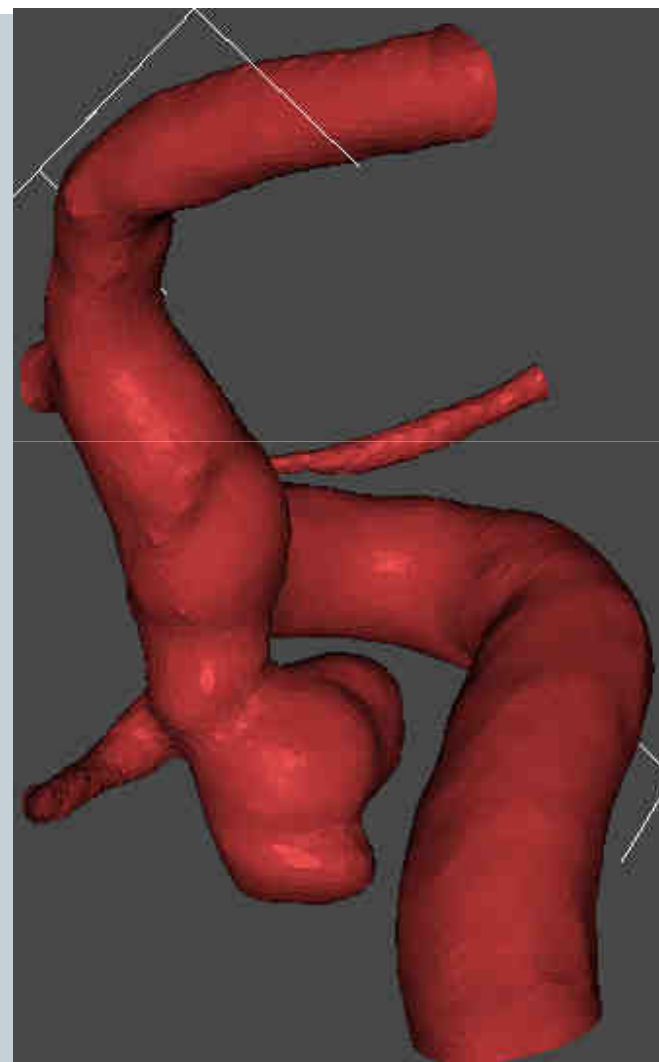
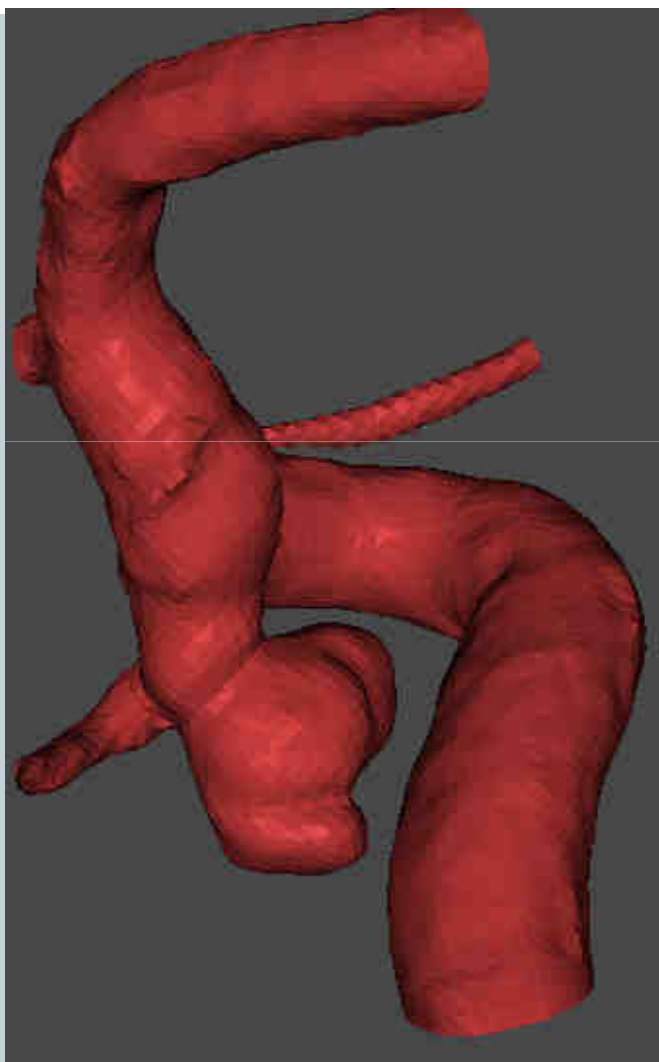


