



**81. Latvijas Universitātes
starptautiskā zinātniskā
konference 2023**

Hidrodinamisko aprēķinu ar OpenFOAM efektivitātes testēšana uz HPC klasteriem

Kirils Surovovs, Jānis Virbulis

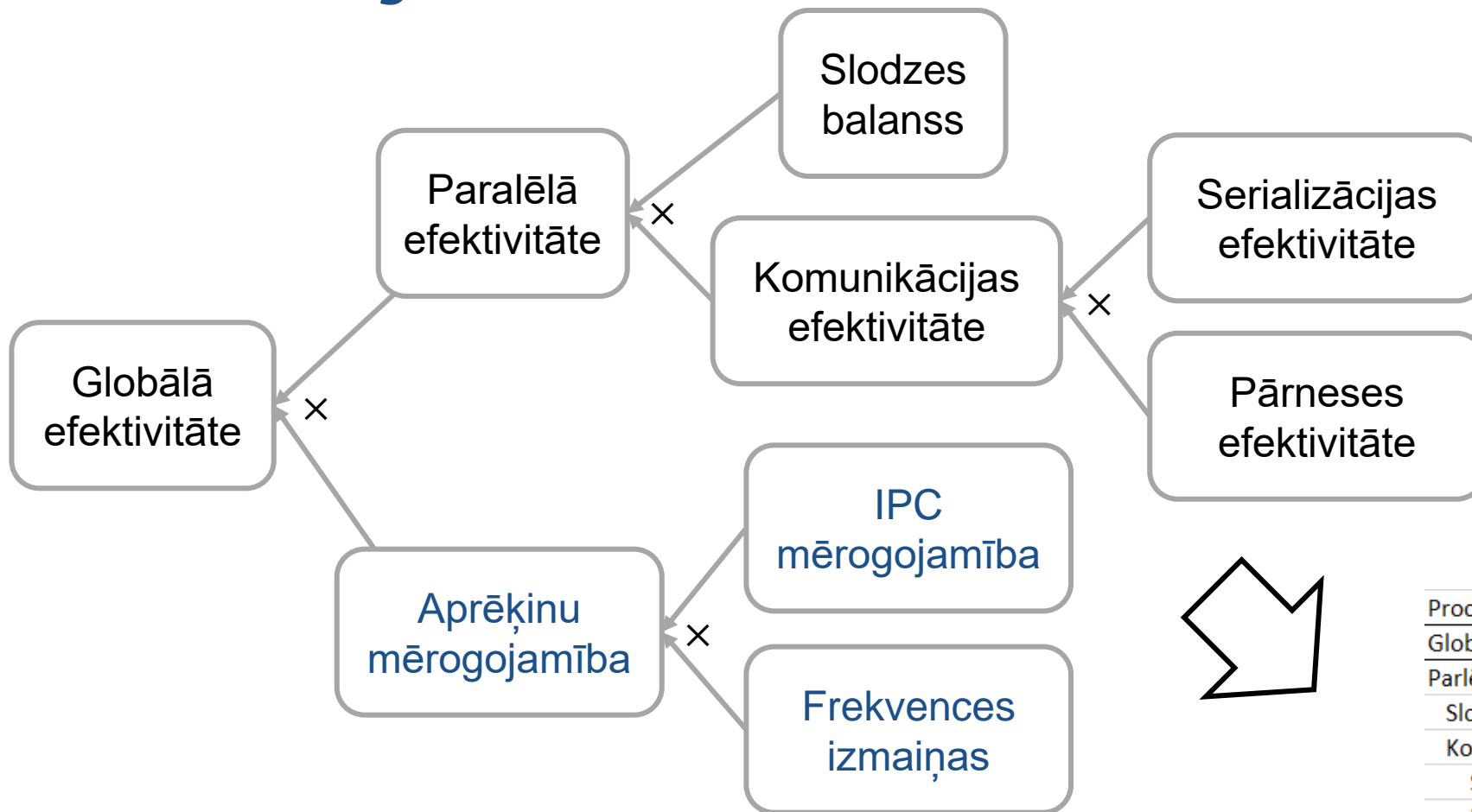
Rīga, 2023. gada 27. janvārī

Ievads

- Augstās veiktspējas aprēķini (*High Performance Computing, HPC*)
- Kā definēt un izmērīt efektivitāti?
- Šajā prezentācijā:
 - Efektivitātes definīcijas
 - Aprēķinu apraksts
 - Profilēšanas rezultāti
 - LU datorklasteris, RTU datorklasteris
 - Izmantotie rīki



