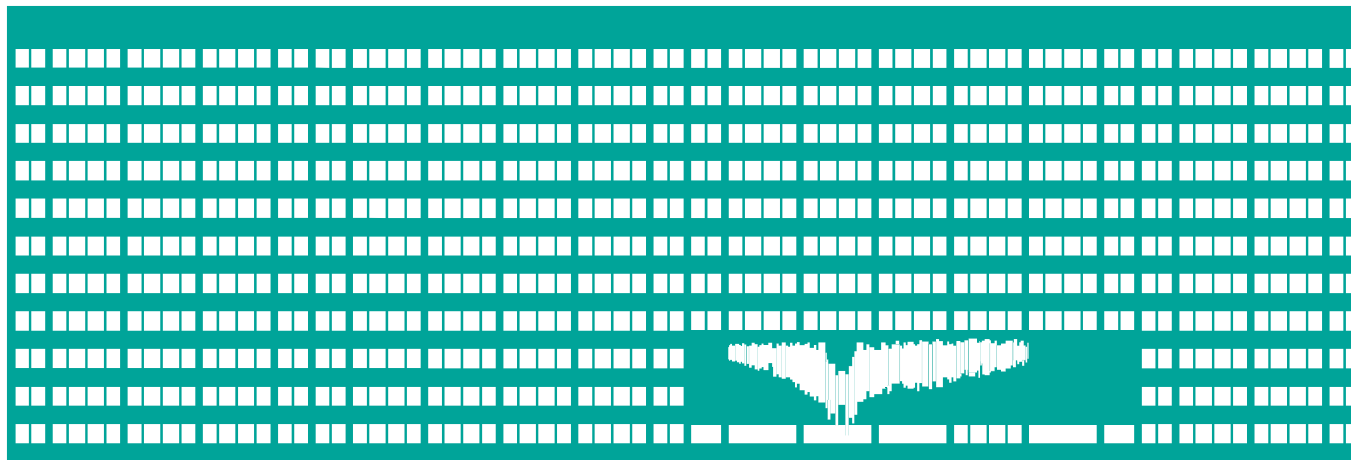


VŠB TECHNICKÁ
UNIVERZITA
OSTRAVA

VSB TECHNICAL
UNIVERSITY
OF OSTRAVA



www.vsb.cz

Rezonance pokračování

Ing. Jan BLATA, Ph.D.

Kat. 340, VŠB-TU Ostrava

Úvod

Náročné provozní podmínky při těžební činnosti kladou vysoké nároky na technickou spolehlivost strojních zařízení a také negativně působí na obsluhu strojních zařízení. Působení vnějších vlivů na obsluhu má negativní vliv na zdraví, ale i na celkový pracovní výkon. Mezi základní negativní faktory působící na obsluhu patří vliv vibrací, hluku, teploty atd. Vibrace způsobují dodatečné cyklické namáhání konstrukčních dílů strojních zařízení a neúměrně snižují jejich životnost, proto je třeba vibrace minimalizovat.

V tomto případě byly řešeny nadměrné vibrace u kabiny nakladače, u které docházelo při pracovních otáčkách motoru (1450 min⁻¹) k neúměrnému zvýšení vibrací. Obsluha stroje si přímo stěžovala na vysoké vibrace. Proto jsme byli osloveni zákazníkem pro provedení měření a následně i o návrh optimalizace kabiny.

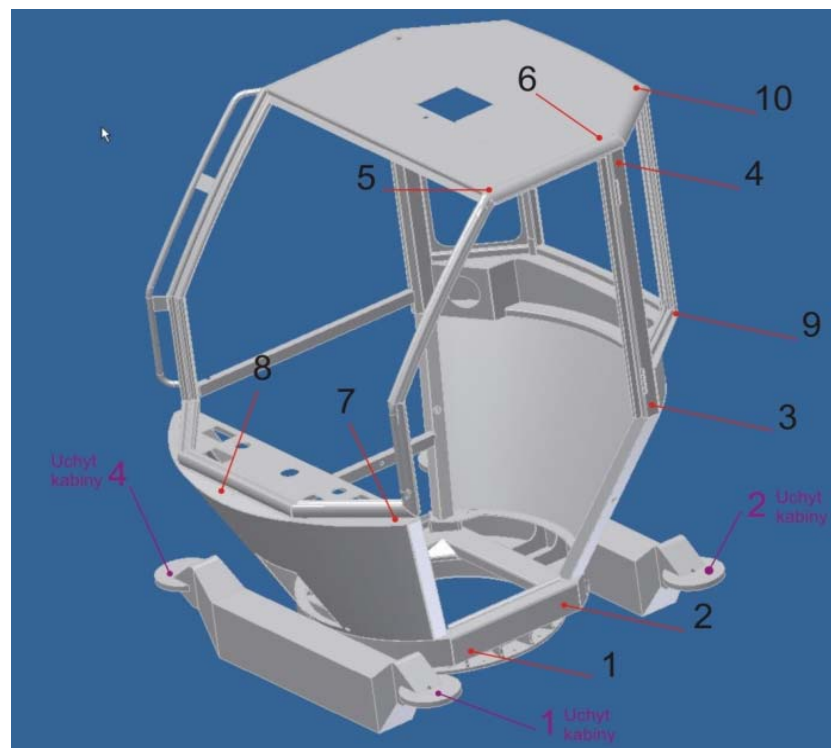
Stroj je poháněn čtyřválcovým vznětovým vodou chlazeným motorem Cummins B 3.3 o objemu 3300 cm^3 o výkonu 60 kW.

- volnoběžné otáčky motoru 850 min^{-1} (14.2Hz)
- pracovní otáčky 1450 min^{-1} (24,2Hz)
- maximální otáčky 2450 min^{-1} (41Hz)

Kabina stroje je provedena jako svařenec z profilů a je spojena se základním rámem pomocí 4 silentbloků.

