

Lūzumu ārstēšanas 3D drukāto fiksatoru topoloģiskā optimizācija ar galīgo elementu programmatūru.



Kristers Kokars, Armands Krauze, Jānis Oliņš, Aleksandrs Gutcaits

27.01.2023.



HPC Center

Projekts: Application of HPC Tools for the Optimization of 3D-printed Orthopedic Devices (OrthoHPC)

Uzsaukums: FF4EuroHPC: HPC Innovation for European SMEs

Partneri

- SIA CastPrint
- LU SMI (+LU MMI)
- RTU HPC centrs

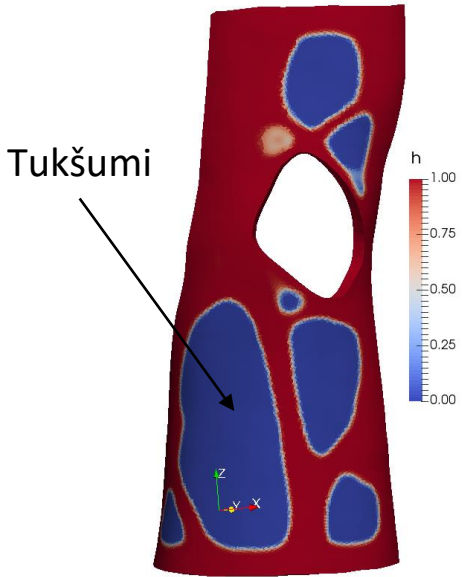
3D drukāti fiksatori

- Viegla, ūdensizturīga un ventilējoša alternatīva tradicionāliem ģipšiem
- Caurumi nodrošina ventilāciju un pieeju ādai
- Mērķis – samazināt izgatavošanas laiku, izmaksas, izmantotā materiāla daudzumu, saglabājot optimālas mehāniskās īpašības

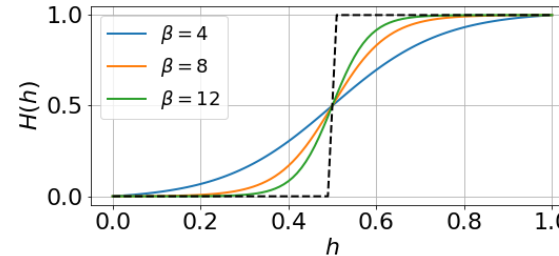


Topoloģiskā optimizācija, izmantojot blīvuma pieeju

Skalārs lauks h , kas nosaka materiāla sadalījumu

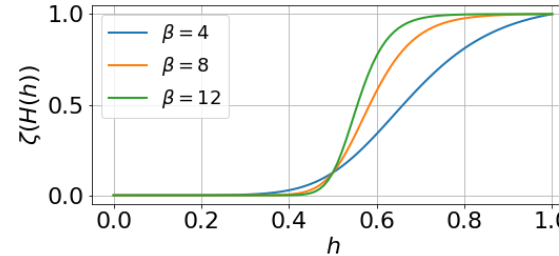


Hevisaida f-jas aproksimācija nosaka tilpuma aizpildījumu



$$V = \iiint H(h) dv$$

Speciāla interpolācija piešķir nelielas materiālo īpašību vērtības tukšumos



$$\lambda_{max}, \mu_{max} \rightarrow \lambda, \mu$$

$$\lambda_{min}, \mu_{min} \rightarrow \frac{\lambda}{1000}, \frac{\mu}{1000}$$

Optimizācijas modelis

$$P(h) = \underbrace{\iiint p^{ij} \varepsilon_{ij} dv}_{\text{Deformāciju enerģija spriegumu minimizēšanai}} + C \underbrace{\frac{(V - V_m)^2}{V_\Sigma^2}}_{\text{Mērķa tilpuma aizpildījuma uzspiešana}}$$