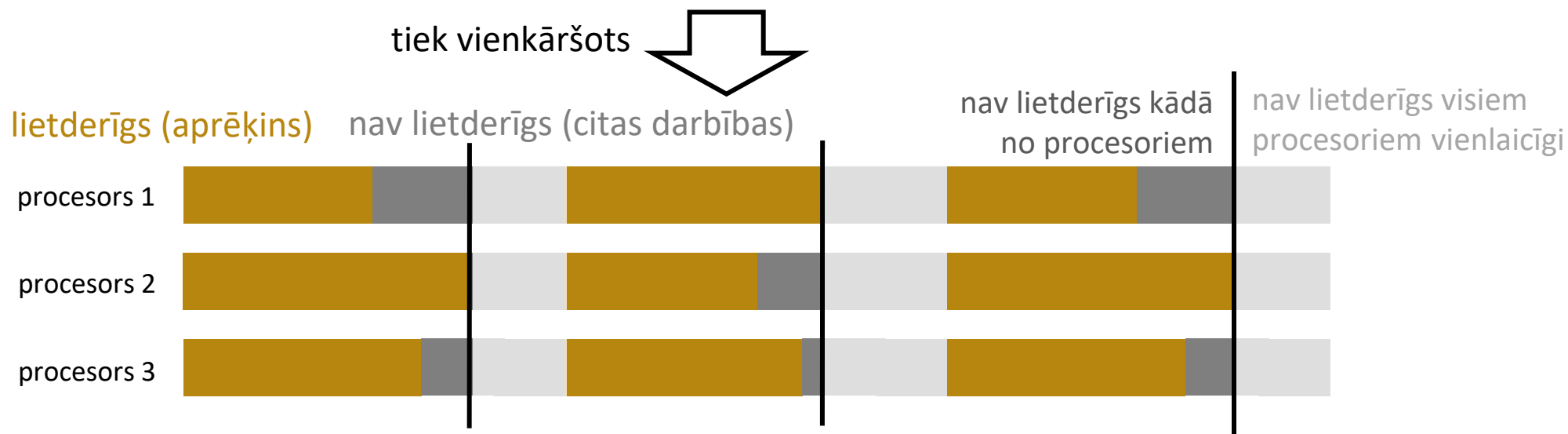
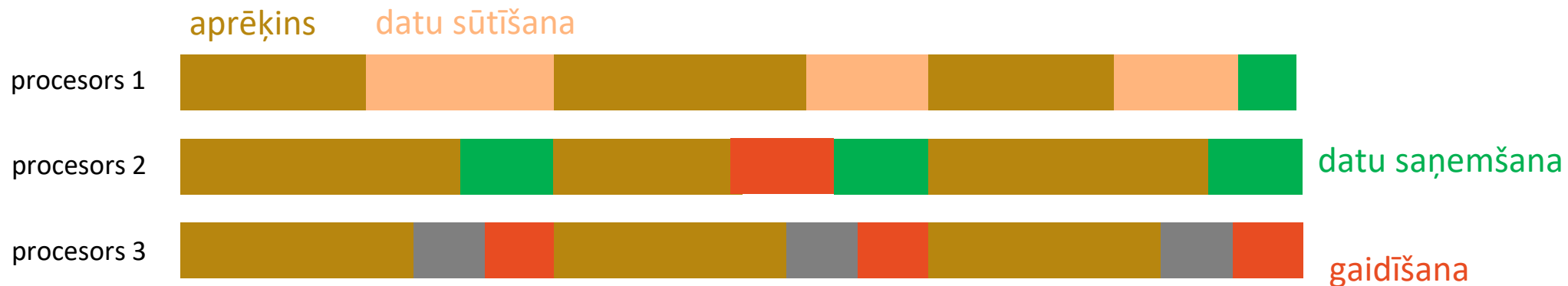
Definīcijas