# Smoothing

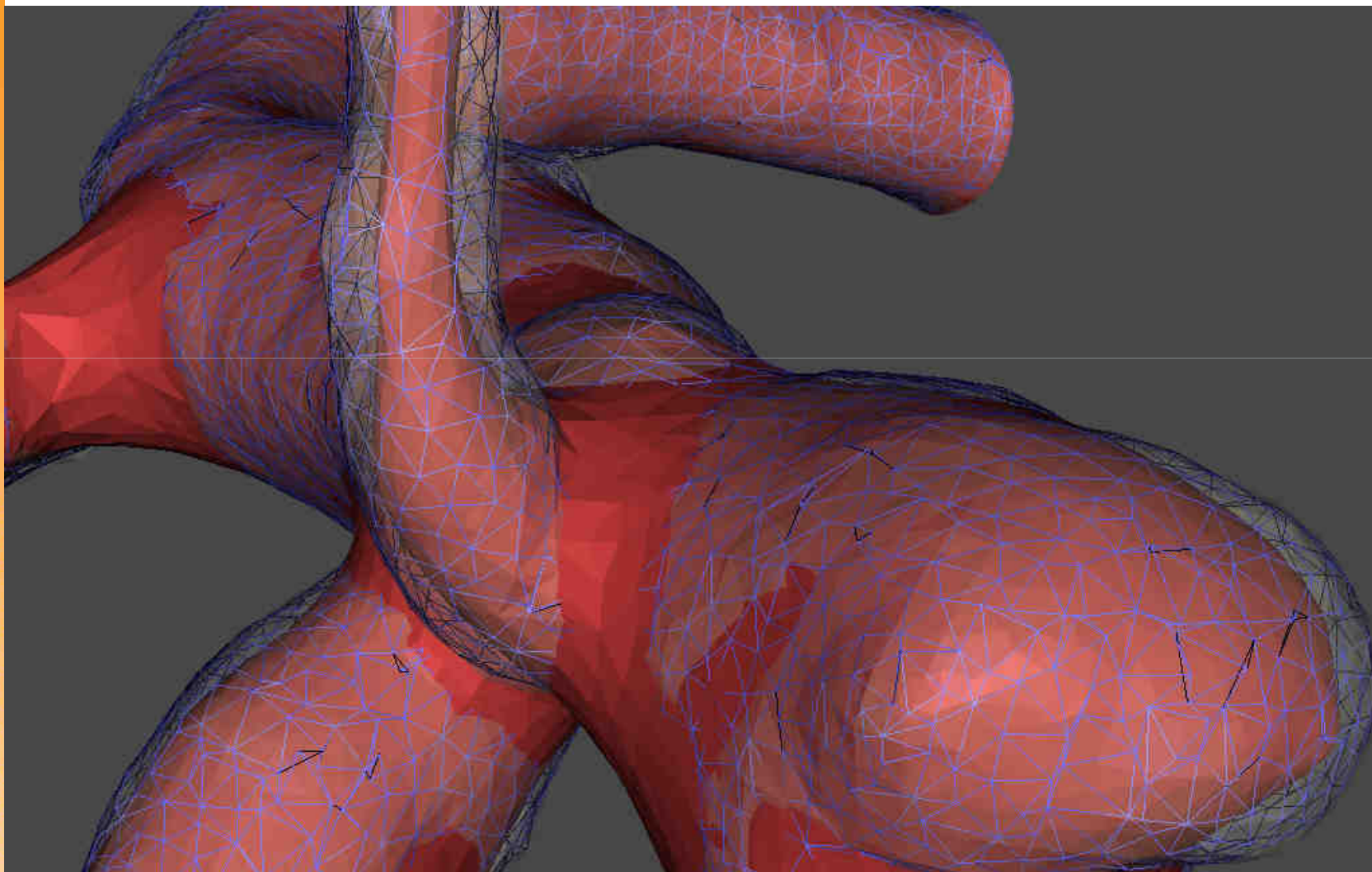
- stávající algoritmus nezachovává objem
  - fatální důsledky pro tenké cévy
- nový algoritmus
  - vyhlazené body posunuty zpět směrem k původním pozicím
    - ✦ redukuje problém - chyba 0.998
    - ✦ možnost vzniku překlopených trojúhelníků u „nehezkých“ modelů



