

SLING



Dnevi SLING

Uporaba HPC pri razvoju gospodinjskih aparatov

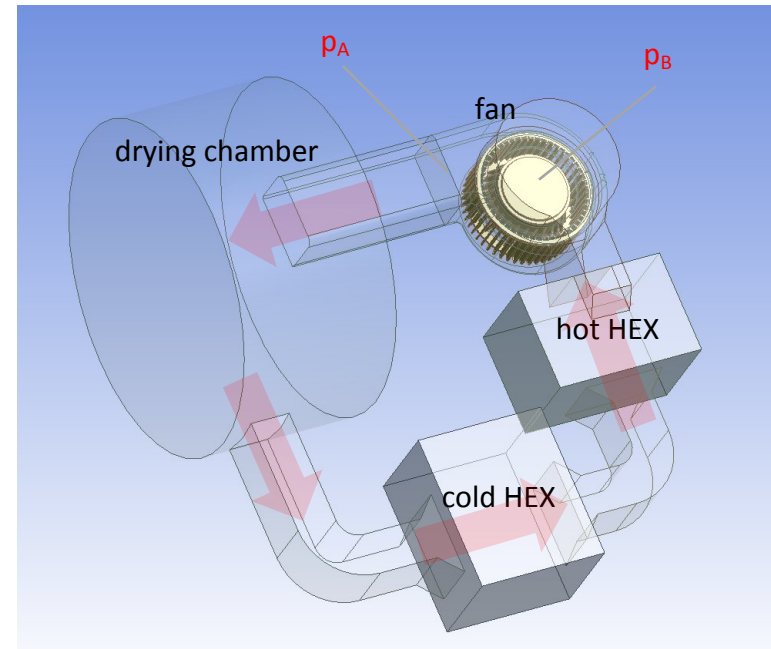
Dr. Jure Mencinger, Gorenje d.o.o. (Hisense Europe)

3.-5. december 2024

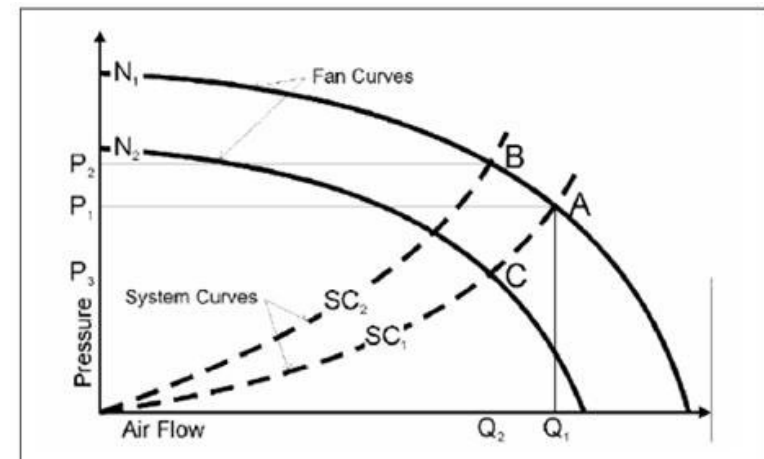
- Uporaba HPC pri razvoju gospodinjskih aparatov – vsebina:
 - Primer sušilnega stroja za perilo.
 - Osnovni principi uporabljene računske metode (CFD).
 - Zakaj HPC namesto PC-ja/delovne postaje?
 - Uporaba HPC v (naši) praksi.

• Sušilni stroj za perilo

- Princip delovanja – kroženje zraka v stroju:
 - suh in topel zrak suši perilo v bobnu (prejme vlago),
 - zrak odda vlago na hladnem toplotnem prenosniku,
 - osušen zrak se ogreje na vročem toplotnem prenosniku,
 - kroženje zraka zagotavlja z ventilator.
- Cilji pri razvoju aparata:
 - velika hitrost sušenja,
 - majhna poraba energije,
 - tiho delovanje,
 - nizka proizvodna cena.
- Ključno za doseganje razvojnih ciljev:
 - pravilna izbira komponent,
 - čim višji pretok krožečega zraka => nižji zračni upor zaprtega sistema (sistemska karakteristika).