Procesoru skaits	2	4	8	16
Globālā efektivitāte	96.9	106.4	91.1	74.3
Parlēlā efektivitāte	96.9	92.0	84.2	72.7
Slodzes balanss	98.8	98.8	93.7	89.9
Komunikācijas efektivitāte	98.1	93.1	89.9	80.9
Serializācijas efektivitāte	100.0	100.0	100.0	100.0
Pārneses efektivitāte	98.1	93.2	89.9	81.0
Aprēķinu mērogojamība	100.0	115.6	108.2	102.1

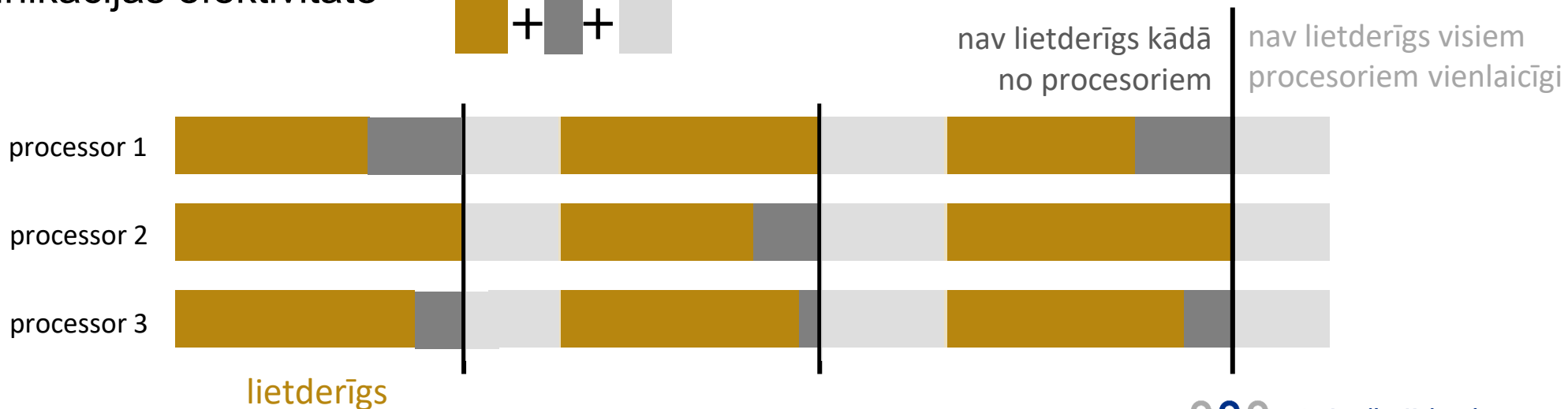
Definīcijas

Profilēšanas rezultāts jeb trase (angl. *trace*)