# Smoothing



# Smoothing



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

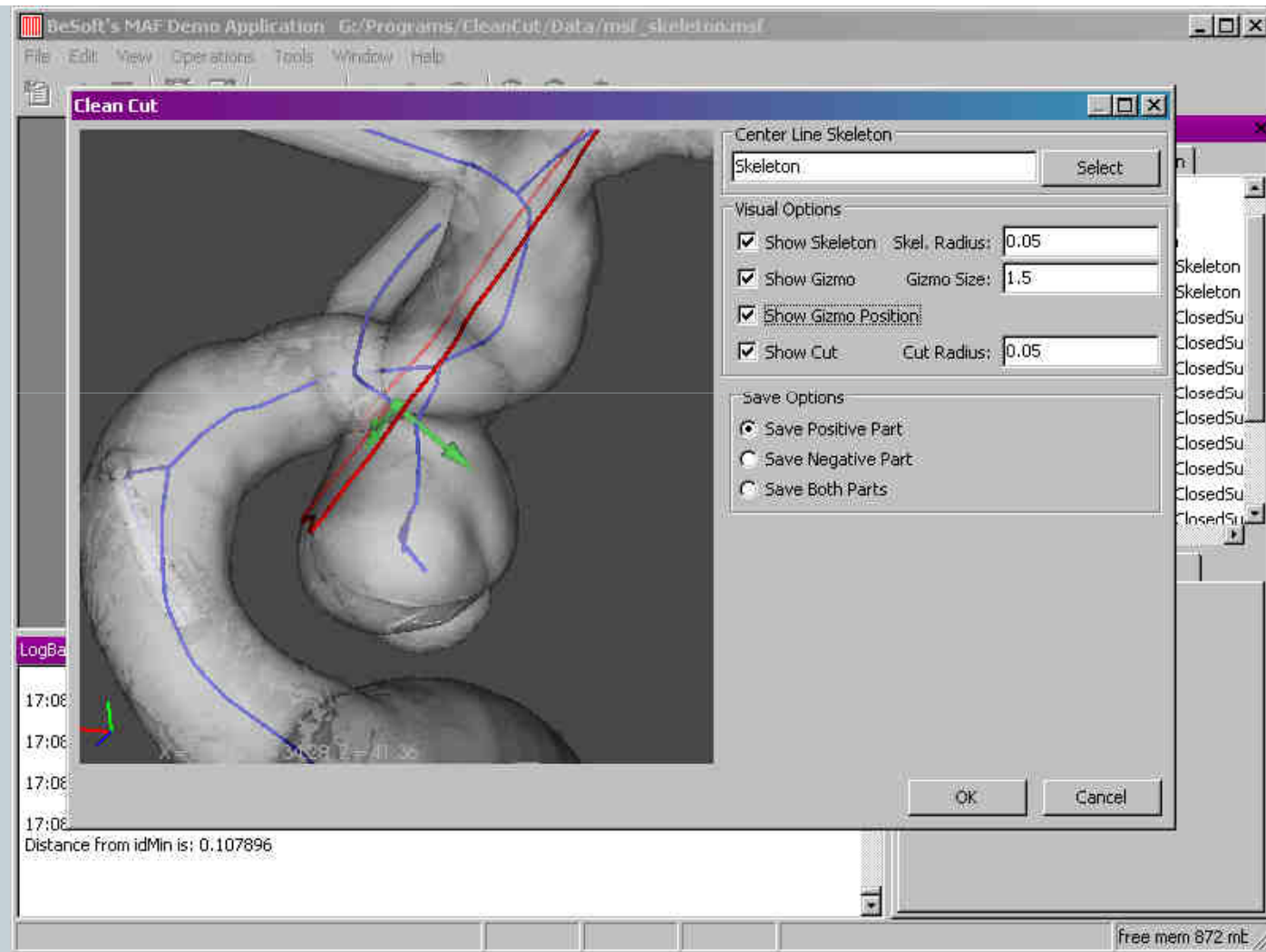
# CleanCut

- požadavek: odříznutí nechtěných částí dat (typicky části cévního řečiště)
- uživatel specifikuje místo odříznutí na skeletonu cév (opět interaktivní „gizmo“)
- automatické nalezení křivky na povrchu
  - řeže trojúhelníky na povrchu