Shematski prikaz kroženja zraka v sušilnem stroju

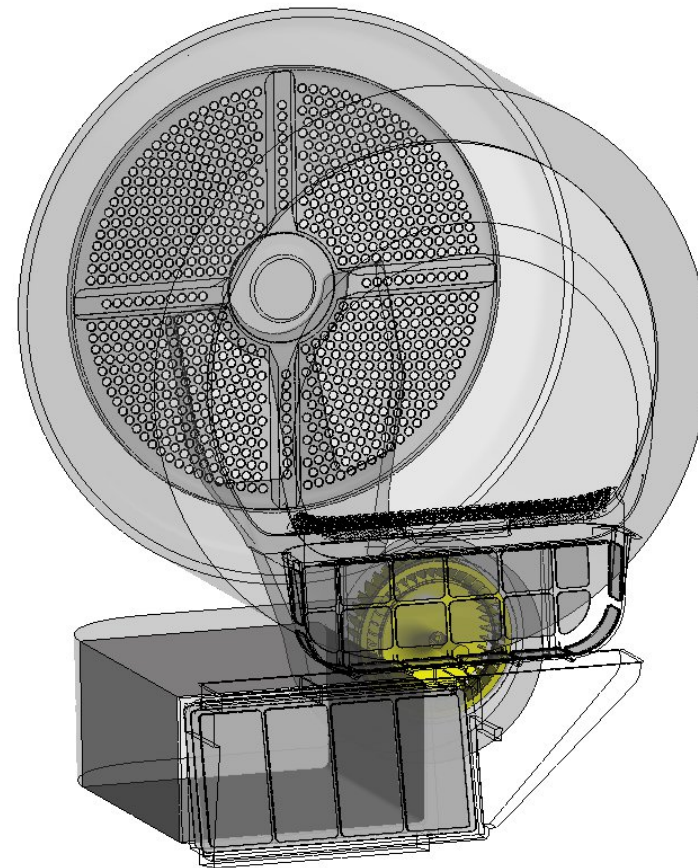


Karakteristiki ventilatorjev in sistema

- Upoštevana geometrija sušilnega stroja

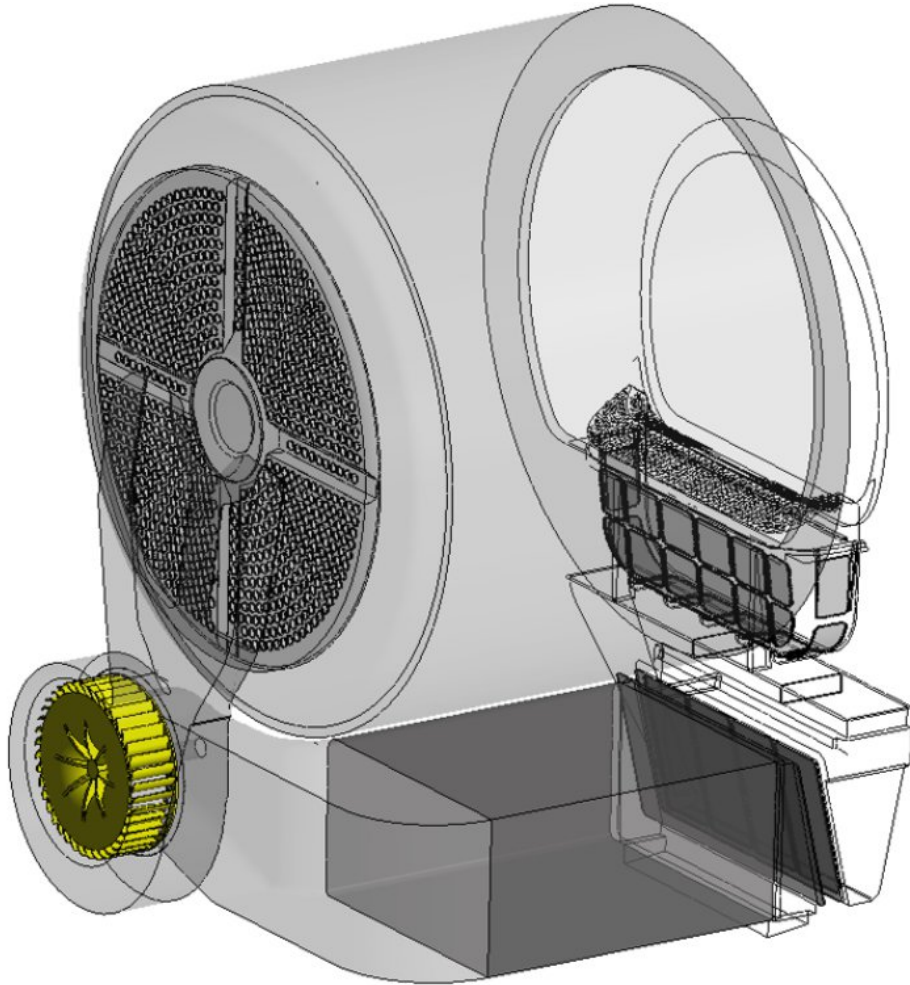


Sušilni stroj za perilo



Zaprta zrakotesna domena kroženja zraka v sušilnem stroju

• Izračun hitrostnega in tlačnega polja



Zaprta domena kroženja zraka = računska domena

- Pretok zraka skozi presek S izračunamo iz hitrostnega polja $\vec{v}(\vec{x}, t)$ v aparatu:

$$Q = \int_S \vec{v} \cdot d\vec{S}.$$

- Hitrostno polje izračunamo iz enačb

$$\rho \left[\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla \vec{v} \right] = -\nabla p + \nabla \cdot \left(\mu \left[\nabla \vec{v} + (\nabla \vec{v})^T \right] \right) + \vec{f},$$
$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = 0,$$

kjer je $p(\vec{x}, t)$ tlačno polje, ρ in μ sta gostoto in viskoznost tekočine, \vec{f} je gostoto prostorske sile.

- Rešitev mora zadostiti predpisanim robnim pogojem, npr.:

$$\vec{v}(\vec{x} = \vec{x}_{\text{wall}}, t) = \vec{v}_{\text{wall}}(t).$$

- In začetnim pogojem

$$\vec{v}(\vec{x}, t = t_0) = \vec{v}_0(\vec{x}).$$

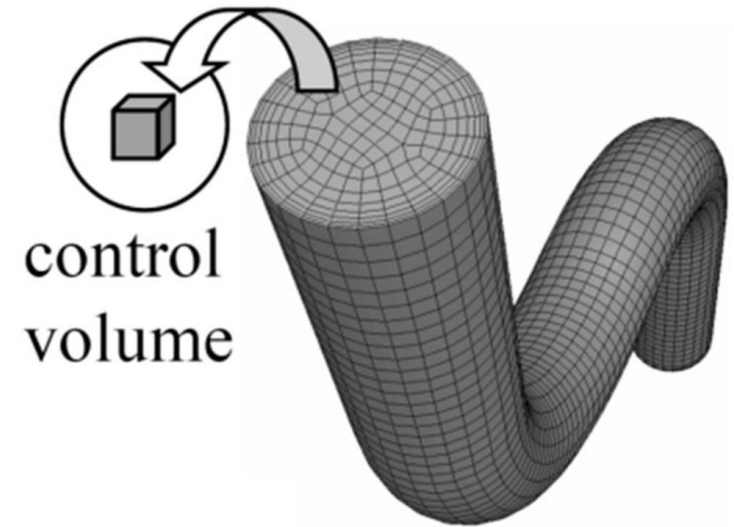
• Numerično reševanje (CFD)

- Z metodo končnih volumnov izračunamo *aproksimativne numerične rešitve relevantnih transportnih enačb*.
- Metoda končnih volumnov (MKV, angl. Finite Volume Method (FVM)):
 - Računsko domeno razdelimo na množico povezanih celic (KV) => *računska mreža*.
 - Transportno enačbo z integracijo po celici (KV) pretvorimo v diskretno algebrsko obliko

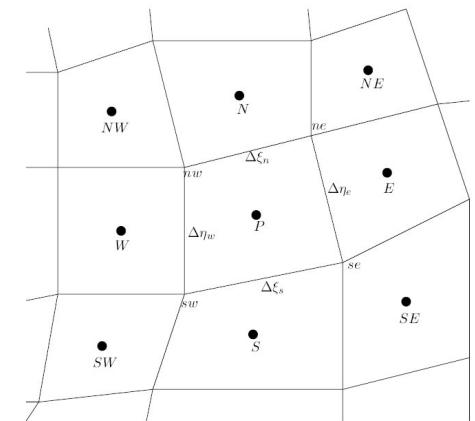
$$a_P \Phi_P = \sum_{nb} a_{nb} \Phi_{nb} + b_P$$

Φ_P izračunano polje (u, v, w, p, T, k, ϵ , ω ...) v celici P.

- Algebrska enačba povezuje (povprečno) vrednost obravnavane količine v celici (npr. hitrosti) z njenimi vrednostmi v sosednjih celicah.
- Domeno popolnoma pokriva N celic => N algebrskih enačb za vsako transportno enačbo => sistem N linearnih (lineariziranih) enačb za N neznank.
- Koeficienti a_{nb} , ki so lahko odvisni od Φ ali drugih polj (nelinearnost, sklopitev enačb).
- Sistem enačb rešujemo iterativno - s postopki, ki upoštevajo redkost matrike (angl. sparse solvers).
- Komercialna CFD orodja: v Gorenju uporabljamo CFD paket ANSYS Fluids.



Računska mreža pokriva celotno domeno.



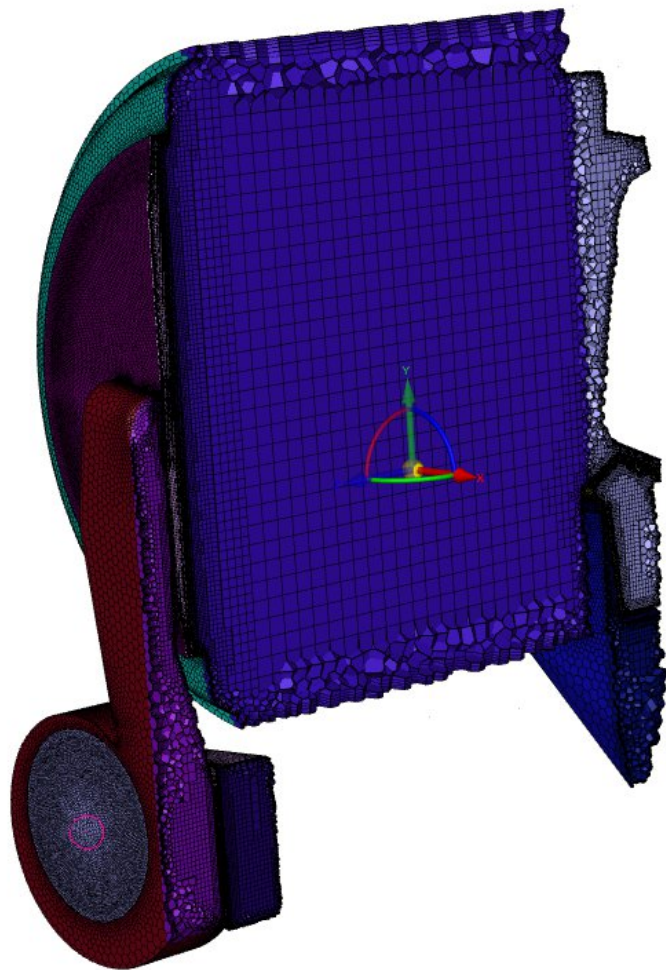
Kontrolni (končni) volumen/celica s sosednjimi celicami v 2D