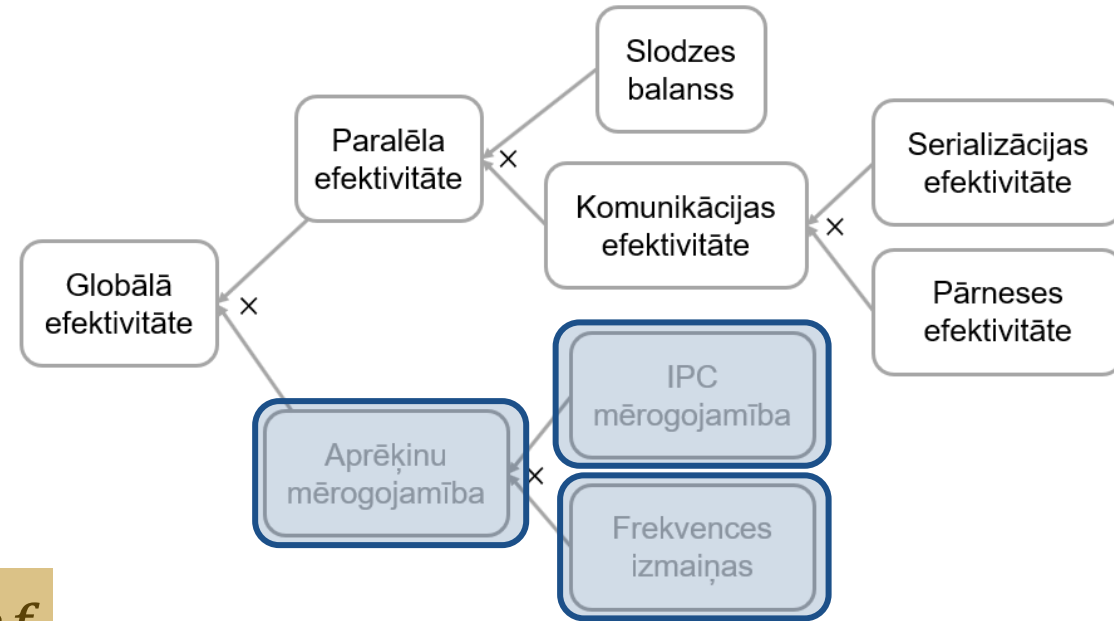


Paralēlā efektivitāte

- Paralēlā efektivitāte =
- Slodzes balanss =
- Komunikācijas efektivitāte =



Aprēķinu mērogojamība



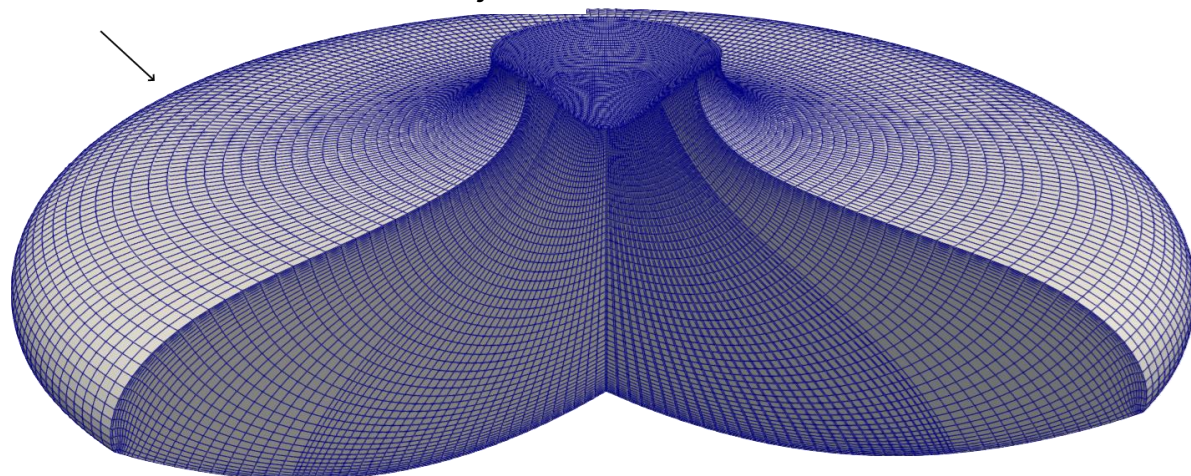
- Aprēķinu mērogojamība = $\frac{\text{Lietder.laiks}_{ref}}{\text{Lietder.laiks}_{cits}}$
- IPC mērogojamība: attiecība starp instrukciju skaitiem procesora ciklā (*instructions per cycle*) = $\frac{IPC_{ref}}{IPC_{cits}}$
- Frekvences izmaiņas = $\frac{f_{ref}}{f_{cits}}$

Aprēķinu apraksts

843 000 šūnas (paralēlskaldņi)

- pašizstrādāta programma (*fzsiTurbFoam*)
turbulentā plūsma (*oneEqEddy*), Arhimēda spēks