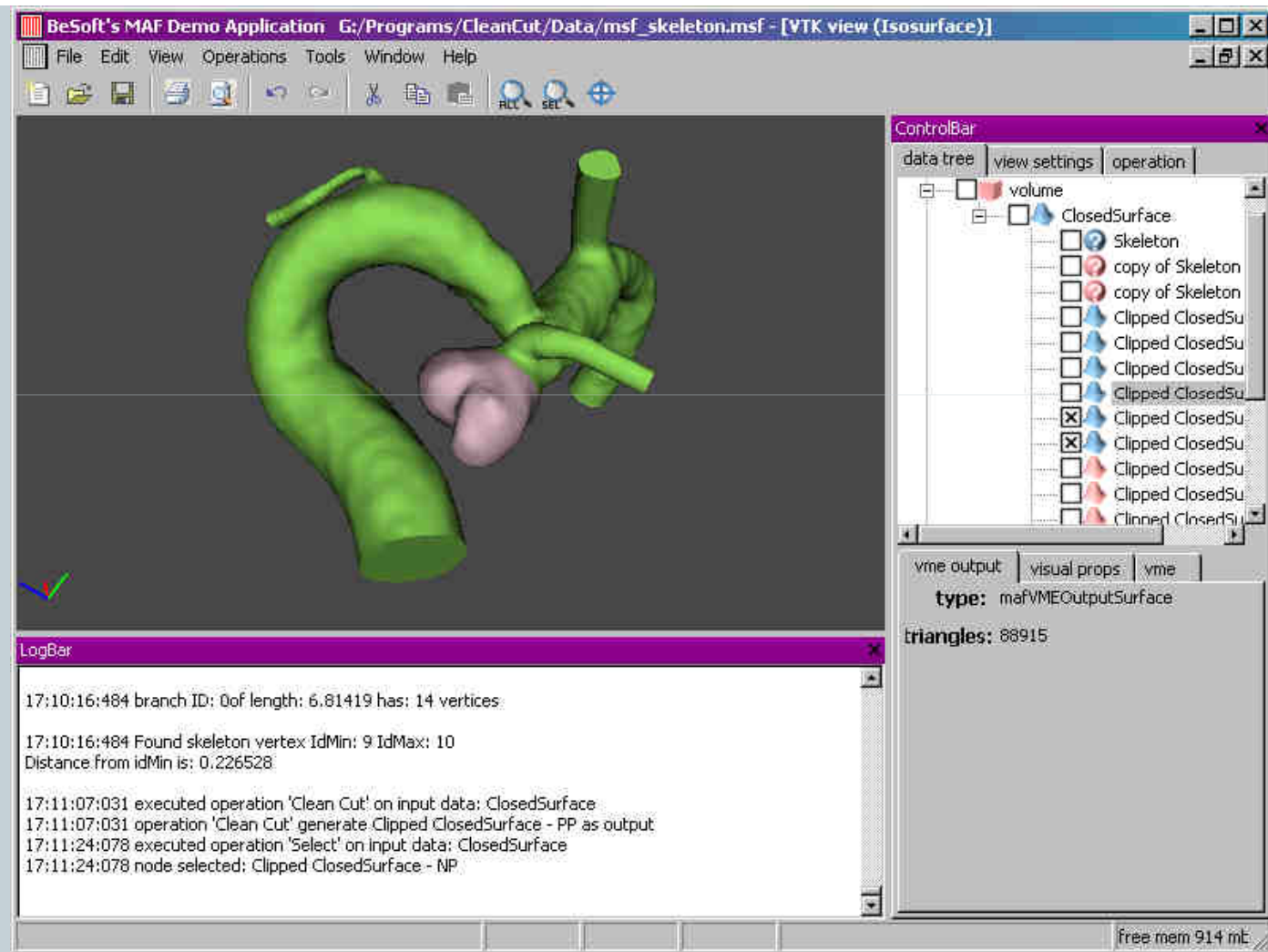
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# CleanCut



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# CleanCut



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# Výsledky



SliceOnCurve



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# ZAJÍMAVOSTI Z UK



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