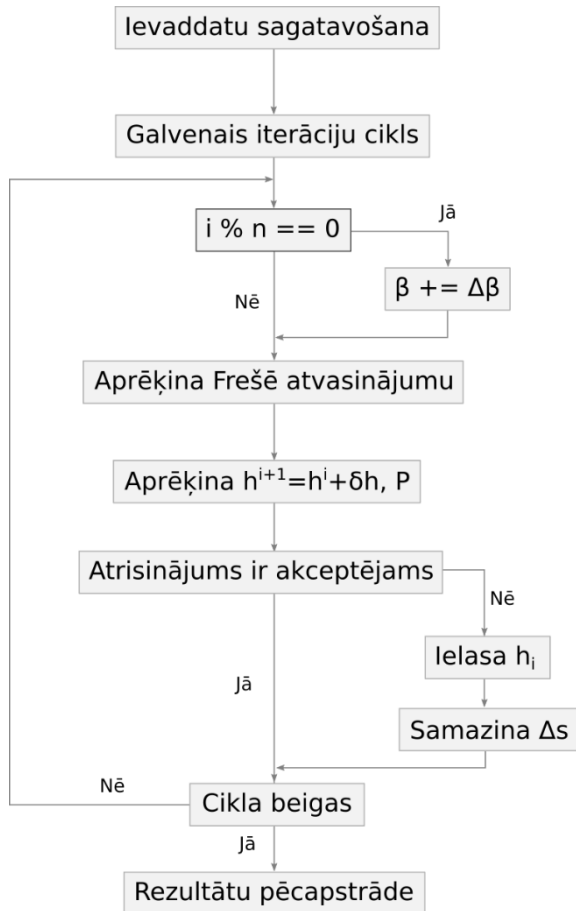
- λ, μ – tiešas h funkcijas, p^{ij}, ε_{ij} - netiešas h funkcijas
- Frešē atvasinājums
- h lauka izmaiņa δh noteiks P izmaiņu
- δh izvēlas tā, lai $\delta P < 0$

$$\delta h = - \left(-(\lambda'(\varepsilon_\alpha^\alpha)^2 + 2\mu' \varepsilon^{ij} \varepsilon_{ij}) + \frac{2C(V - V_m)}{V_\Sigma^2} H' \right) \Delta s \quad \text{Solis}$$

Topoloģiskās optimizācijas algoritma skaitliskā realizācija

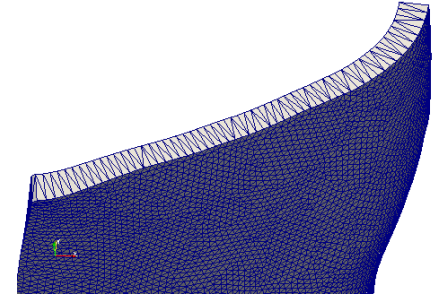
Algoritma shēma

- Algoritms uzrakstīts kā *Freefem* skripti
 - Balstīts uz *Charles Dapogny, simp canti.edp*
- Papildus *python* skripti ieejas datu apstrādei un rezultātu pēcapstrādei

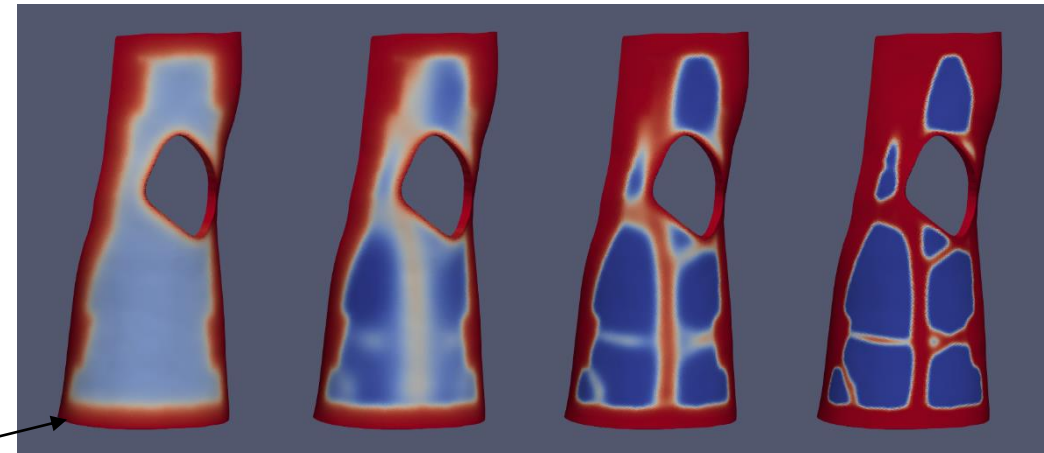


Vienādojumu skaitliskā integrēšana

- Galīgo elementu formulējums
- 1. kārtas elementi
- Viens šūnu slānis
 - Mīnuss – zemāka precizitāte
 - Plusi
 - Ātrdarbība
 - Rezultāti līdzīgi 2. kārtas elementiem