elektromagnētiskie un Marangoni spēki, inducētais siltums, starojums

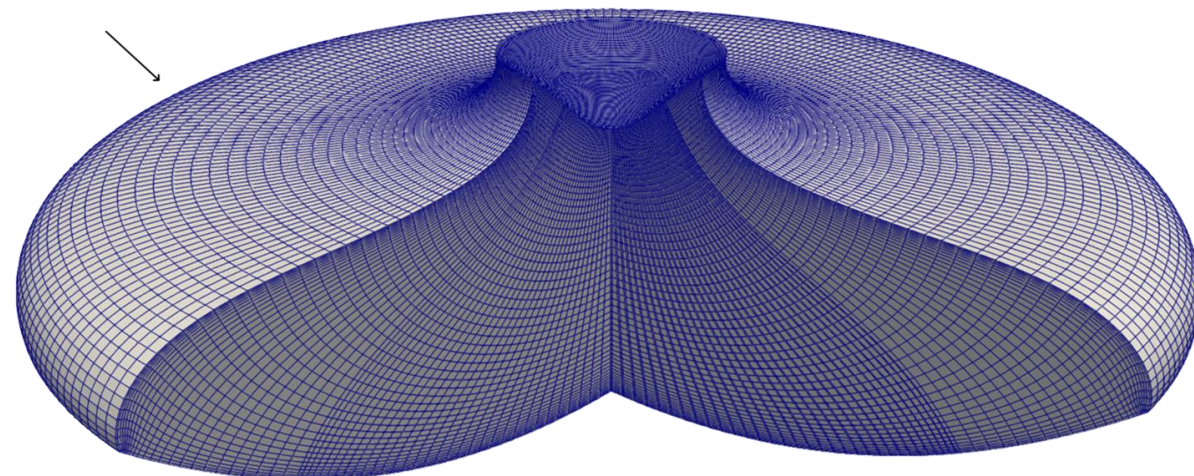


rotācija un izplūde, fiksēta temperatūra

ieplūde, fiksēta temperatūra

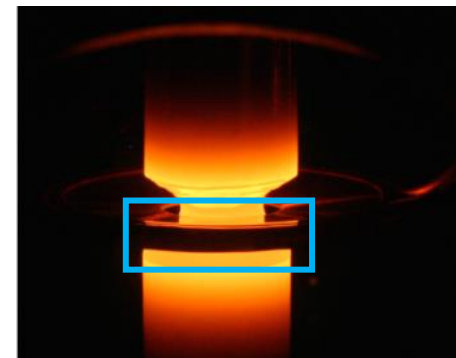
- standarta programma (*icoFoam*)
lamināra plūsma, konstants blīvums

slip



rotācija un izplūde

(c) M. Wunscher et. al., 2008



Profilēšanas rezultāti: dažādas programmas

	<i>fzsiTurbFoam</i> (pašizstrādāta programma)				<i>icoFoam</i> (standarta programma)			
	2	4	8	16	2	4	8	16
Procesoru skaits								
Globālā efektivitāte	96.9	106.4	91.1	74.3	96.8	106.2	93.0	77.0
Parlālā efektivitāte	96.9	92.0	84.2	72.7	96.8	91.3	84.8	74.7
Slodzes balanss	98.8	98.8	93.7	89.9	98.9	97.8	98.1	96.3
Komunikācijas efektivitāte	98.1	93.1	89.9	80.9	97.9	93.3	86.5	77.5
Serializācijas efektivitāte	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Pārneses efektivitāte	98.1	93.2	89.9	81.0	97.9	93.4	86.5	77.6
Aprēķinu mērogojamība	100.0	115.6	108.2	102.1	100.0	116.4	109.6	103.0
IPC mērogojamība	100.0	116.8	115.8	108.2	100.0	118.9	117.6	109.0
Instrukciju mērogojamība	100.0	98.4	98.1	100.6	100.0	98.1	98.3	101.1
Frekvences izmaiņas	100.0	100.6	95.2	93.9	100.0	99.8	94.9	93.4
Pātrinājums	1.0	2.2	3.8	6.1	1.0	2.2	3.8	6.4
Vidējais IPC	1.7	2.0	1.9	1.8	1.6	1.9	1.9	1.7
Vidējā frekvence (GHz)	3.9	3.9	3.7	3.7	3.9	3.9	3.7	3.6



Profilēšanas rezultāti: dažādi skaitļošanas mezgli

	node11 (jauns)					node8 (vecs)			
	2	4	8	16		2	4	8	16
Procesoru skaits	2	4	8	16		2	4	8	16
Globālā efektivitāte	96.9	106.4	91.1	74.3		97.5	95.3	73.6	48.2
Parlālā efektivitāte	96.9	92.0	84.2	72.7		97.5	93.9	87.1	79.2
Slodzes balanss	98.8	98.8	93.7	89.9		99.2	98.5	94.1	91.1
Komunikācijas efektivitāte	98.1	93.1	89.9	80.9		98.3	95.3	92.6	87.0
Serializācijas efektivitāte	100.0	100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0	100.0
Pārneses efektivitāte	98.1	93.2	89.9	81.0		98.4	95.4	92.6	87.0
Aprēķinu mērogojamība	100.0	115.6	108.2	102.1		100.0	101.5	84.5	60.9
IPC mērogojamība	100.0	116.8	115.8	108.2		100.0	103.2	95.6	71.8
Instrukciju mērogojamība	100.0	98.4	98.1	100.6		100.0	97.9	97.6	99.1
Frekvences izmaiņas	100.0	100.6	95.2	93.9		100.0	100.5	90.5	85.5
Pātrinājums	1.0	2.2	3.8	6.1		1.0	2.0	3.0	4.0
Vidējais IPC	1.7	2.0	1.9	1.8		1.4	1.5	1.4	1.0
Vidējā frekvence (GHz)	3.9	3.9	3.7	3.7		2.7	2.7	2.5	2.3