- Računska mreža

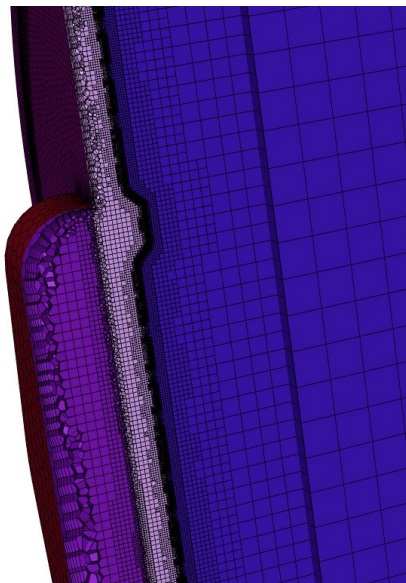


Računska mreža „poly-hex“

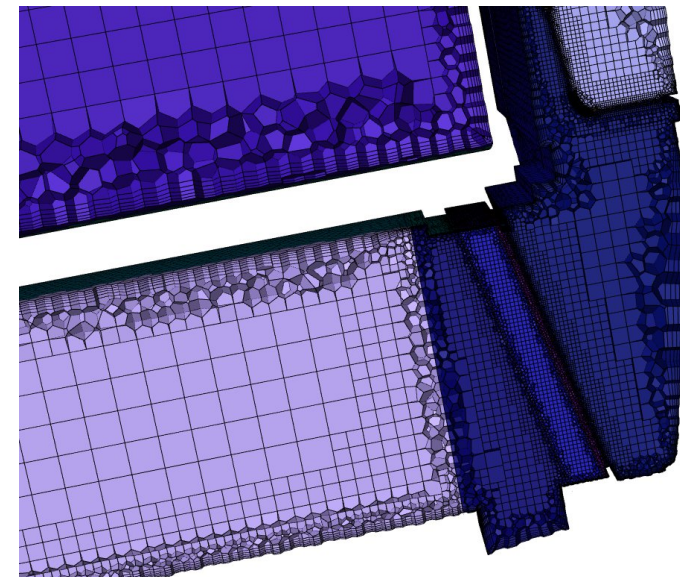
- Računska mreža - detajli



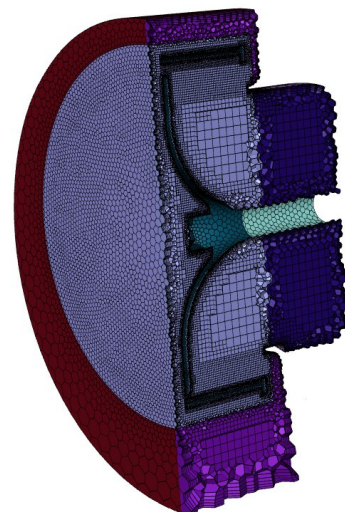
Računska mreža - prerez



Detajl #1: zgostitev pri perforacij bobna



Detajl #3: vstop v toplotni prenosnik