Atrisinājuma konverģences piemērs



Apgabals ar fiksētu aizpildījumu

Iterācijas

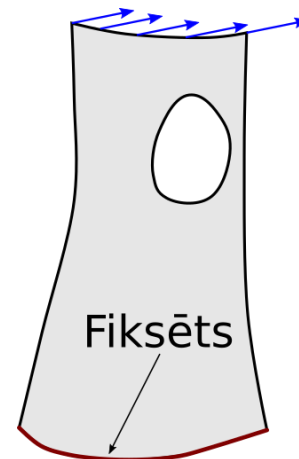
$i = 1$ $i = 20$ $i = 40$ $i = 81$

Pielikto spēku modeļi

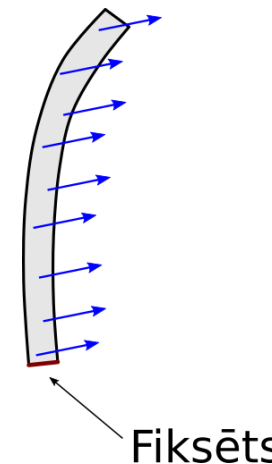
- Pieliktie spēki nosaka optimizācijas rezultātu
- Pieliktiem spēkiem jāmodelē reāli procesi
 - Atspiešanās pret galdu
 - Uzgulšanās virsū gultā utml.
- Jārisina kontaktproblēma
 - Konektoru savienojums
 - Mijiedarbība ar roku un cietu virsmu
- Ātrdarbības ierobežojums
 - Ierobēžots spēku skaits
 - Vienkāršoti kontaktproblēmas modeļi

Pielikto spēku modeļi

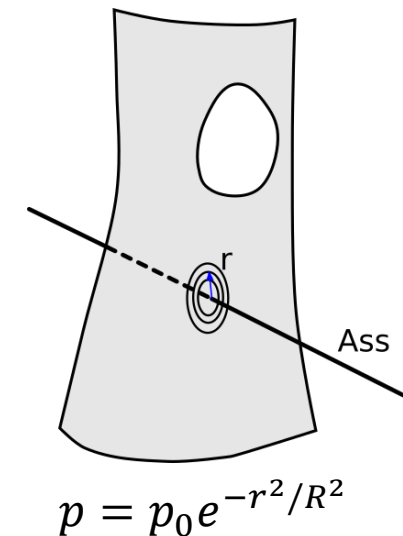
Spēki galos



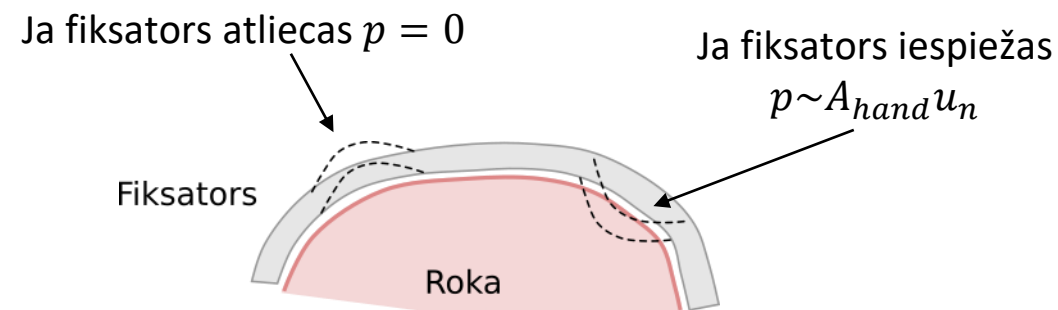
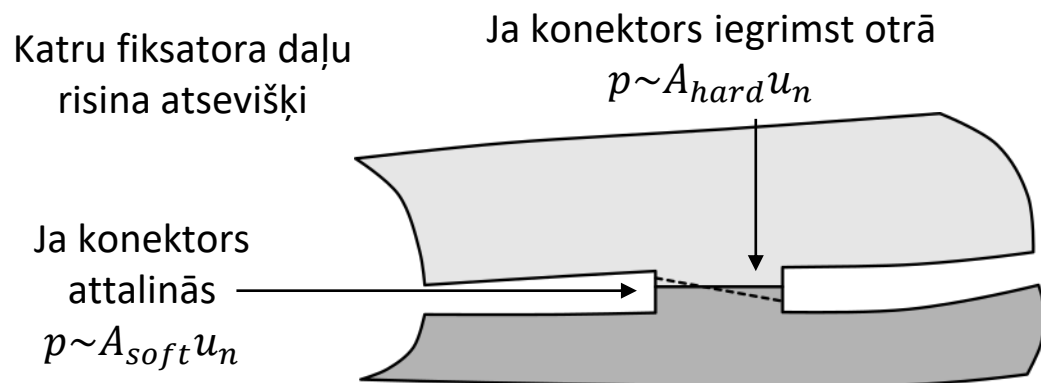
Tilpuma spēki