	node11	node8
Architecture	x86_64	x86_64
CPU op-mode(s)	32-bit, 64-bit	32-bit, 64-bit
CPU(s)	48	16
Thread(s) per core	1	1
Core(s) per socket	24	8
Socket(s)	2	2
NUMA node(s)	4	2
Model name	Intel(R) Xeon(R) Gold 5220R CPU @ 2.20GHz	Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2650 0 @ 2.00GHz
CPU MHz	1083.955	1861.4
CPU max MHz	4000	2800
CPU min MHz	1000	1200
BogoMIPS	4400	3990.11
L1d cache	32K	32K
L1i cache	32K	32K
L2 cache	1024K	256K
L3 cache	36608K	20480K

Profilēšanas rezultāti: dažādi datorklasteri

	RTU klasteris (<i>wn03</i> mezgls)					LU klasteris (<i>node11</i> mezgls)			
	2	4	8	16		2	4	8	16
Procesoru skaits	2	4	8	16		2	4	8	16
Globālā efektivitāte	97.2	100.8	86.8	63.6		96.8	106.2	93.0	77.0
Parlālā efektivitāte	97.2	87.5	77.1	58.4		96.8	91.3	84.8	74.7
Slodzes balanss	99.6	95.9	97.3	94.8		98.9	97.8	98.1	96.3
Komunikācijas efektivitāte	97.6	91.3	79.3	61.6		97.9	93.3	86.5	77.5
Serializācijas efektivitāte	100.0	100.0	100.0	100.0		100.0	100.0	100.0	100.0
Pārneses efektivitāte	97.6	91.3	79.3	61.6		97.9	93.4	86.5	77.6
Aprēķinu mērogojamība	100.0	115.1	112.5	109.0		100.0	116.4	109.6	103.0
IPC mērogojamība	100.0	117.8	115.0	117.2		100.0	118.9	117.6	109.0
Instrukciju mērogojamība	100.0	98.5	100.1	100.2		100.0	98.1	98.3	101.1
Frekvences izmaiņas	100.0	99.2	97.8	92.8		100.0	99.8	94.9	93.4
Pāatrinājums	1.0	2.1	3.6	5.2		1.0	2.2	3.8	6.4
Vidējais IPC	1.5	1.8	1.8	1.8		1.6	1.9	1.9	1.7
Vidējā frekvence (GHz)	3.6	3.6	3.6	3.4		3.9	3.9	3.7	3.6

	RTU	LU
Architecture	x86_64	x86_64
CPU op-mode(s)	32-bit, 64-bit	32-bit, 64-bit
CPU(s)	72	48
Thread(s) per core		1
Core(s) per socket	18	24
Socket(s)	4	2
NUMA node(s)	4	4
Model name	Intel(R) Xeon(R) Gold 6140 CPU @ 2.30GHz	Intel(R) Xeon(R) Gold 5220R CPU @ 2.20GHz
CPU MHz	2300	1083.955
CPU max MHz		4000
CPU min MHz		1000
BogoMIPS	4600	4400
L1d cache	32K	32K
L1i cache	32K	32K
L2 cache	1024K	1024K
L3 cache	25344K	36608K