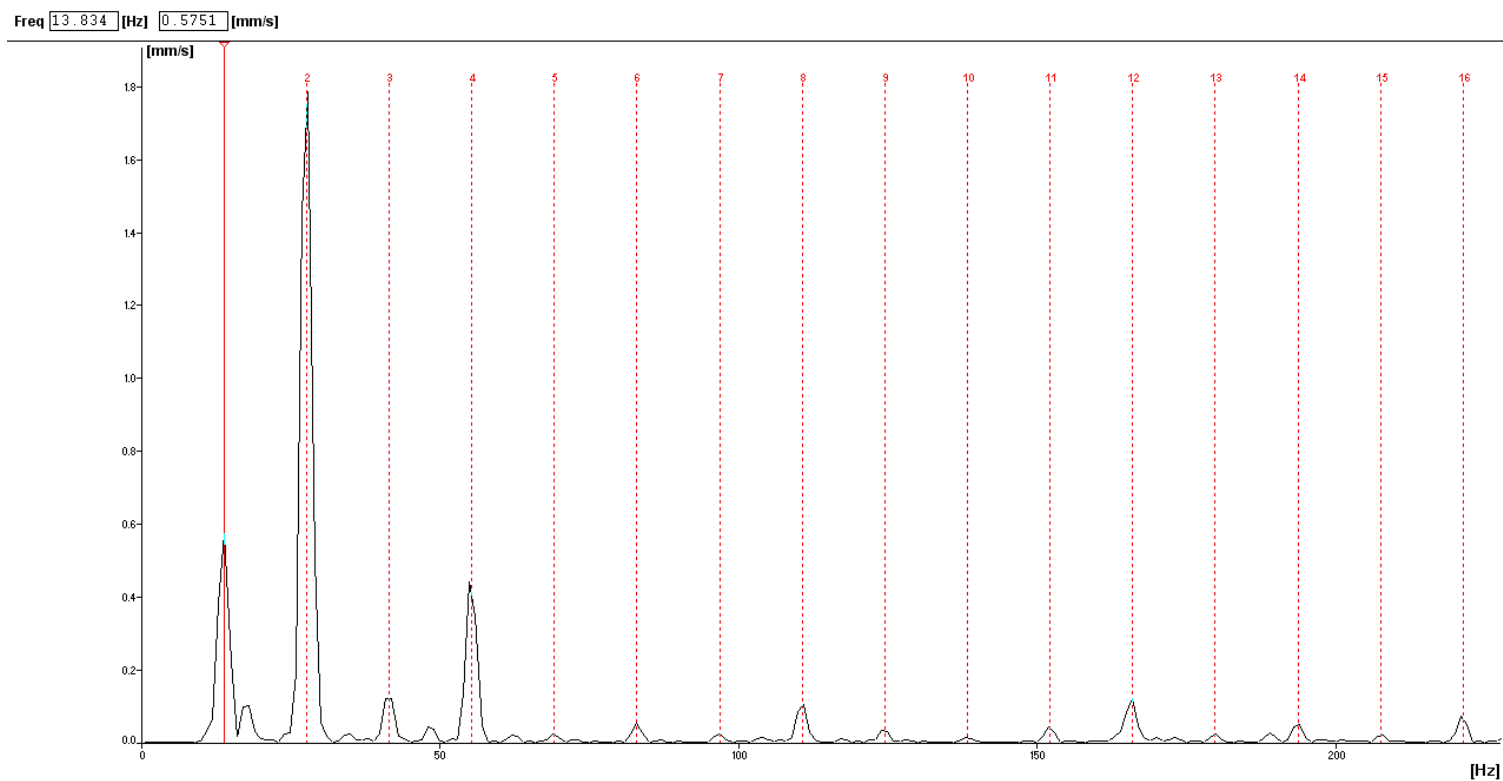


Efektivní hodnoty vibrací na rámu stroje a na úchytu kabiny v horizontálním směru

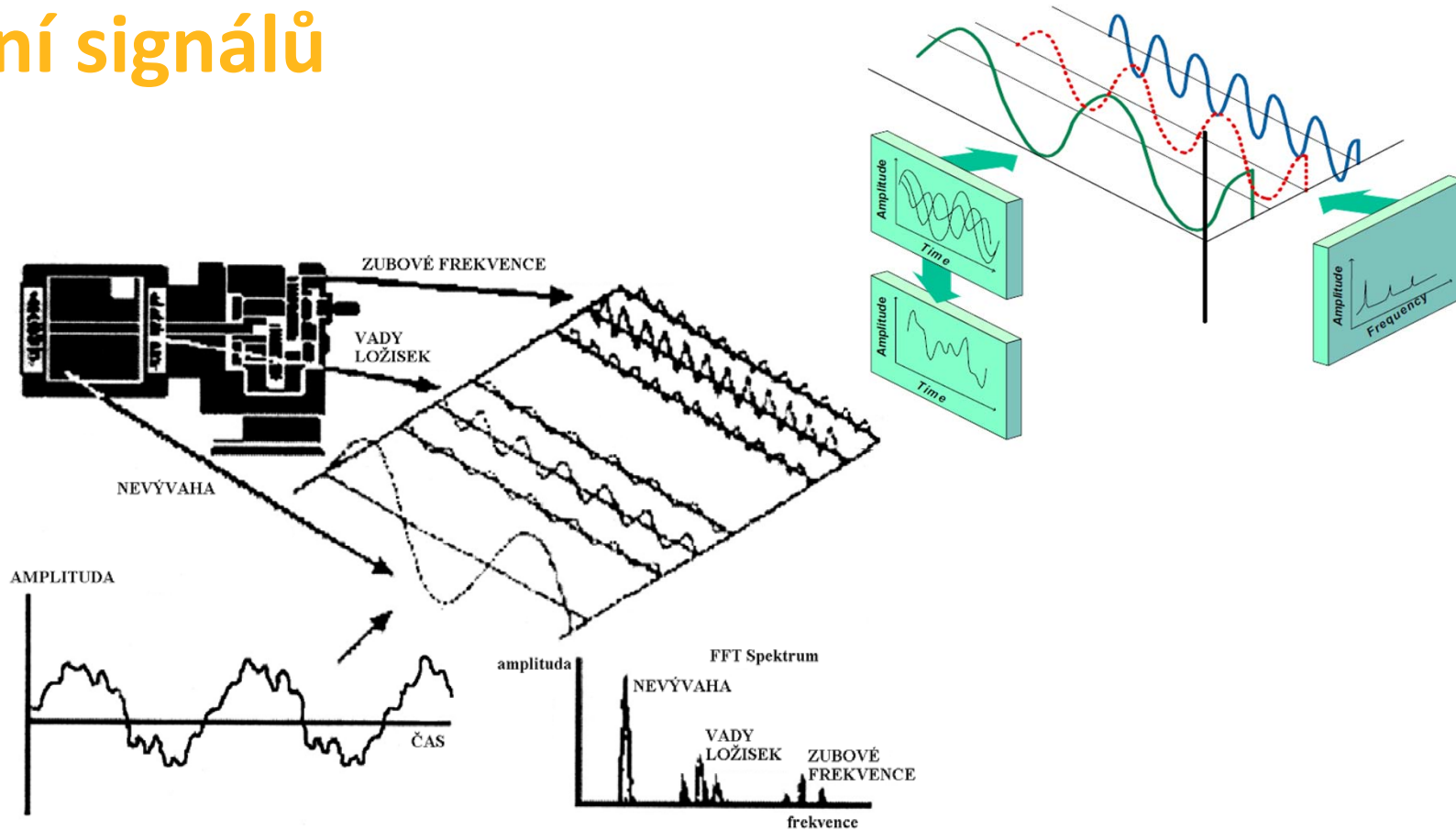


Měřicí bod	1 (LP)	2 (LZ)	3 (PZ)	4 (PP)
Efektivní hodnoty rychlosti vibrací rámu stroje RMS 10 - 1600 Hz [mm/s]	1,7	1,6	1	1,2
Efektivní hodnoty rychlosti vibrací úchytu kabiny RMS 10-1600 Hz [mm/s]	1,4	1,6	2,1	1,3

Spektrum amplitud vibrací na úchytu kabiny, první amplituda je na otáčkové frekvenci 13,8 Hz (830 min⁻¹)