Detajl #2: okolica ventilatorja

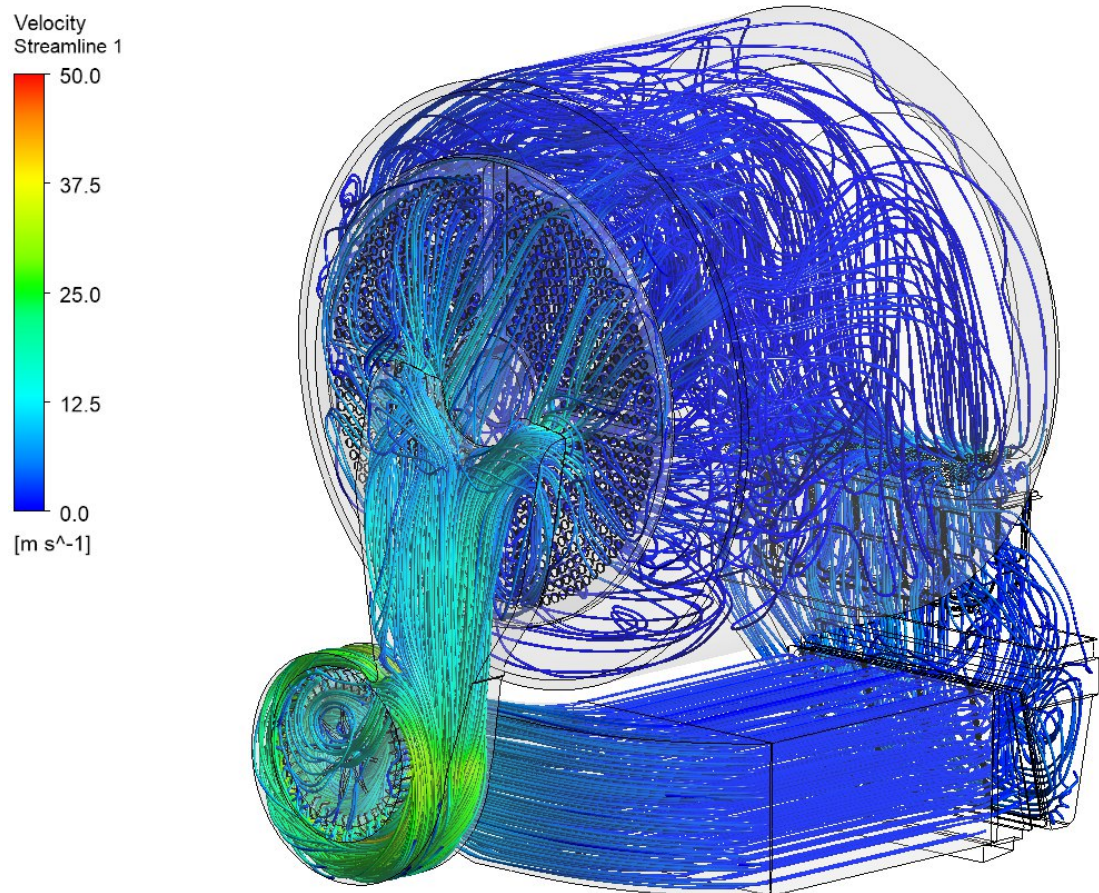
Mesh Size

Level	Cells	Faces	Nodes
0	24913162	115833435	70242411

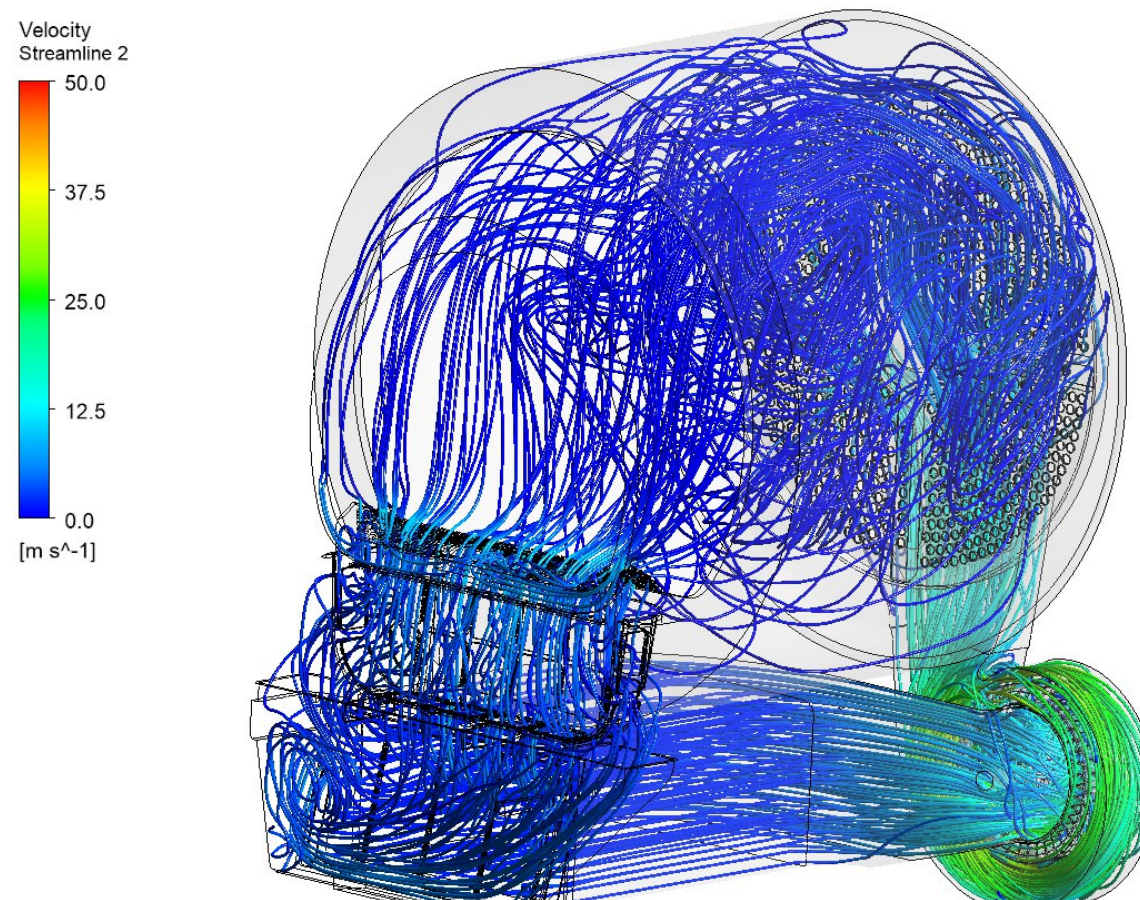
35 cell zones, 138 face zones.

Računska mreža – statistika

- Rezultat: tokovnice



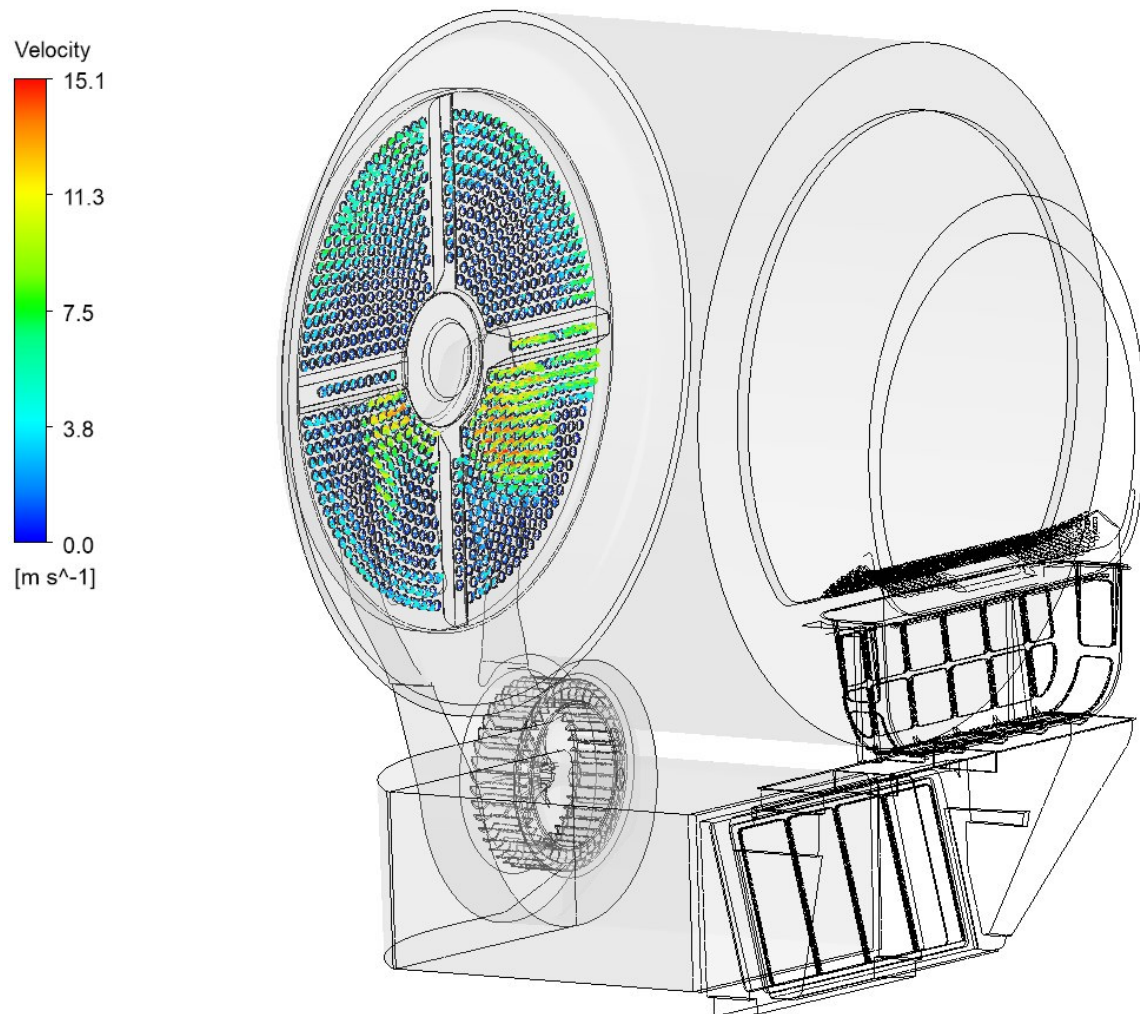
flowrate: 234.7 m³/h (= 138.2 cfm)