Punktveida virsmas spēki



Vienkāršoti kontaktproblēmas modeļi



Parametru studijas - punktveida spēku magnitūdas ietekme

PLA plastmasa	
E	2.9 GPa
σ	0.36
A_{soft}	$1 \cdot 10^{10}$
A_{hard}	$1 \cdot 10^{11}$
A_{hand}	$8.5 \cdot 10^6$
Mērķa aizpildījums	60 %

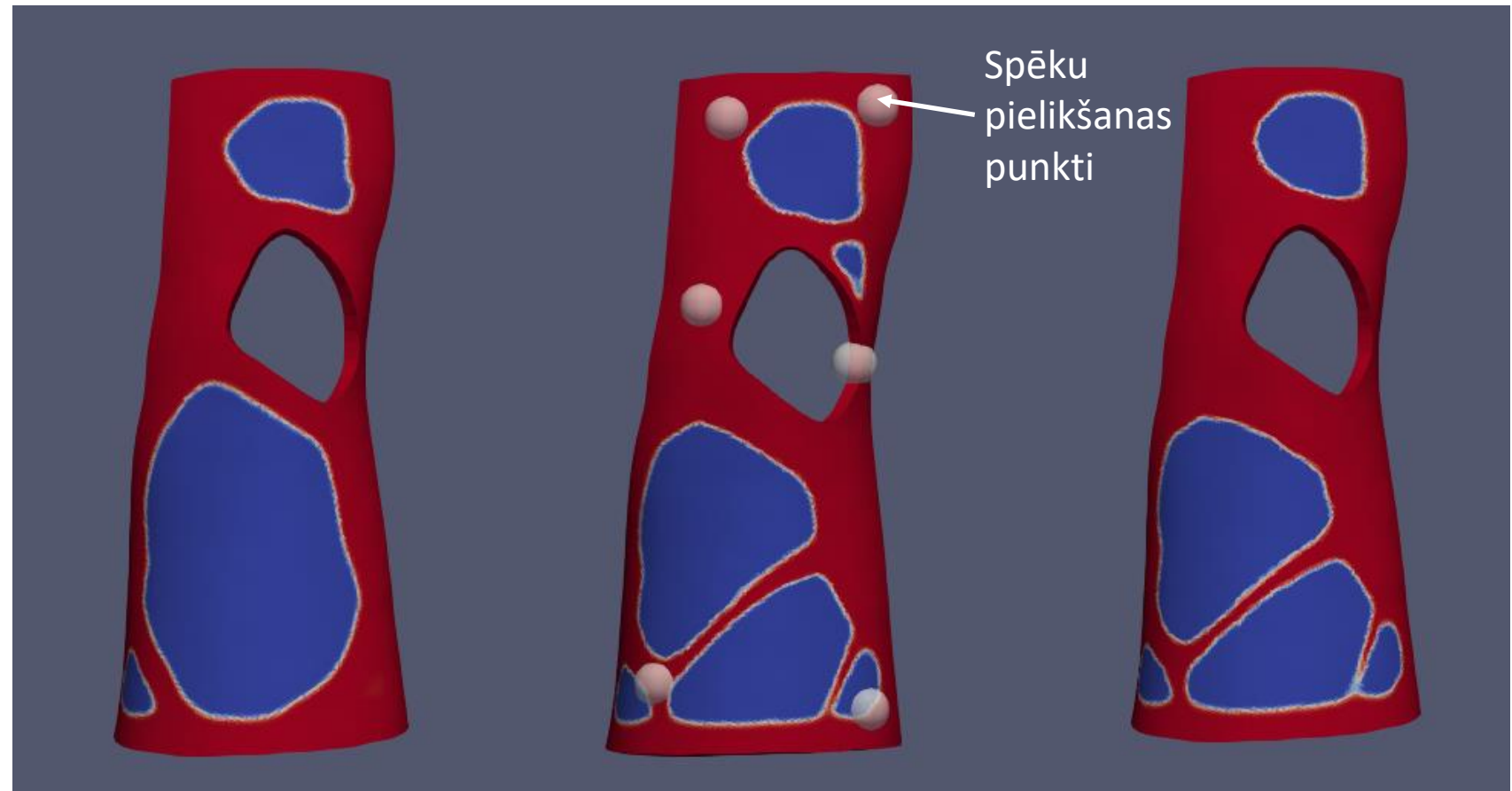
Optimāls sadalījums –

- Pēc iespējas lielāks caurumu skaits, izkliedēts izvietojums
- Mazs caurumu izmērs