Skládání signálů



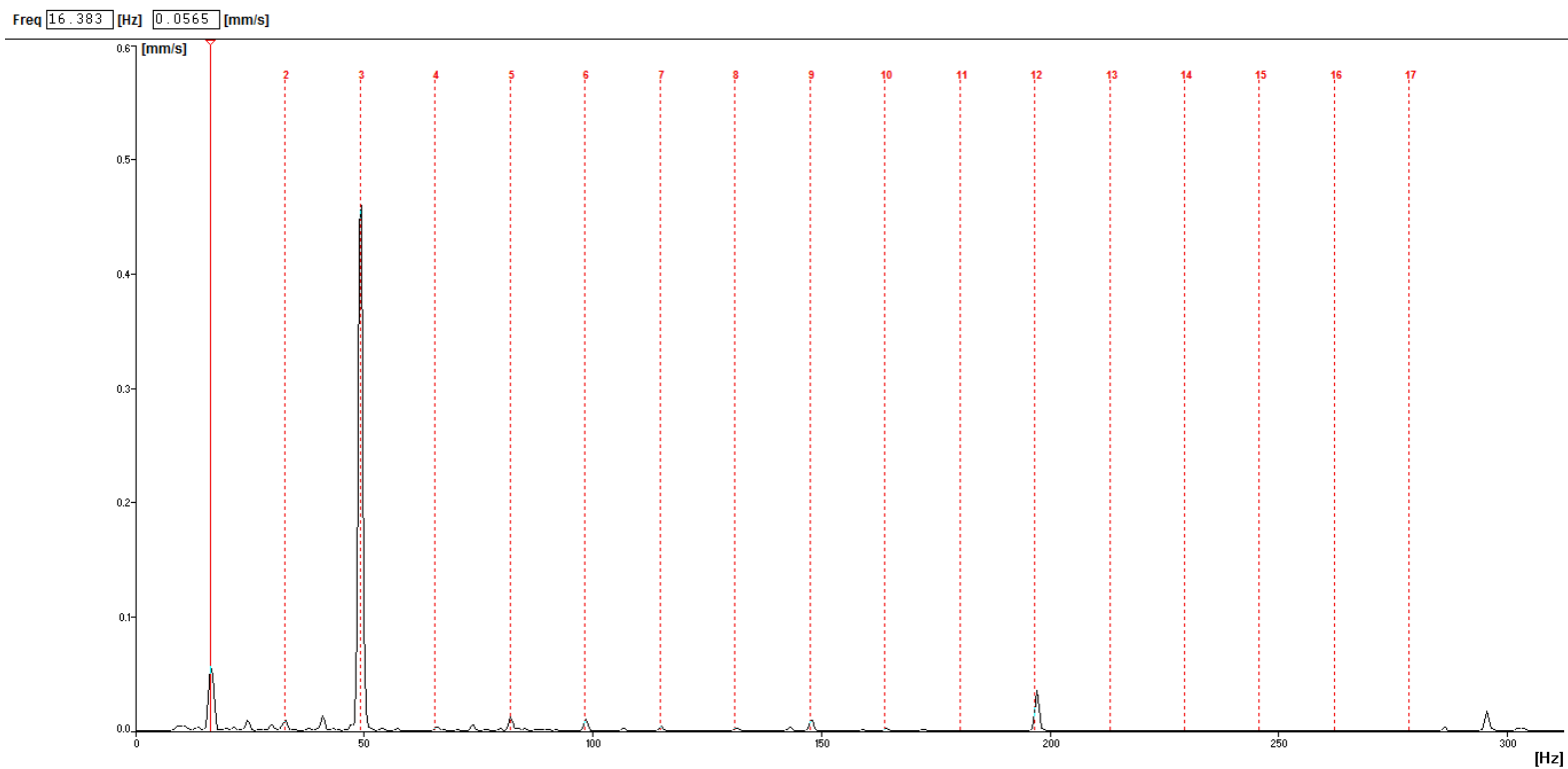
V případě čtyřdobých (čtyřtaktních) motorů dochází ve spalovacím prostoru, ke čtyřem pracovním dobám: sání, stlačení (komprese), výbuch (expanze), výfuk. To vše proběhne za dvě otáčky klikového hřídele. V případě jednoho válce dojde k nejvýraznějšímu projevu za dvě otáčky motoru, což se projeví ve frekvenčním spektru na 1/2 otáčkové frekvence.

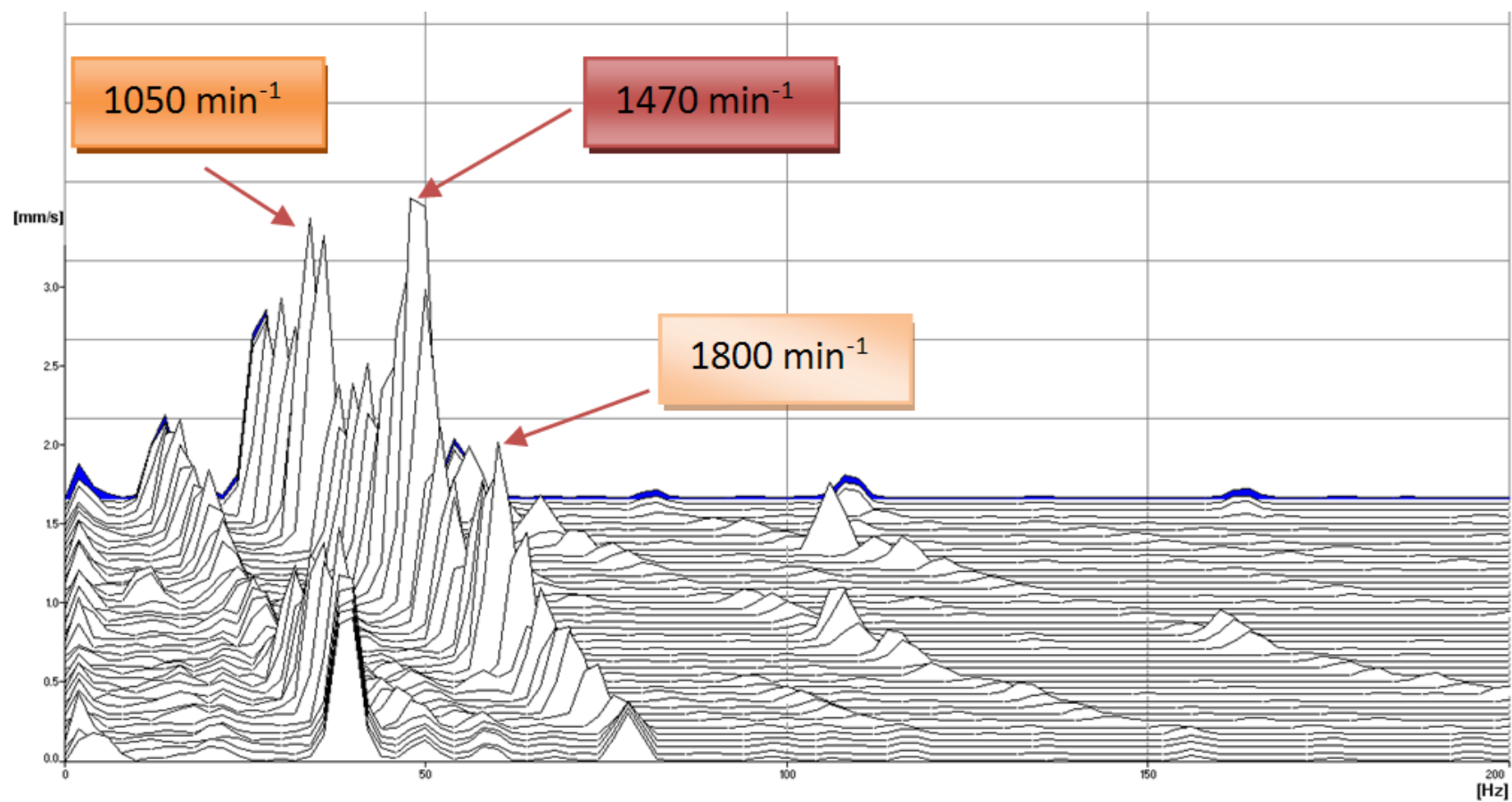
$$f_{sp} = \frac{\text{počet válců} \cdot f_n}{2} \quad [\text{Hz}]$$