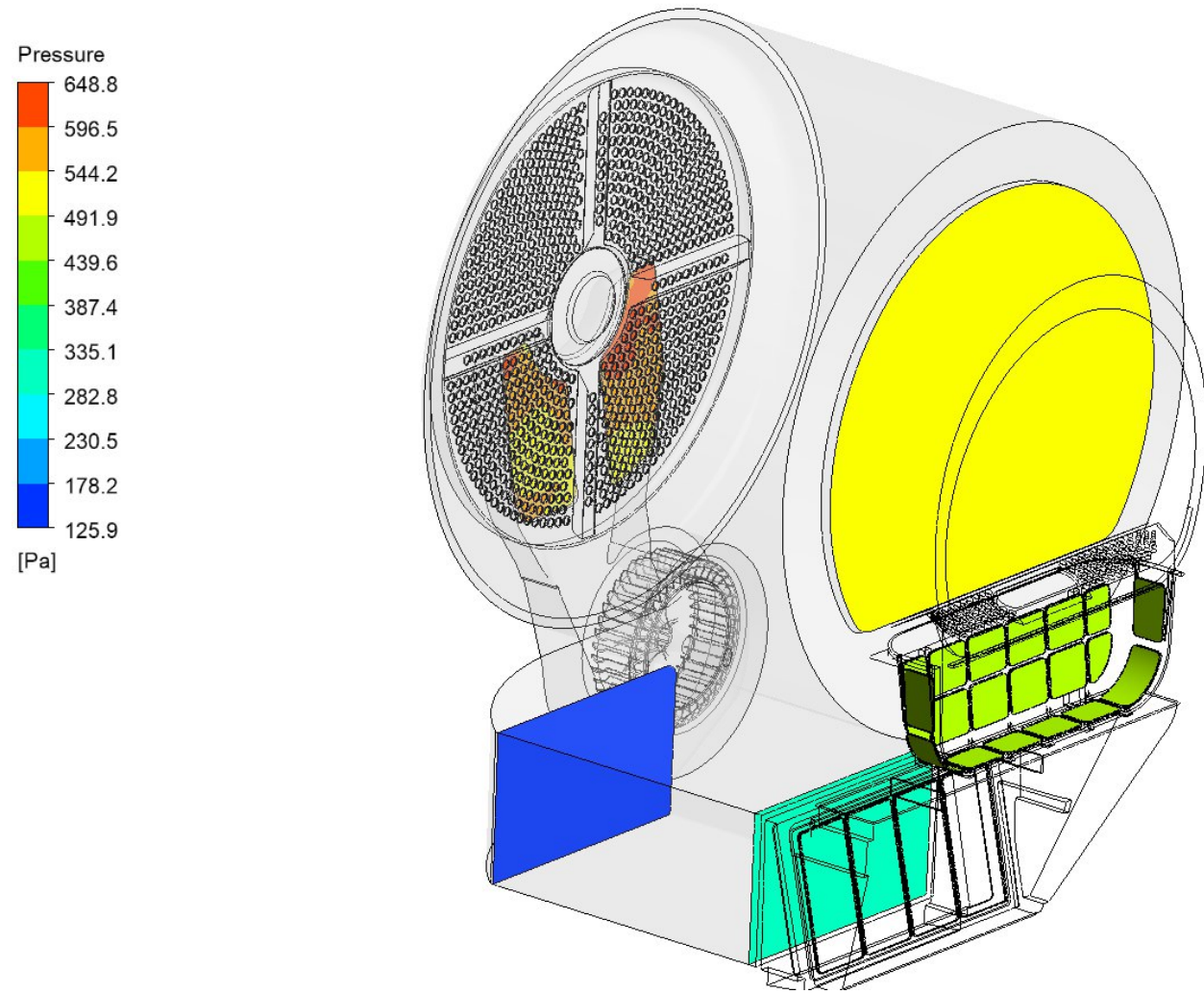
flowrate: 234.7 m³/h (= 138.2 cfm)

Izračunane tokovnice

- Rezultat: hitrostno polje in statični tlak

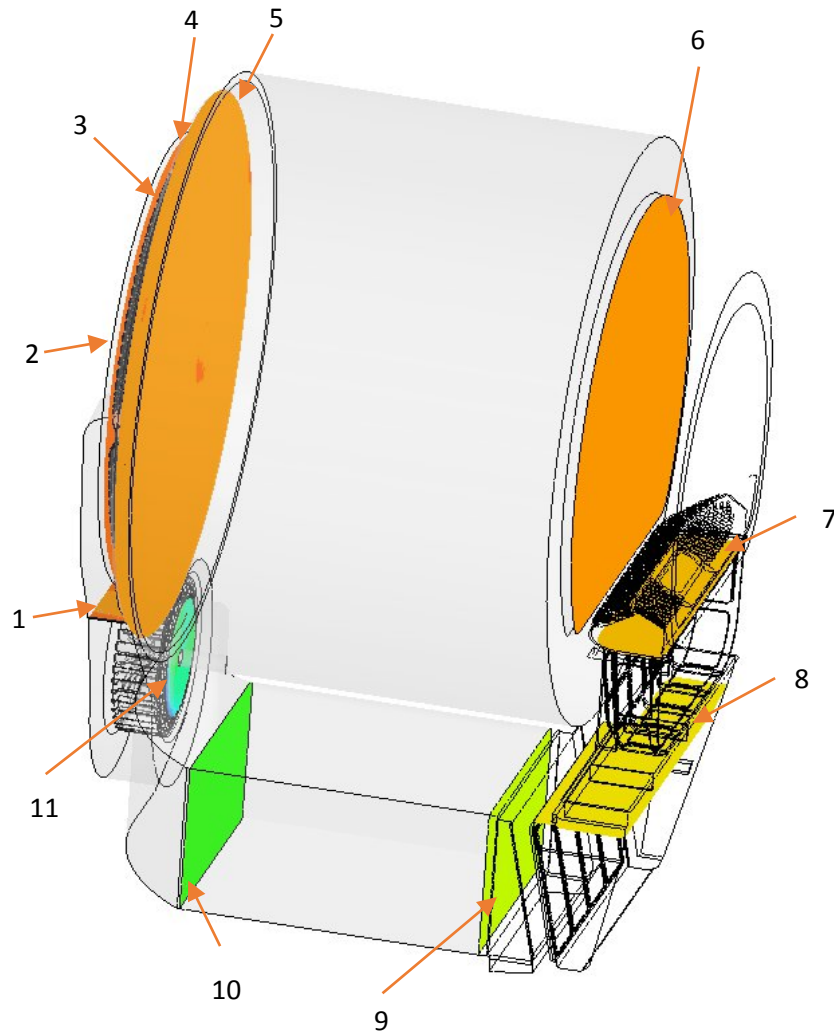


Izračunano hitrostno polje – skozi perforirano zadnjo steno



Izračunano tlačno polje – na izbranih presekih

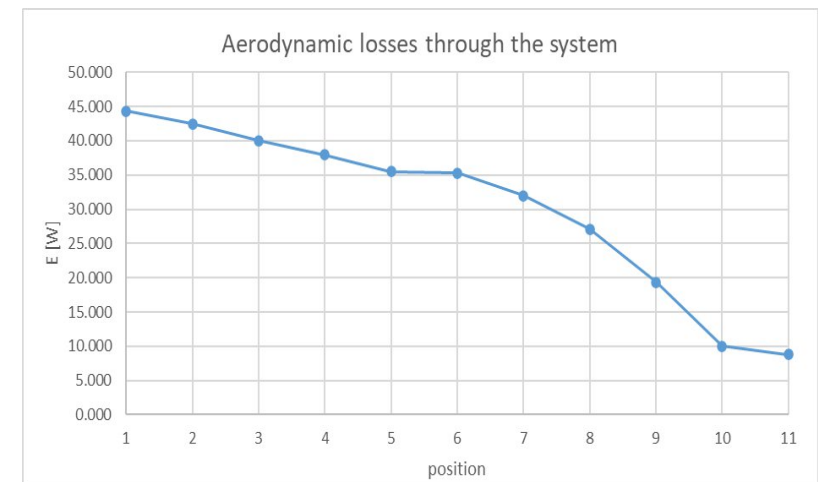
- Rezultat: aerodinamične izgube v sistemu