Profilēšanas rezultāti: citi secinājumi

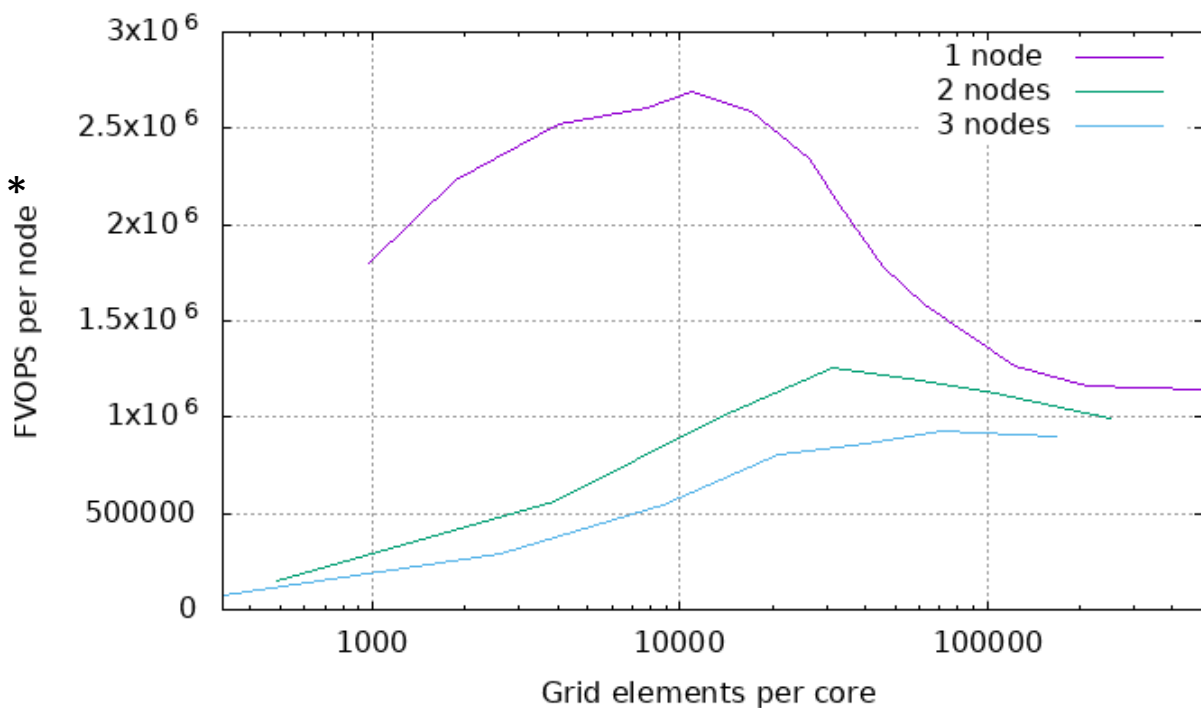
1. OpenFOAM versijas izmaiņa no 3. uz 9. nemaina efektivitāti
2. Ar divreiz lielāko režģi – par 10% labāka globālā efektivitāte
3. Vienkāršā režģa sadalīšanas metode tikai par 5% pasliktina globālo efektivitāti, salīdzinot ar *scotch* metodi
4. Rēķinot uz vairākiem mezgliem, aprēķinu mērogojamība neuzlabojās