Mazs skaits lielu caurumu

Optimums

Piesātinājums



$0,4 \cdot 10^6$ Pa

$1,2 \cdot 10^6$ Pa

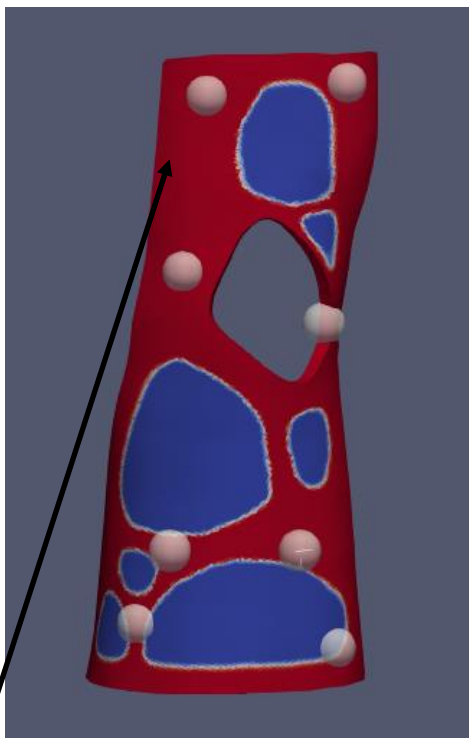
$1,6 \cdot 10^6$ Pa

Pieliktā punktveida spiediena vērtība

Punktu skaita / izvietojuma ietekme

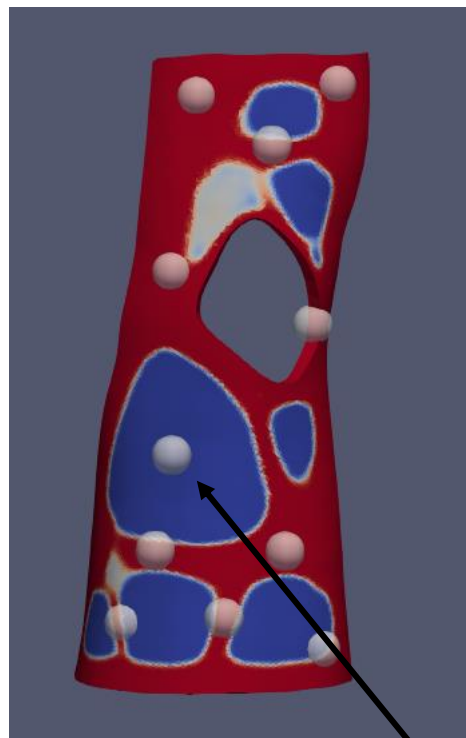
Pagaidām nav skaitliska mehānisma caurumu skaita palielināšanai – var mēģināt izvietot punktveida spēkus biežākajās caurumu vietās