Definicija izbranih presekov

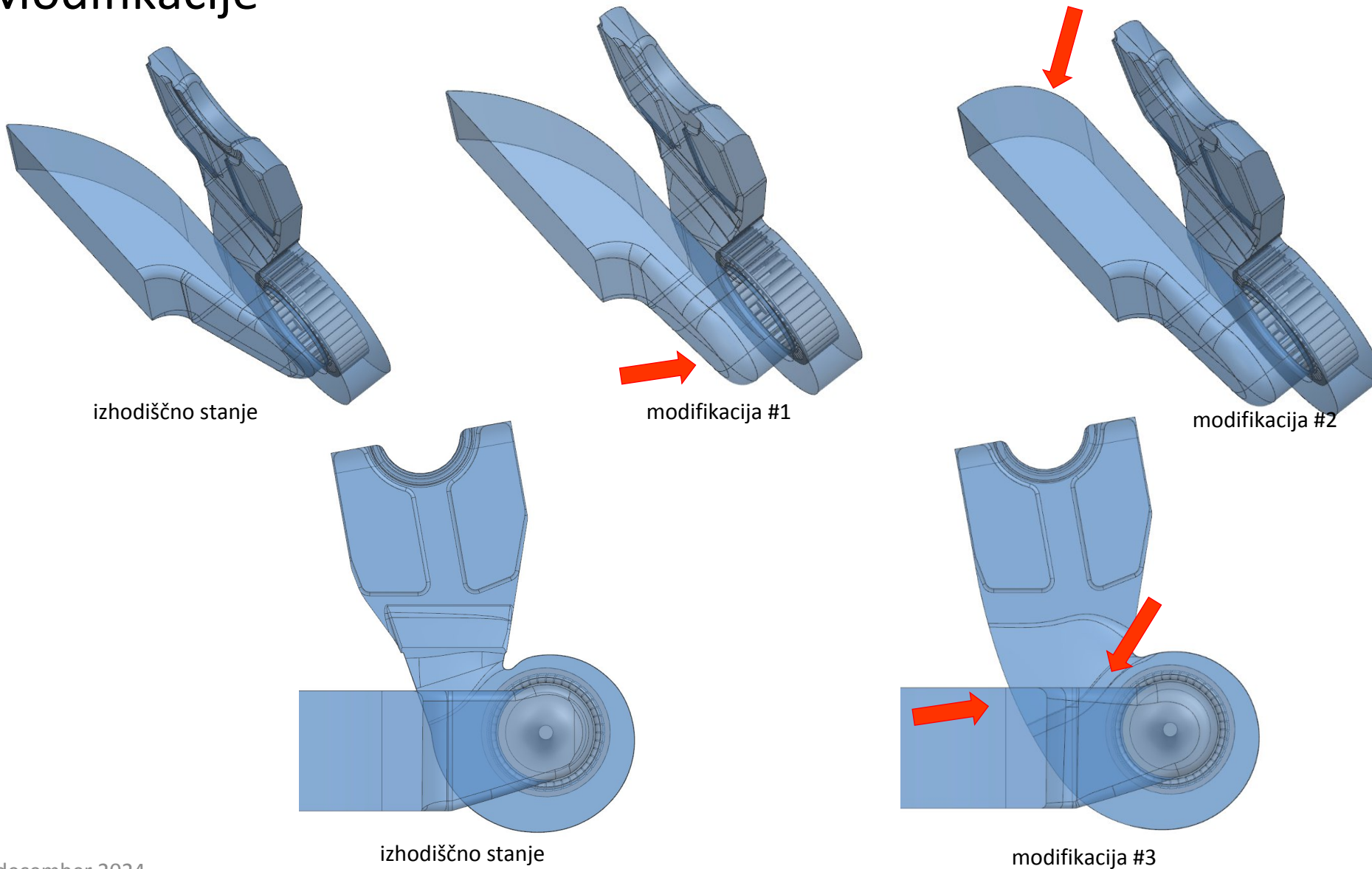
$$\dot{E}_i = \int_{S_i} \left(p + \frac{1}{2} \rho v^2 \right) \vec{v} \cdot \overline{dS}$$

cross-section	position	\dot{E}_i [W]
1	after fan	44.330
2	drum entry	42.461
3	before perforation	40.024
4	at perforation	37.947
5	after perforation	35.537
6	from drum	35.286
7	before door filters	31.980
8	after door filters	27.094
9	at HEX inlet	19.334
10	at HEX outlet	10.008
11	fan inlet	8.787