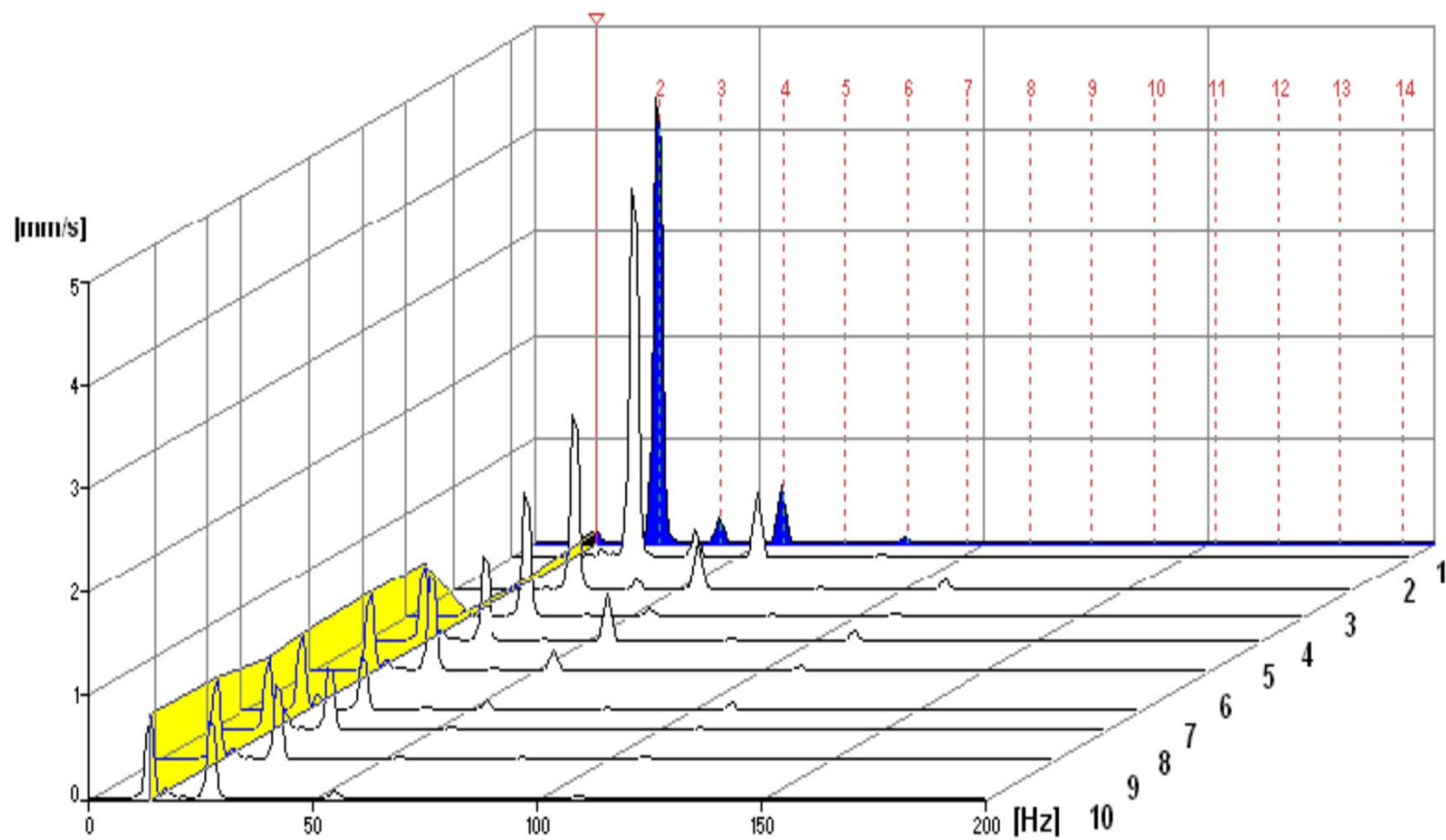
f_{sp} ... frekvence spalování

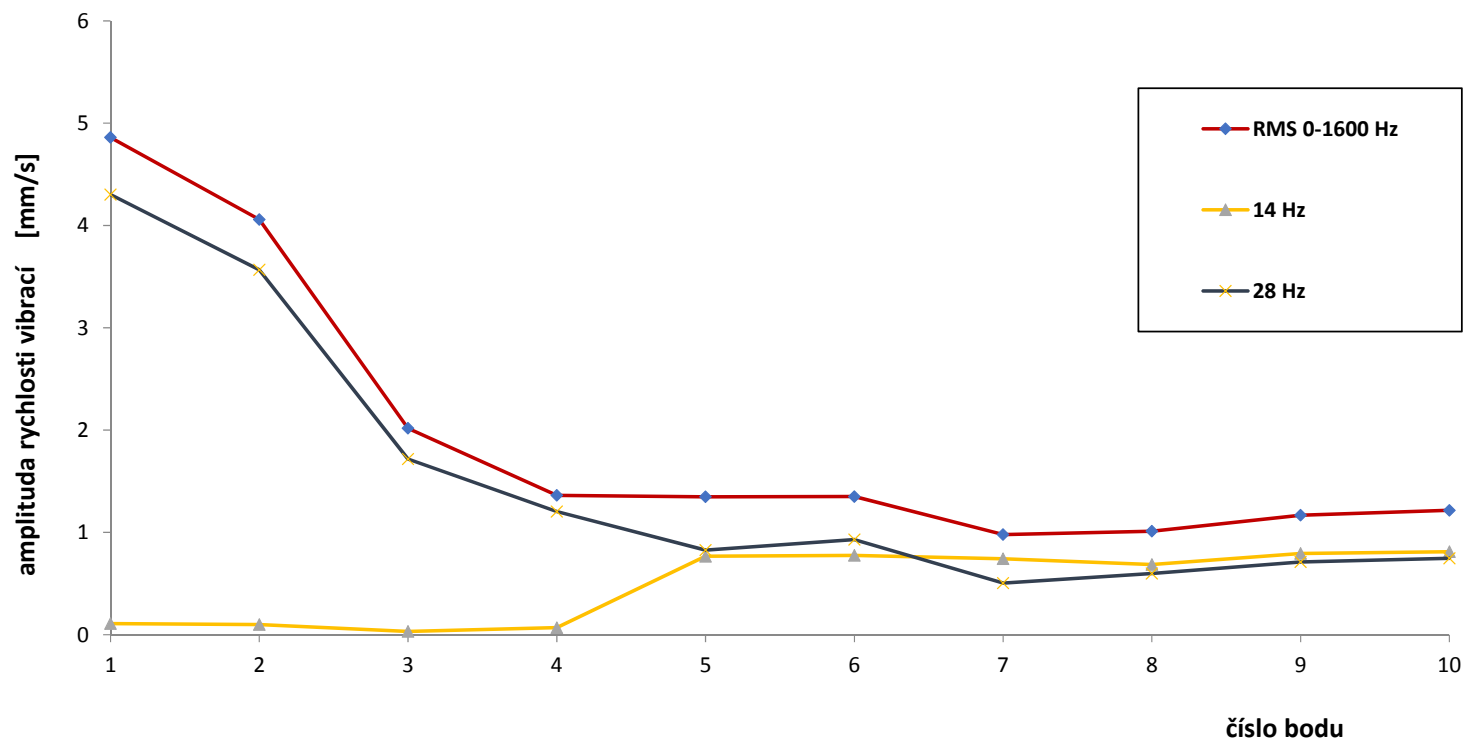
f_n ... otáčková frekvence klikového hřídele motoru

Frekvenční spektrum rychlosti vibrací čtyřdobého šestiválcového motoru, měřeno na rámu konstrukce stroje.