→
Vairāk punktu – smalkāks tīklojums, vairāk caurumu



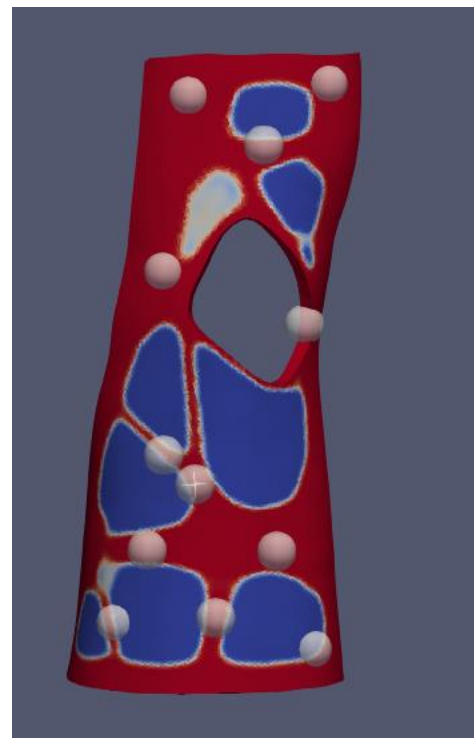
8 punkti

Būtiski, lai neveidojas plaši reģioni bez ventilācijas caurumiem

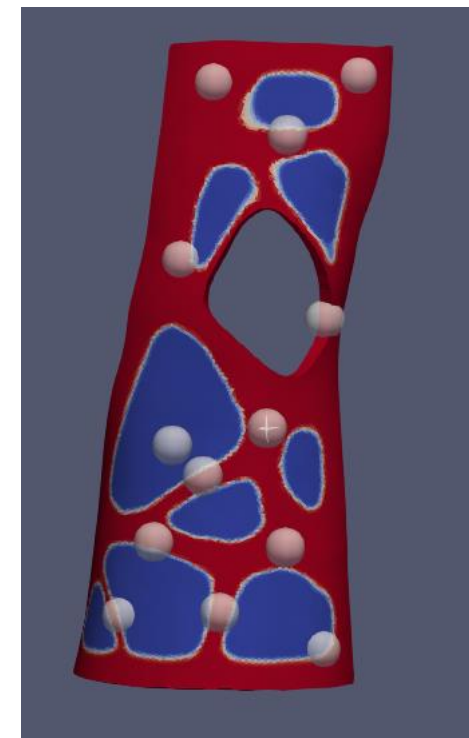


11 punkti

Mēdz arī neradīties aizpildījums ap punktiem



12 punkti

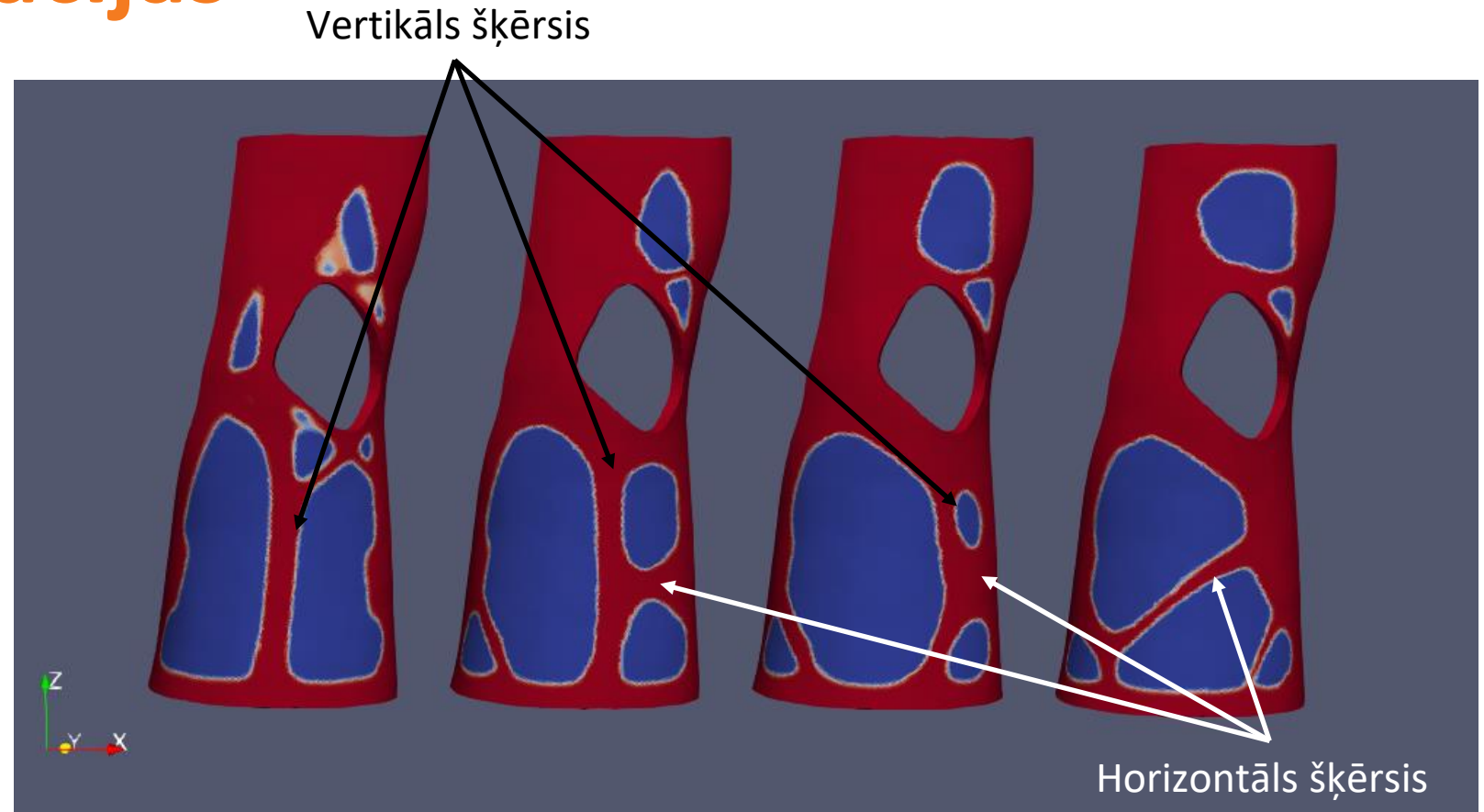


13 punkti

Liels punktu skaits samazina ātrdarbību, kā arī 'uzspiež' doto sadalījumu

Spēku kombinācijas

- Materiālu var deformēt netikai punktveida spēki, bet arī liece, ko var modelēt ar tilpuma spēku
- Papildus rīks, kas atstāj iespaidu uz materiāla sadalījumu lai korigētu problēmas
- Labākos sadalījumus rada daudz dažādu spēku kombinācija