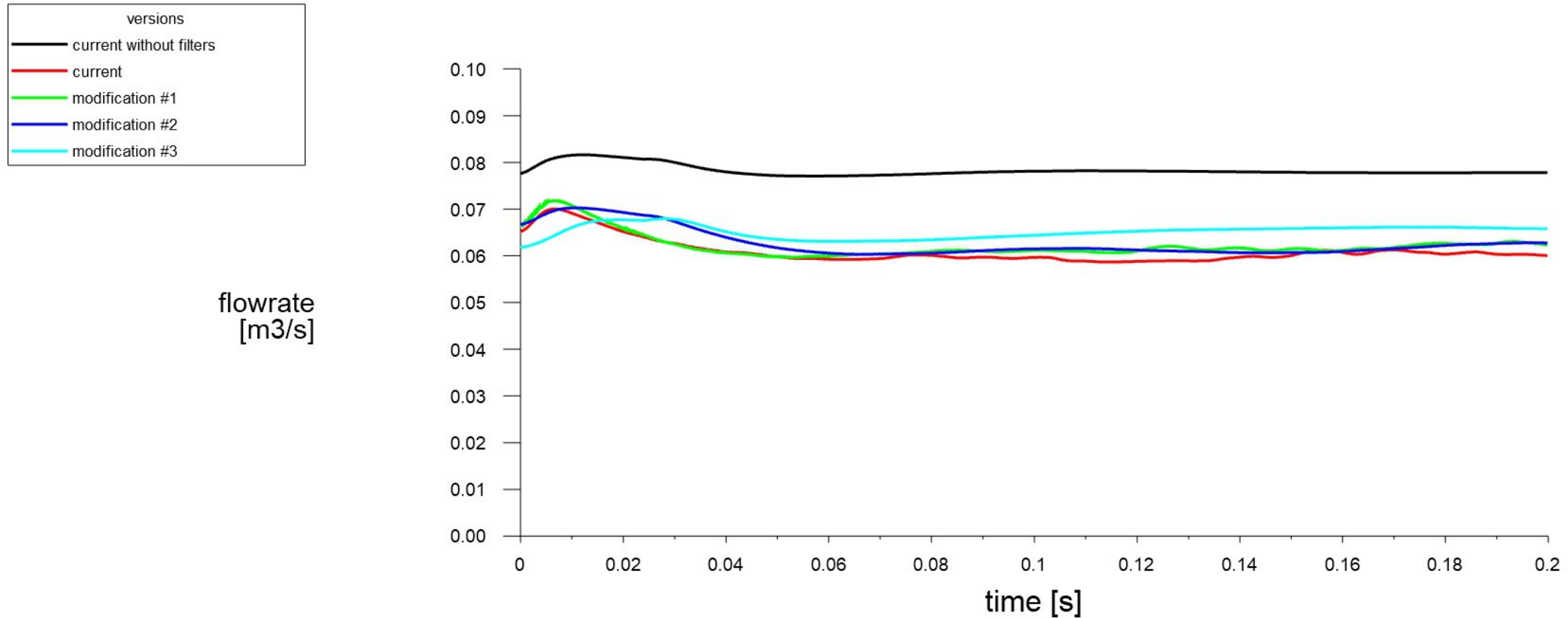


Izgube v zaprtem sistemu

• Modifikacije



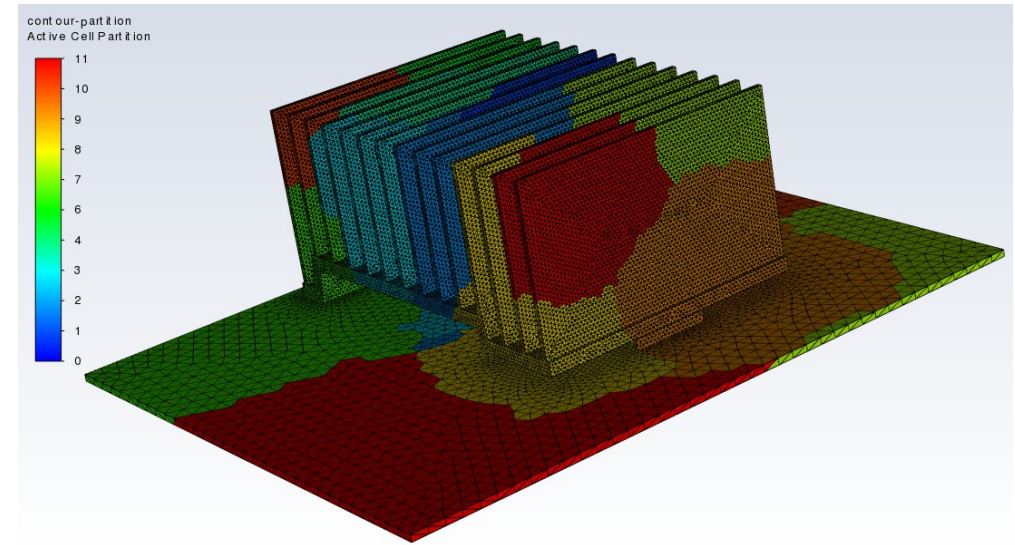
- Izračunani pretok pri različnih modifikacijah



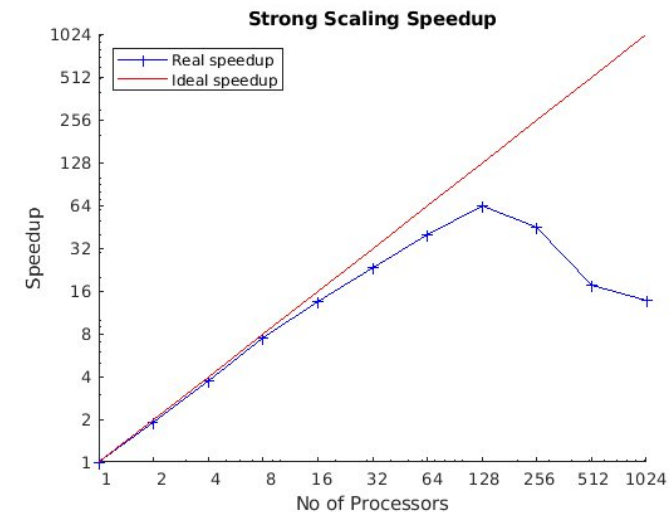
Izračunani časovni potek pretoka zraka skozi sistem pri različnih modifikacijah – hitrost ventilatorja 2500 obr./min ($t_0 = 0.024$ s, $\Delta t = 6.0 \times 10^{-5}$ s).

• Vzporedni izračuni

- Reševalni postopek („redkega“) sistema linearnih enačb omogoča efektivno vzporedno izvedbo na več računskih jedrih => je „skalabilen“.
- Reševanje paraleliziramo z dekompozicijo domene:
 - mrežo in podatke razdelimo na N delov (particij): $N \leq N_{\text{cores}}$.
 - jedru je dodeljena particija računske domene in pripadajočih podatkov,
 - komunikacija med particijami preko MPI protokola.
- Uporabljen računski jedra so lahko: (1) na istem procesorju (PC), (2) na več procesorjih enega računalnika (delovna postaja, vozlišče) ali (3) na več procesorjih različnih vozlišč (HPC).
- Pohitritev s (angl. speedup) izračuna je definirana kot
$$s = \frac{t(1)}{t(N)}$$
kjer je $t(1)$ čas izračuna na enem jedru, $t(N)$ pa na N jedrih.
- Idealna pohitritev: $s=N$
- Pri (pre)velikem N lahko čas za komunikacijo med jedri predstavlja velik delež celotnega računskega časa, kar vodi do zmanjšane vzporedne učinkovitosti.



Primer dekompozicije domene

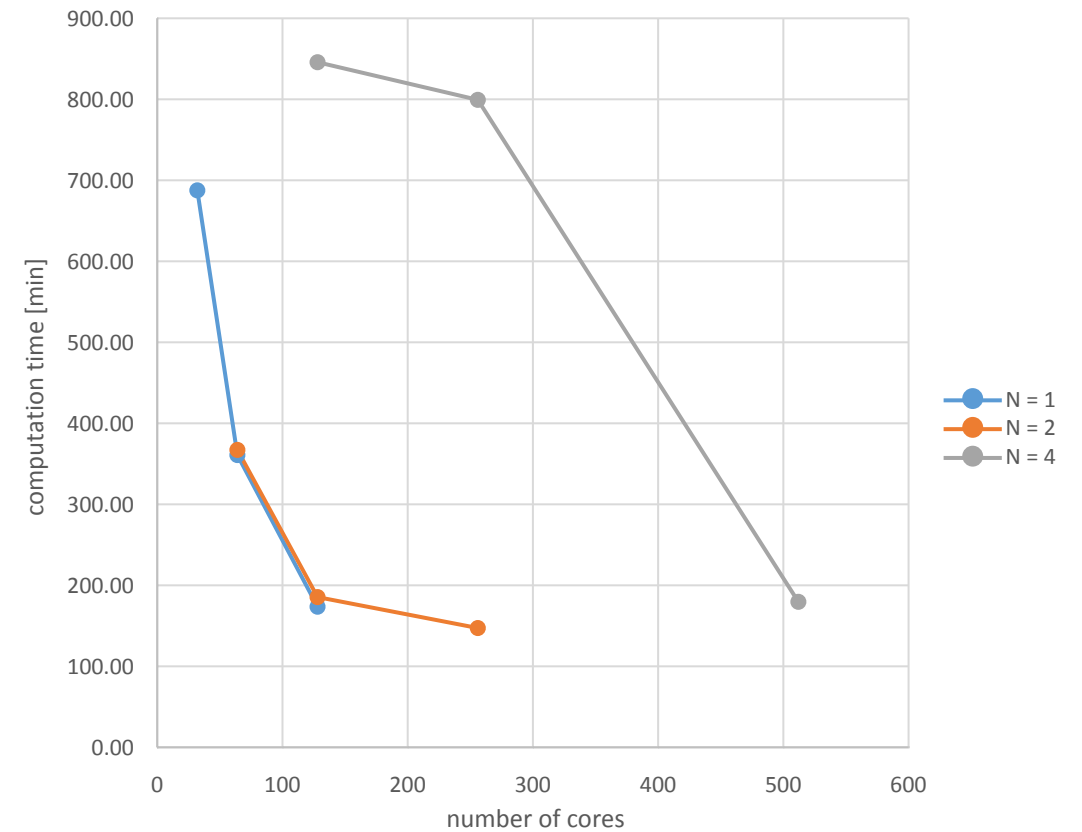


Idealna in dejanska pohitritev izračuna
(vir: <https://hpc-wiki.info/hpc/Scaling>)