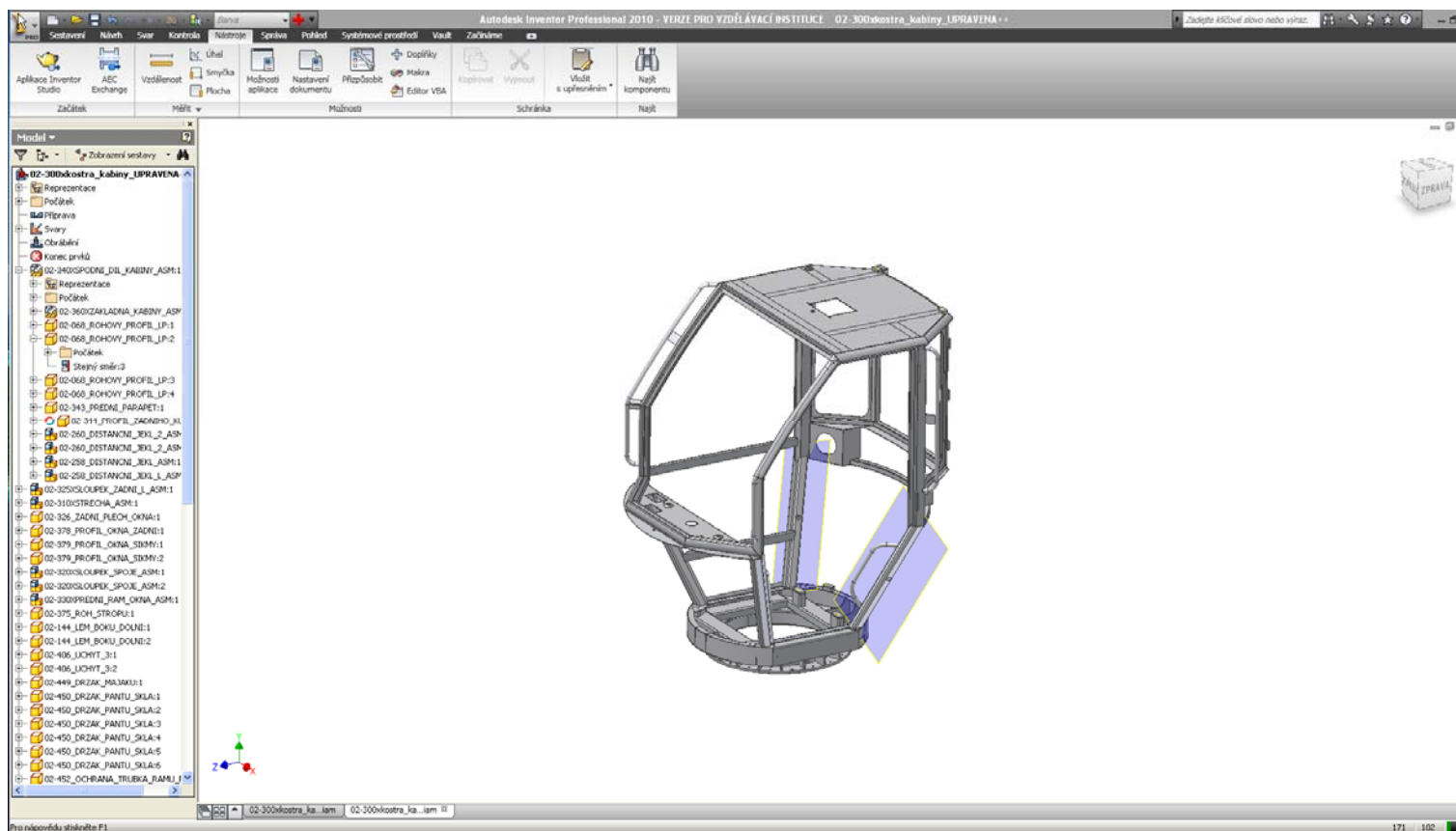


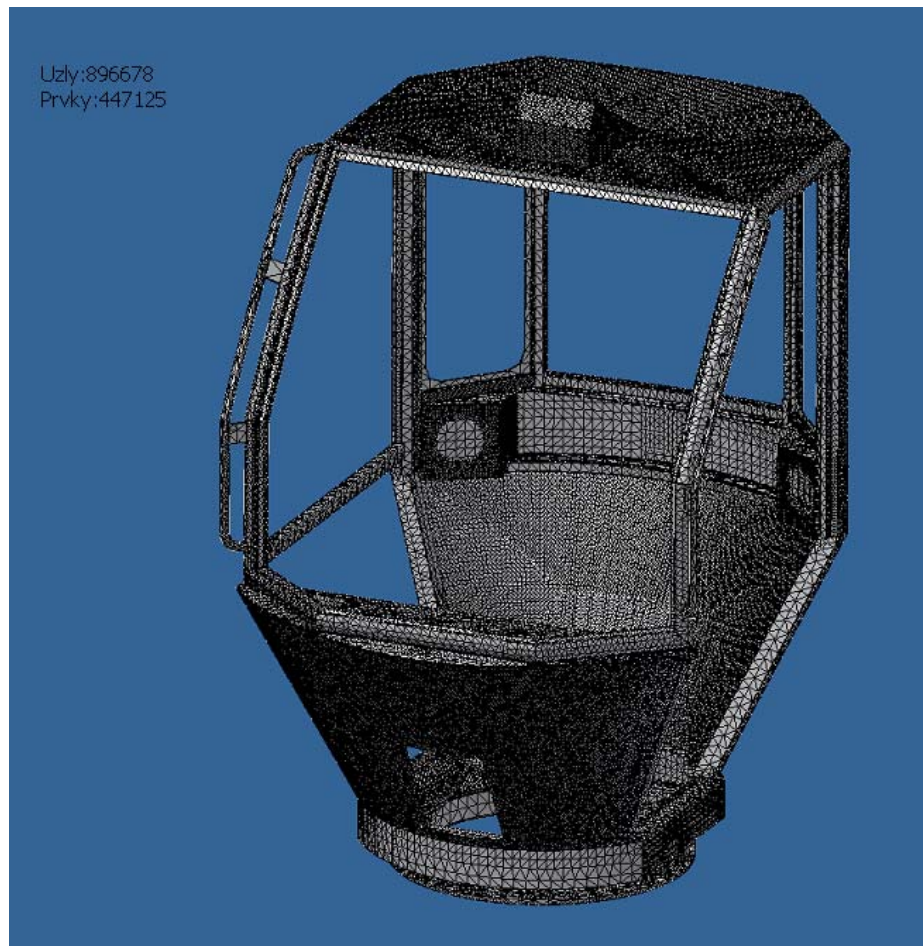




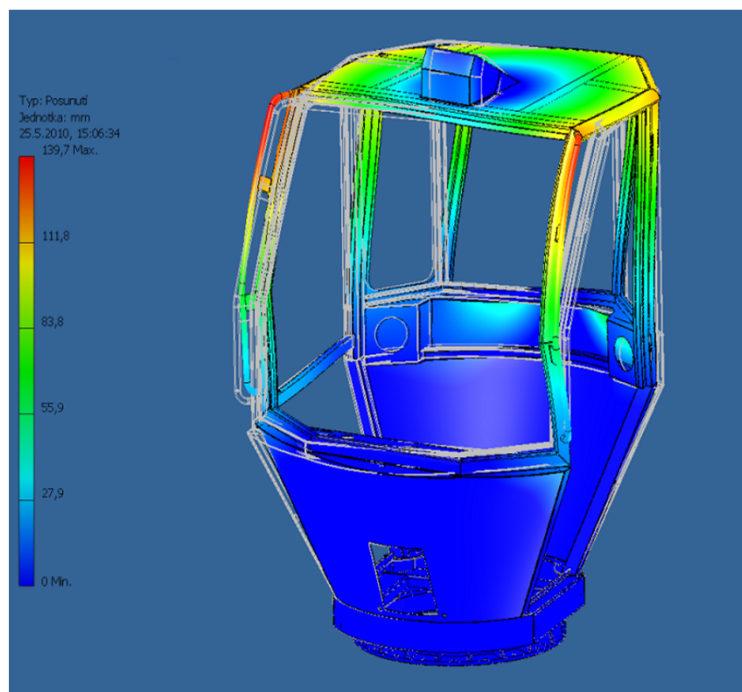


Pro zjištění rezonančních frekvencí kabiny a její následnou optimalizaci byl vytvořen upravený 3D model kabiny a provedeny simulace modální analýzy v programu Autodesk Inventor Professional 2010.