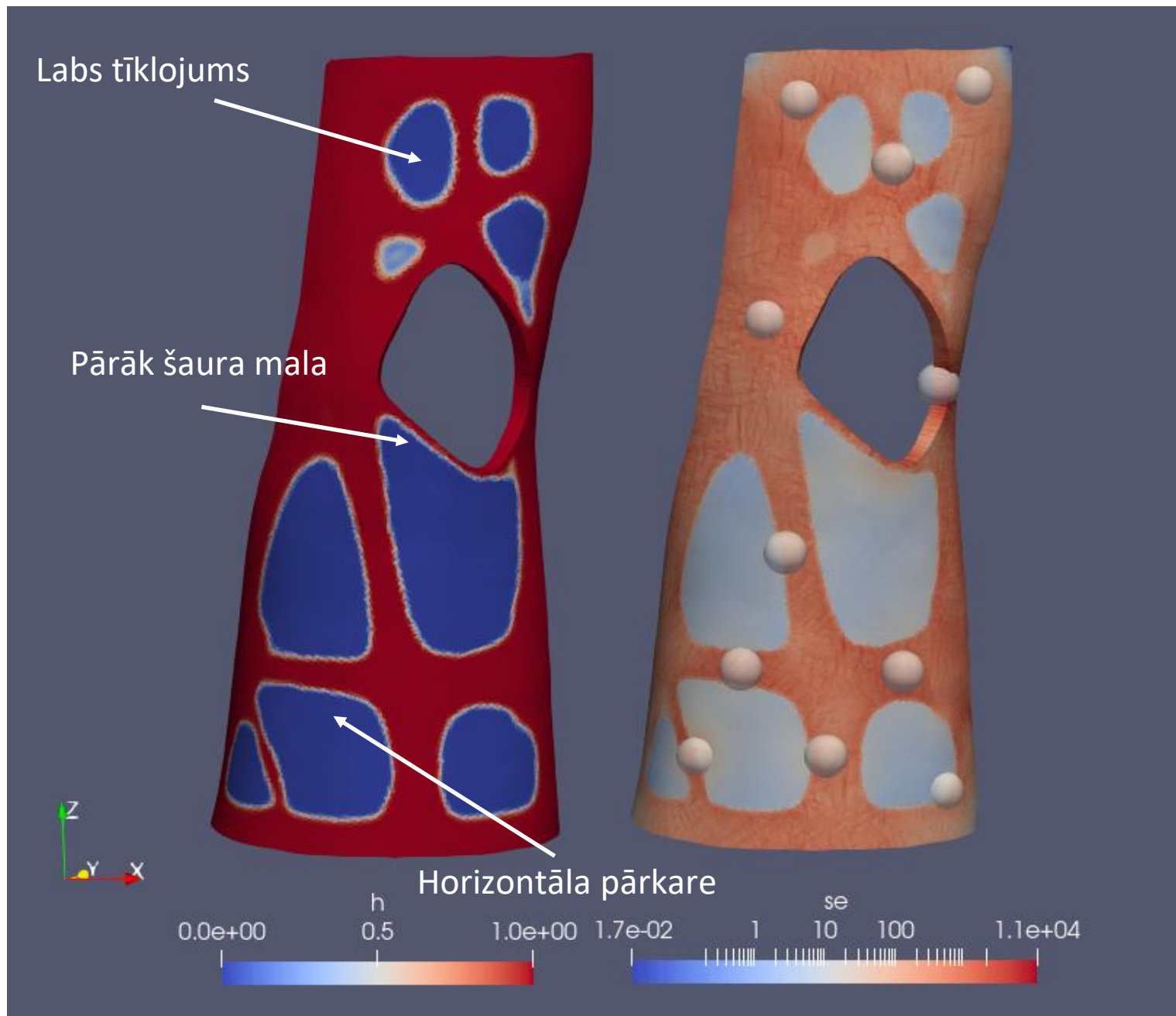
Tilpuma spēks y virzienā	$5 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^5$	$2,3 \cdot 10^5$	0
Punktveida spēki	0	$1 \cdot 10^6$	$1,2 \cdot 10^6$	$1,2 \cdot 10^6$

Rezultāts ar labu tīklojumu

11 punktveida spēki izvietoti trijstūros, 'liece' y virzienā, 'spiede/stiepe' z virzienā

- Liels caurumu skaits un plašs tīklojums
- Trausla šaura mala ap uzdoto caurumu
- Horizontāla pārkare, neskatoties uz lielo spēku z virzienā

11 punktveida spēki	$1,2 \cdot 10^6$
Tilpuma spēks y virzienā	$2,3 \cdot 10^5$
Tilpuma spēks z virzienā	$5 \cdot 10^6$
Mērķa aizpildījums	60%



Izdrukātie optimizācijas rezultāti

- No iegūtās optimizētās topoloģijas tiek izveidots drukas fails, kuru nododam Castprint drukāšanai
- Pirmie paraugi jau ir izdrukāti un tiks eksperimentāli pārbaudīti Materiālu mehānikas institūtā
 - Salīdzināsim izturību ar parastiem Castprint fiksatoriem
 - Pārbaudīsim vai skaitliski paredzētās trauslākās vietas sakrīt ar eksperimentu



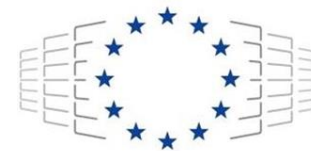
Secinājumi

- Izveidots skaitlisks modelis fiksatora topoloģijas optimizēšanai uz FreeFEM galīgo elementu programmatūras bāzes
- Veikta plaša parametrisko studiju sērija spēku izvietojuma un lieluma ietekmei uz materiāla sadalījumu
- Veiksmīgākie optimizācijas rezultāti nodoti Castprint, tiks eksperimentāli pārbaudīti
- Tālākas modeļa uzlabošanas iespējas:
 - Automātiska parametru pielāgošana dažādām rokām
 - Novērst horizontālas pārkares
 - Caurumu skaita palielināšana, izvietojuma kontrole
 - Izvairīšanās no šaurām malām, savienojumiem
 - Spēku shēmas atbilstība reāliem lietošanas apstākļiem

Paldies!



Co-funded by the Horizon 2020 programme
of the European Union



EuroHPC
Joint Undertaking