• Učinkovitost vzporednega izračuna

- Testiranje na HPC Vega: 400 iteracij za 6 fizikalnih količin v 25 M celic

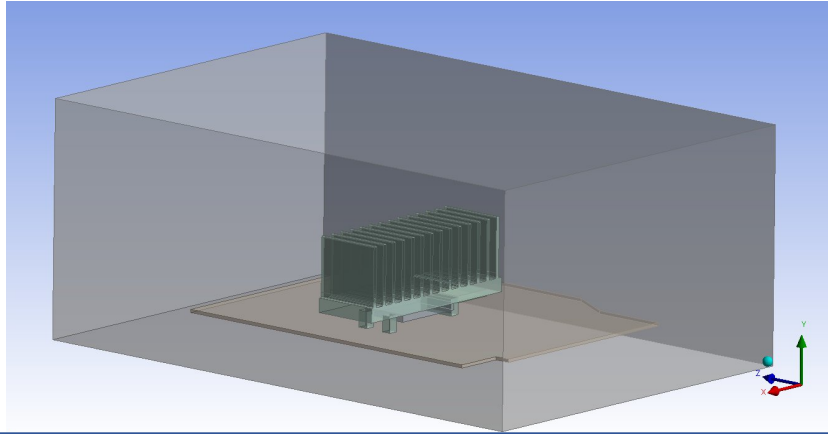
cores	nodes	h:m:s	m	speedup	rel. core speed
32	1	11:27:36	687.60	1.00	1.00
64	1	06:00:48	360.80	1.91	0.95
128	1	02:53:36	173.60	3.96	0.99
64	2	06:07:10	367.17	1.87	0.94
128	2	03:05:28	185.47	3.71	0.93
256	2	02:27:16	147.27	4.67	0.58
128	4	14:05:47	845.78	0.81	0.20
256	4	13:19:20	799.33	0.86	0.11
512	4	02:59:38	179.63	3.83	0.24



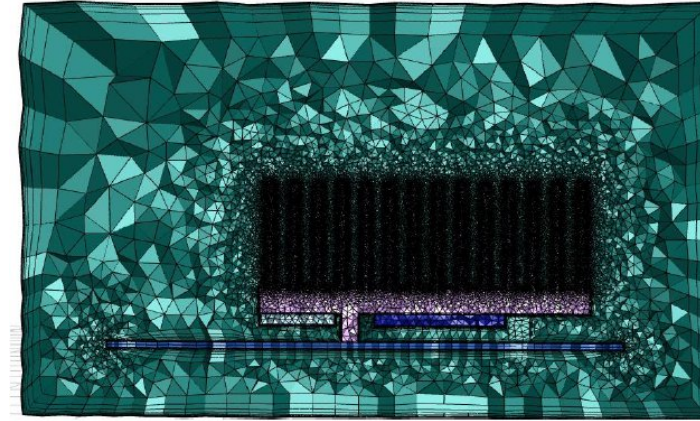
Odvisnost računskega časa od števila uporabljenih jeter

• Delo v praksi

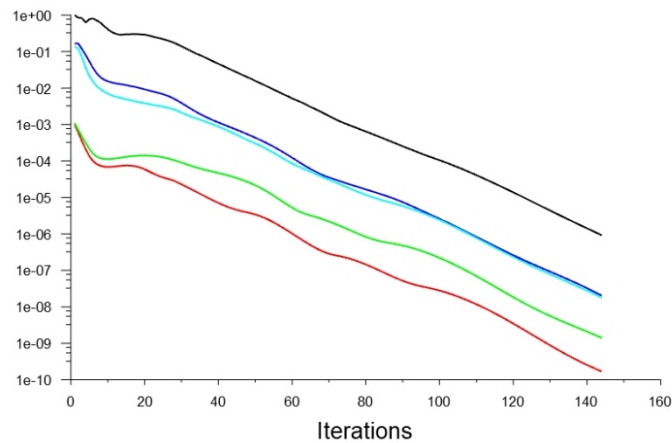
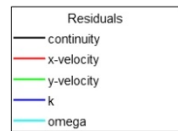
1) PRIPRAVA GEOMETRIJE (odstranitev nepomembnih podrobnosti)



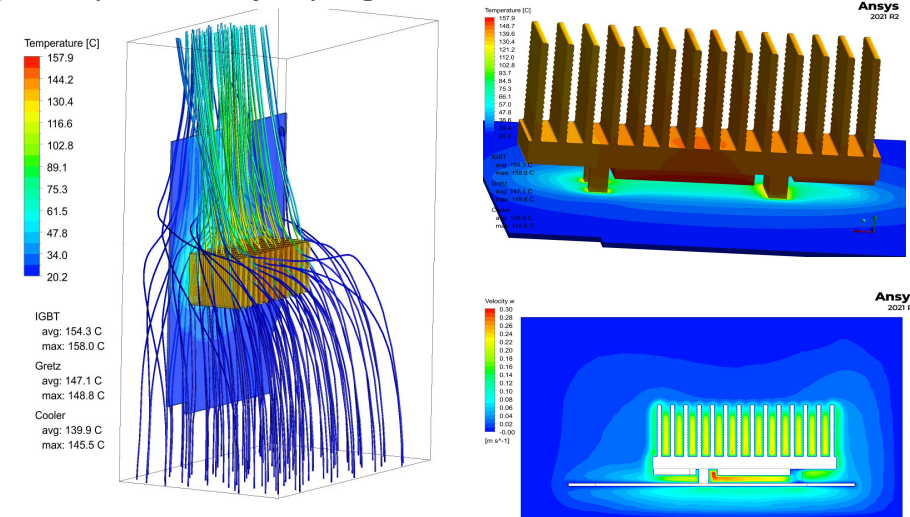
2) Izračun mreže in nastavitve računa



3) Izračun do izpolnitve izbranih kriterijev



4) Post-procesiranje: pregled in analiza rezultatov



• Delo v praksi – na oddaljenem HPC

1. Priprava računskega primera (CAD geometrije, mreže, nastavitve fizikalnih in računskih pogojev) na lokalnem računalniku.
 2. Prenos pripravljenega primera (npr. v datoteki primer1.cas.h5) na HPC (scp, WinSCP).
 3. Prijava na HPC (MS Windows PowerShell, PuTTY...).
 4. Priprava bash (shell) skripte, ki požene na HPC instaliran ANSYS Fluent (brez GUI); skripta vsebuje ukaze/nastavitve za paralelno izvajanje z „upraviteljem poslov“ SLURM.
 5. Priprava tekstovnih ukazov za ANSYS Fluent (journal datoteka), ki jih program izvaja (inicializacija, izvedba računskih korakov...)
 6. Zagon izračuna: sbatch
 7. Po končanih izračunih - prenos izračunanih podatkov na lokalni računalnik – za analizo v grafičnem vmesniku. Druga možnost: izdelava slik ali animacij na HPC - z ustrezno pripravljeno skripto (ANSYS CFD)
- Omejitve:
 - razpoložljivost vozlišč,
 - razpoložljivost licenc (licenčni strežnik je v našem primeru ločen),
 - hitrost prenosa podatkov (med HPC in lokalnim računalnikom).

SLING



Hvala!

jure.mencinger@gorenje.com



EuroHPC
Joint Undertaking



REPUBLIKA SLOVENIJA
**MINISTRSTVO ZA VISOKO ŠOLSTVO,
ZNANOST IN INOVACIJE**

Projekt EuroCC 2 financira Evropska unija. Financiran je s sredstvi Skupnega podjetja za evropsko visokozmogljivo računalništvo (EuroHPC JU) ter Nemčije, Bolgarije, Avstrije, Hrvaške, Cipra, Češke republike, Danske, Estonije, Finske, Grčije, Madžarske, Irske, Italije, Litve, Latvije, Poljske, Portugalske, Romunije, Slovenije, Španije, Švedske, Francije, Nizozemske, Belgije, Luksemburga, Slovaške, Norveške, Turčije, Republike Severne Makedonije, Islandije, Črne gore in Srbije v okviru sporazuma o dodelitvi sredstev št. 101101903.