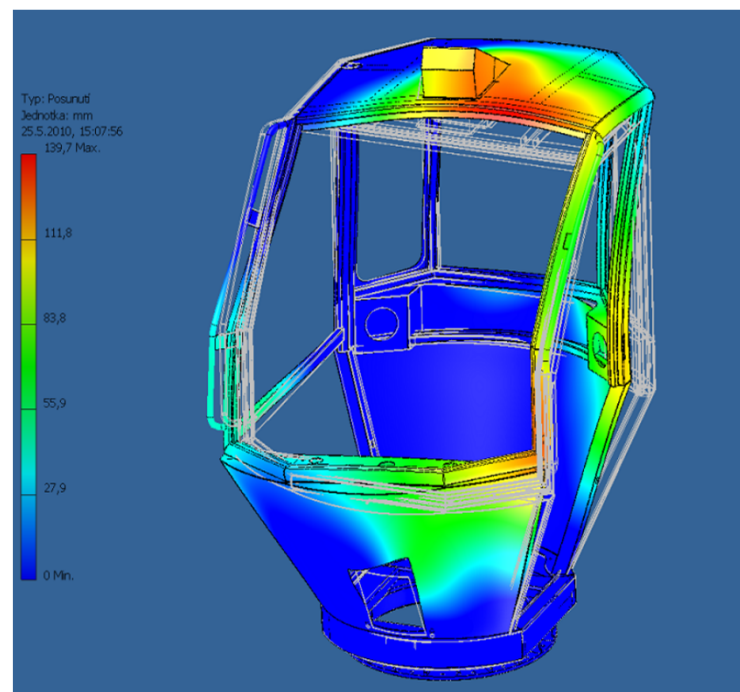


Mód 1÷3 zobrazující tvary kmitů kabiny



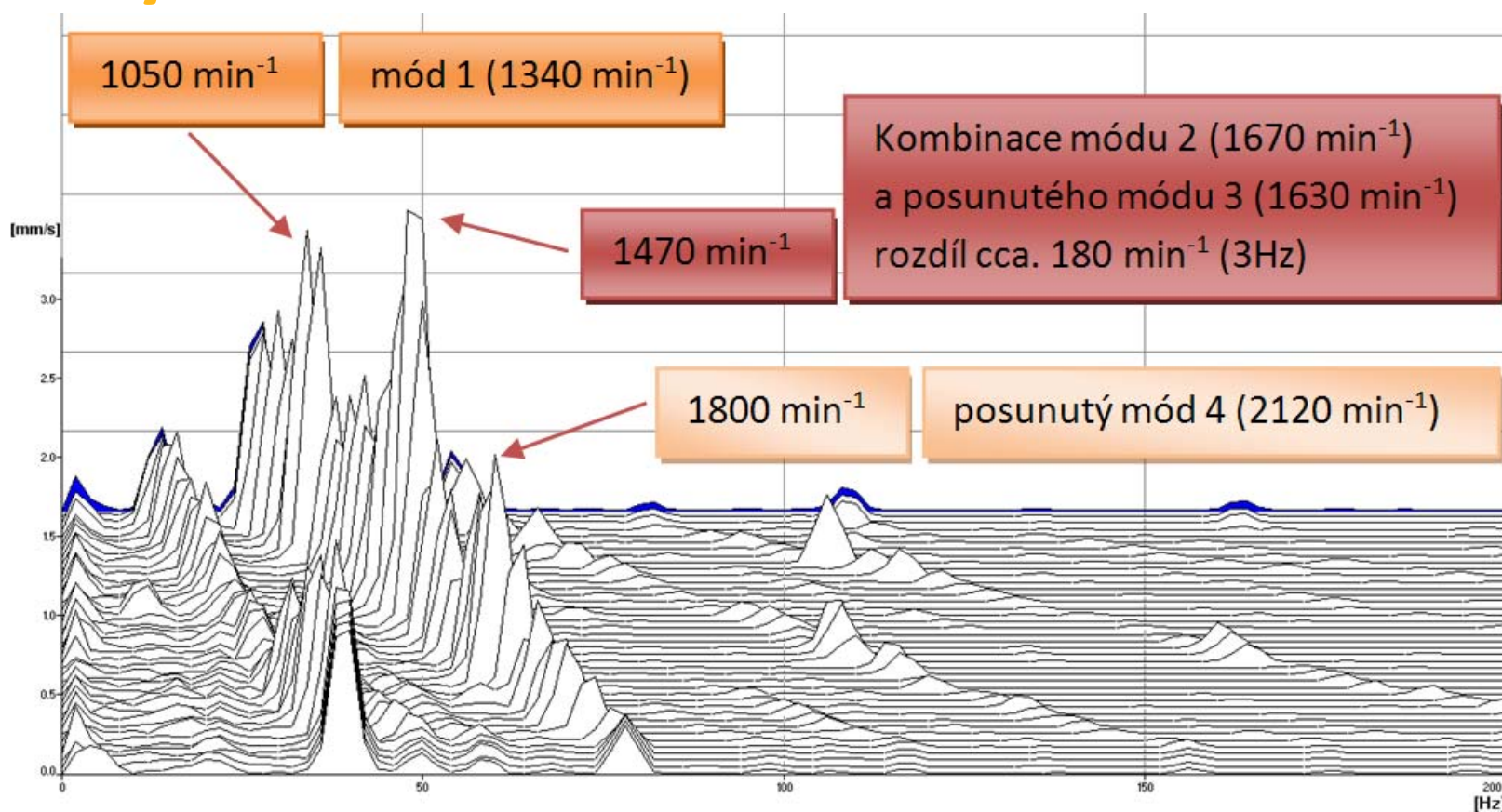
- mód 1 22,39 Hz \approx 1340 min⁻¹
- mód 2 27,86 Hz \approx 1670 min⁻¹
- mód 3 54,35 Hz \approx 3260 min⁻¹
- mód 4 70,71 Hz \approx 4240 min⁻¹

Mód 4



- posunutý mód 1 11,2 Hz \approx 670 min⁻¹
- posunutý mód 2 13,93 Hz \approx 720 min⁻¹
- posunutý mód 3 27,18 Hz \approx 1630 min⁻¹
- posunutý mód 4 35,36 Hz \approx 2120 min⁻¹

Srovnání výsledků měření a simulace



Rezonanční kladívko



Měření hluku



Zvukoměr BK 2238 Mediator

Umístění zvukoměru



Hladina okolního hluku při vypnutém motoru

$$L_{Aeq} = 48,2 \text{ dB}$$

Hladina venkovního hluku při běžícím motoru (volnoběžné otáčky)

$$L_{Aeq} = 80,9 \text{ dB}$$

Hladina vnitřního hluku při volnoběžných otáčkách motoru (850 ot./min)

$$L_{Aeq} = 67 \text{ dB}$$

Hladina vnitřního hluku při pracovních otáčkách motoru (1400 ot./min)

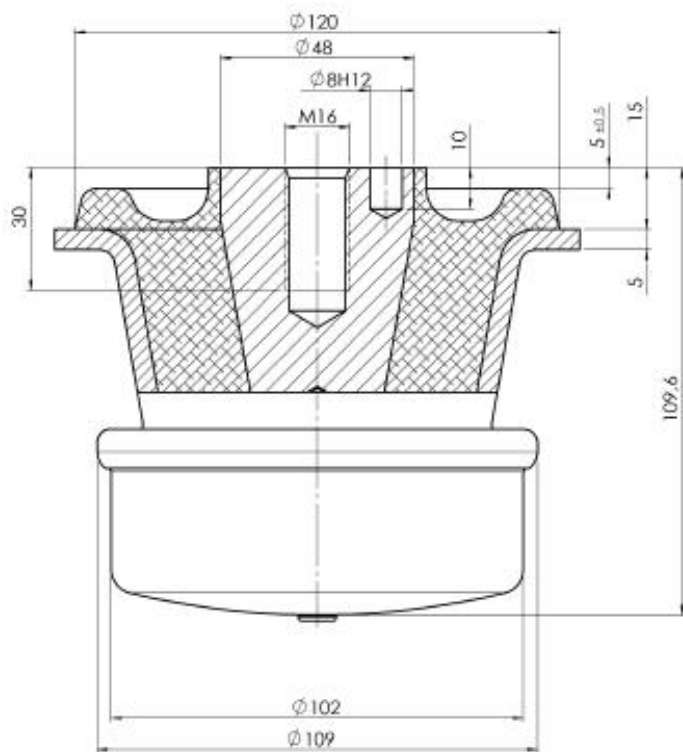
$$L_{Aeq} = 72,4 \text{ dB}$$

Hladina vnitřního hluku při volnoběžných otáčkách motoru (2450 ot./min)