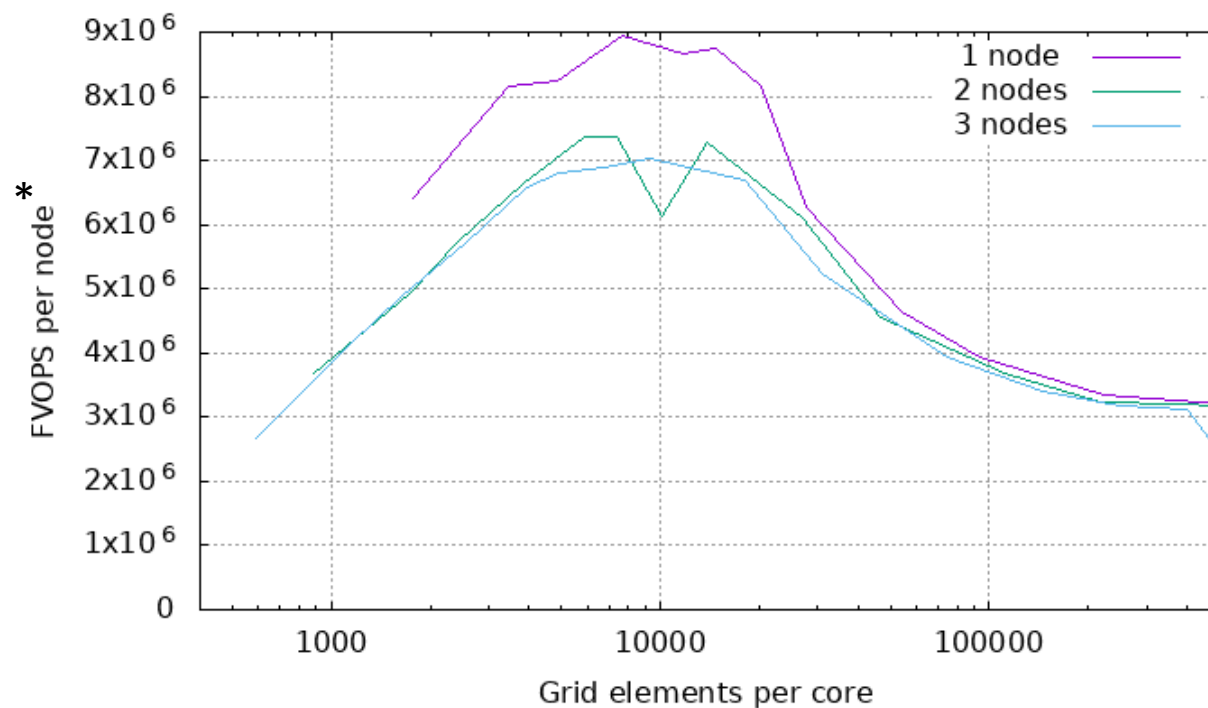
Aprēķini uz vairākiem mezgliem

FVOPS = *Finite VOlumes solved Per Second*

LU, nodes 4/5/6



RTU, nodes wn01/wn03/wn07,
ar *infiniband* starpmezglu savienojumu



* aizpildot visu mezglu, t.i. x ass atbilst režģa lielumam, bet procesoru skaits ir konstants



Izmantotie rīki

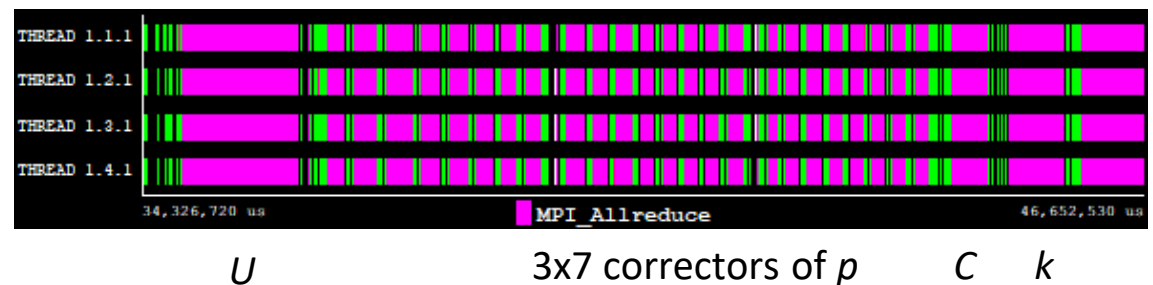
```
<?xml version='1.0'?>
<trace enabled="yes"
  home="@sub_PREFIXDIR@"
  initial-mode="detail" burst
  type="paraver">
  #!/bin/sh
  >
```

```
# Configure Extrae
export EXTRAE_CONFIG_FILE=./extrae.xml

# Load the tracing library (choose C/Fortran)
export LD_PRELOAD=${EXTRAE_LIB}/libmpitrace.so # C
#export LD_PRELOAD=${EXTRAE_HOME}/lib/libmpitracef.so # Fortran

# Run the program
$*
```

1. Trases parametru definēšana (1),
palaišanas skripts (2)
2. Trases iegūšana ar *extrae* programmu
3. Trases apstrāde ar *basic-analysis* skriptu, kas
izmanto *paraver* un *dimemas* programmas



Izstrādātāji: Barcelonas Superskaitļošanas Centrs

<https://tools.bsc.es/downloads>,
https://tools.bsc.es/tools_hands-on

```
==== Output File: Other Metrics =====
Speedup, IPC, Frequency, I/O and Flushing written to /mnt/bee

Overview of the Efficiency metrics:
=====
```

	Trace mode	Burst+MPI	Burst+MPI
Processes [Trace Order]	2 [1]	4 [2]	
Global efficiency	97.93%	101.55%	
-- Parallel efficiency	97.93%	90.21%	
-- Load balance	99.60%	95.74%	
-- Communication efficiency	98.32%	94.23%	
-- Serialization efficiency	Non-Avail	Non-Avail	

Paldies par uzmanību!



**81. Latvijas Universitātes
starptautiskā zinātniskā
konference 2023**