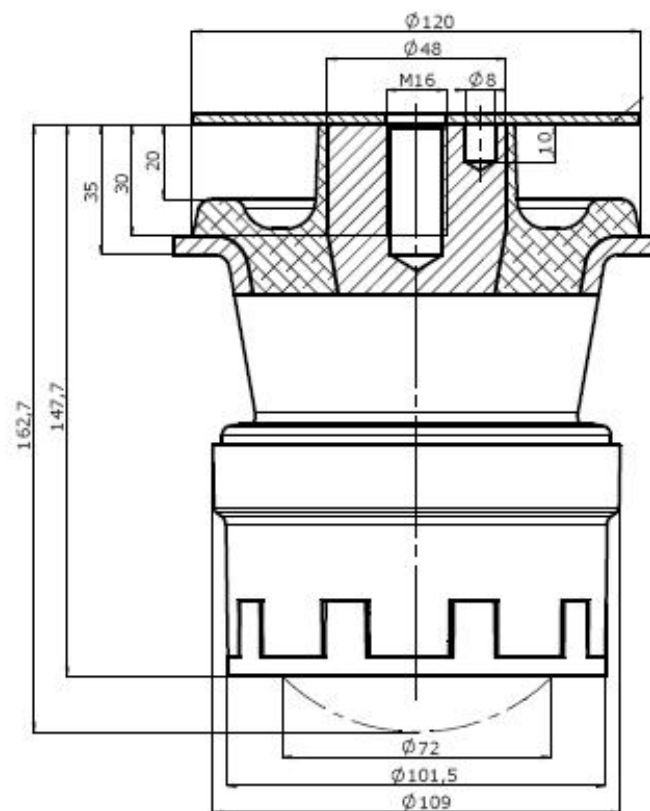
$$L_{Aeq} = 76,3 \text{ dB}$$

Závěrečné shrnutí

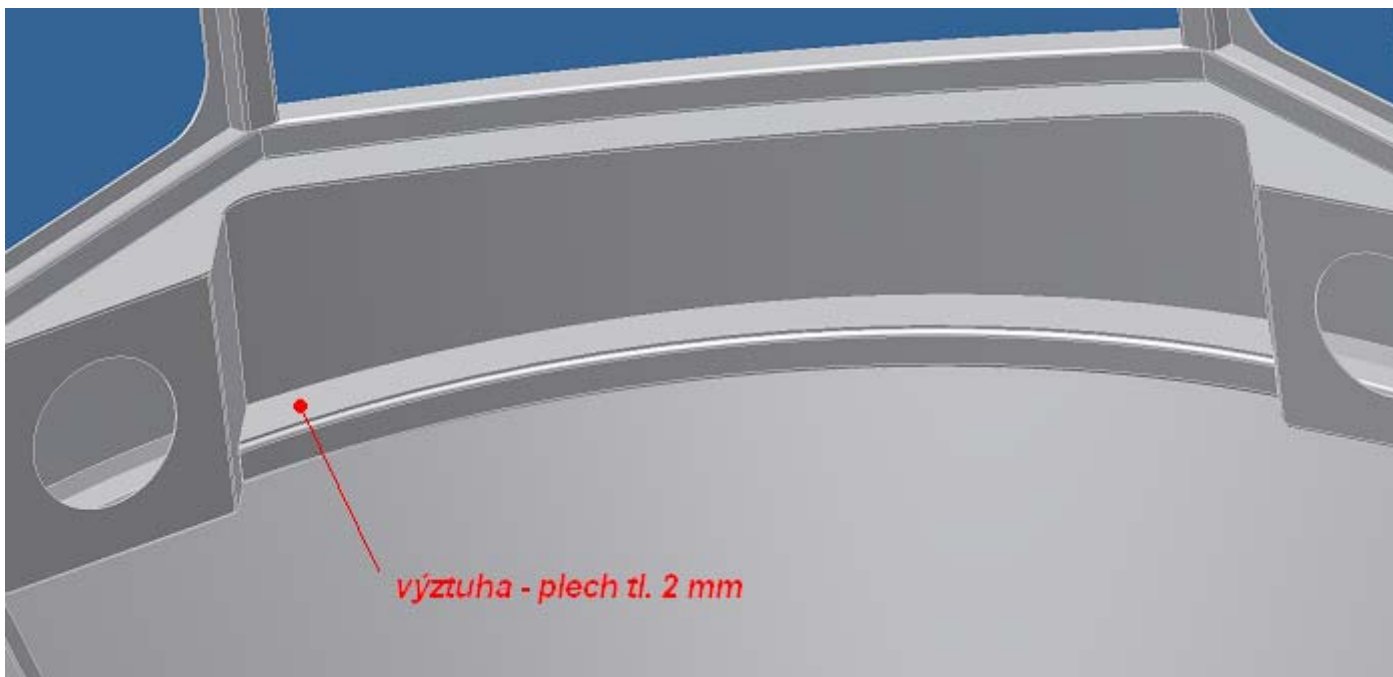
- Špatné silentbloky
- Výměna silentbloků motoru
 - výměna stávajících silentbloků kabiny - Contitech 212706 za nový typ Contitech 210470
- Provedena měření vibrací a hluku
- Provedena modální analýza
- Špatná konstrukce
- Návrh dočasných konstrukčních úprav
 - Sada jednoduchých konstrukčních úprav, které mají za cíl posunutí rezonanční frekvence mimo pracovní oblast (1450 min^{-1})

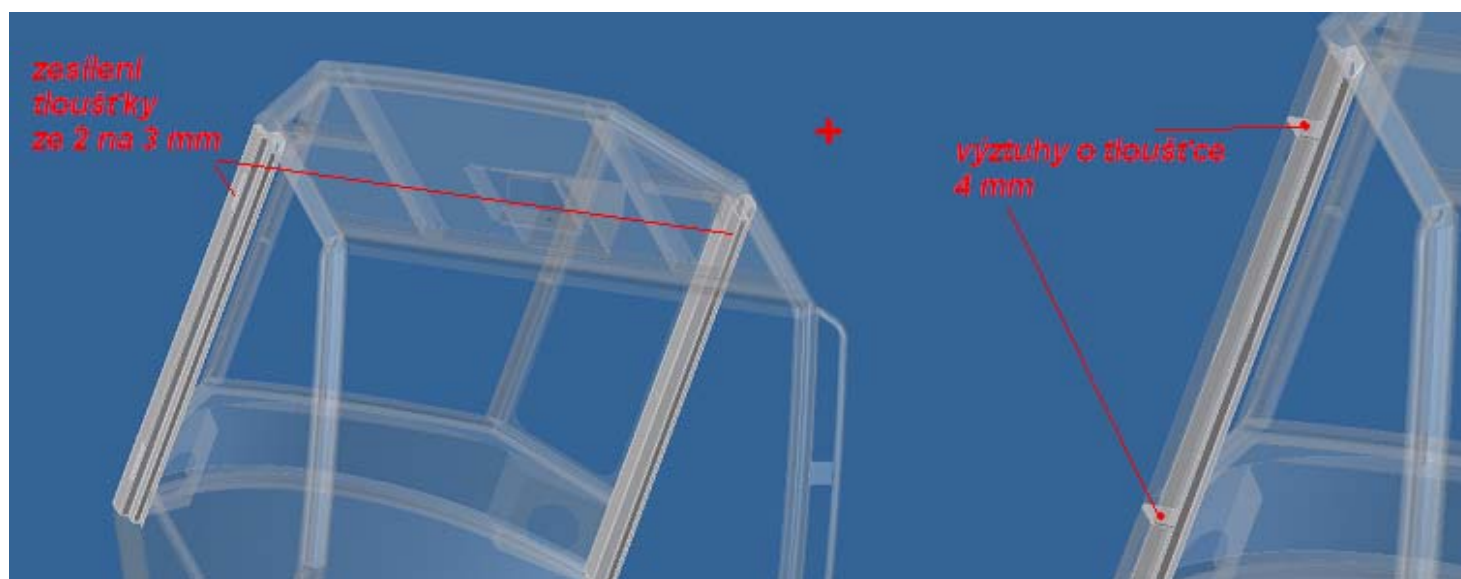


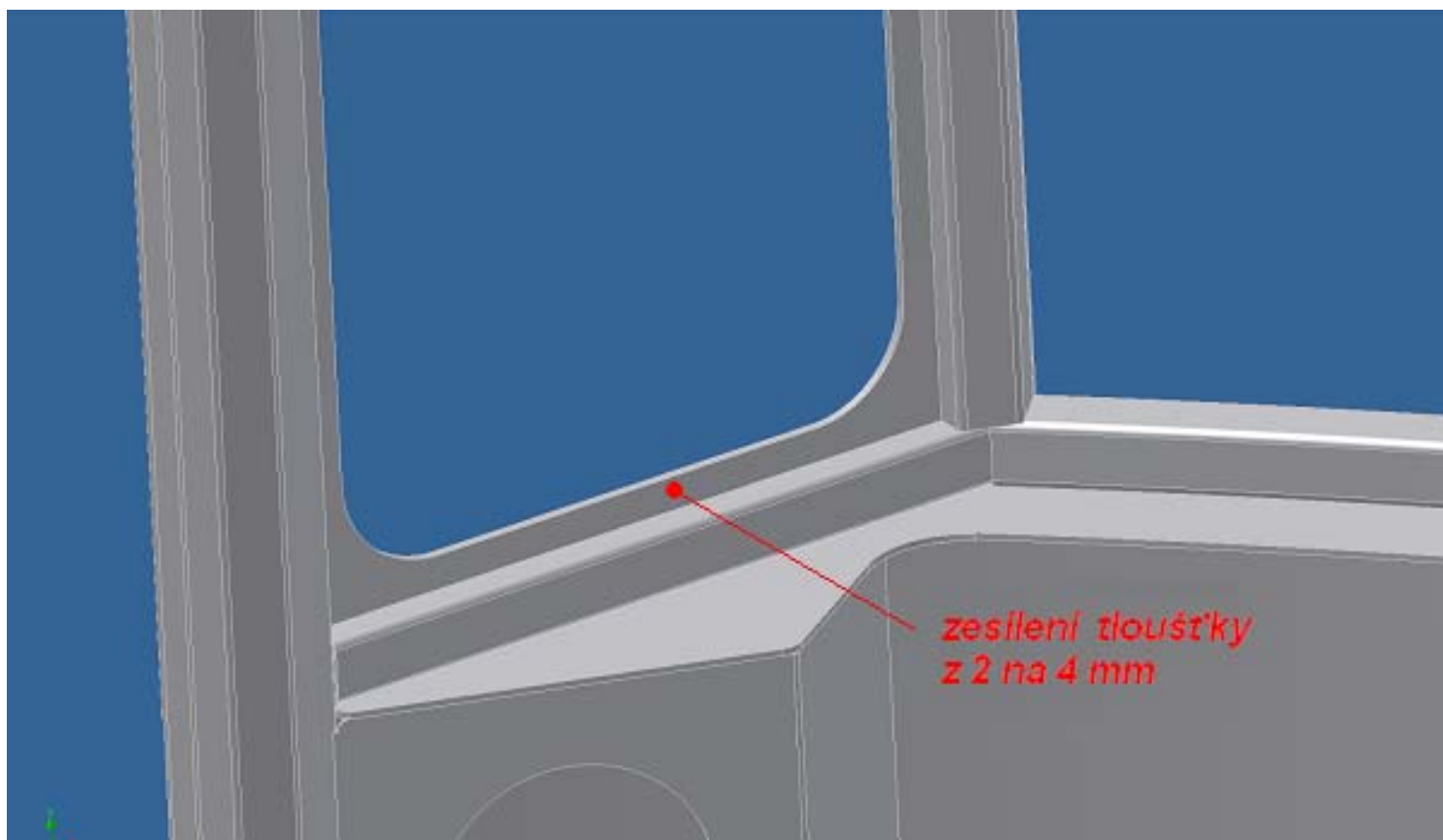
Contitech 212706 55 Sh A



Contitech 210470 65 Sh A







Autodesk Inventor Professional 2010 Sestava1

Zadejte klíčové slovo nebo výraz.

Sestavení Návrh Model Kontrola Nástroje Správa Pohled Systémové prostředí Vault Začínáme Pevnostní analýza

Vytvořit simulaci Parametrická tabulka Přidat Pevné Ideální Síla Tlak Pohled síť Simulovat Animovat Sonda Vykreslování konvergence V měřítku 1:1 Protokol Nastavení pevnostní analýzy Ukončit aplikaci Pevnostní analýza

Správa Materiál Vazby Zatížení D... Připravit Řešit Výsledek Zobrazení Protokol Nastavení Konec

Pevnostní analýza vytvořit novou simulaci

Název: Simulace:1
Cíl návrhu: Jediný bod

Typ simulace Stav modelu

Statická analýza

- Zjistit a odstranit režimy tuhého tělesa
- Oddělovat napětí na povrchu dotyků
- Analýza pohybového zatížení

Součást: [] Časový krok: []

Modální analýza

- Počet režimů: 5
- Rozsah frekvencí: 0,000 - 0,000
- Vypočítat předem načtené režimy
- Zvýšená přesnost

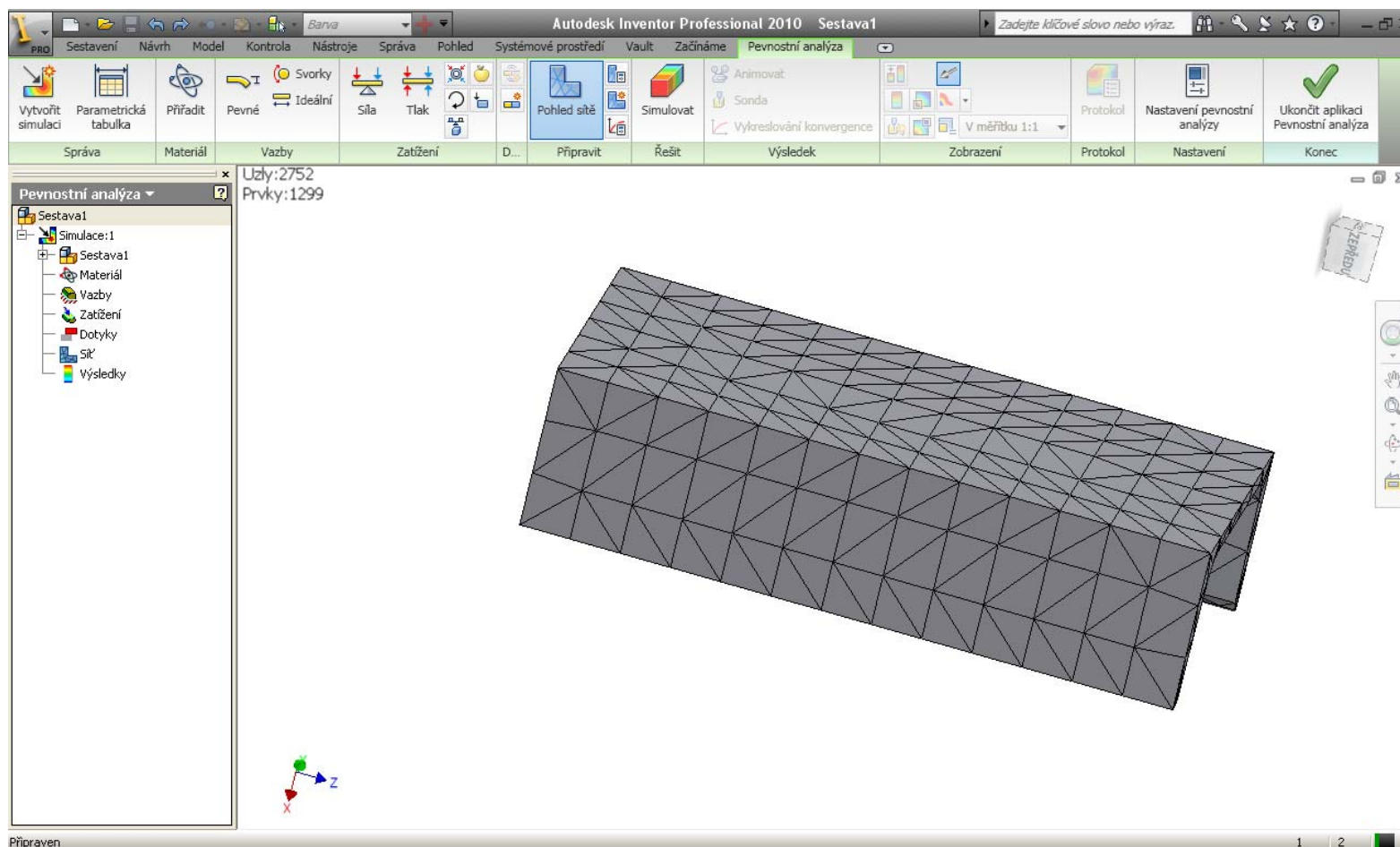
Dotyky

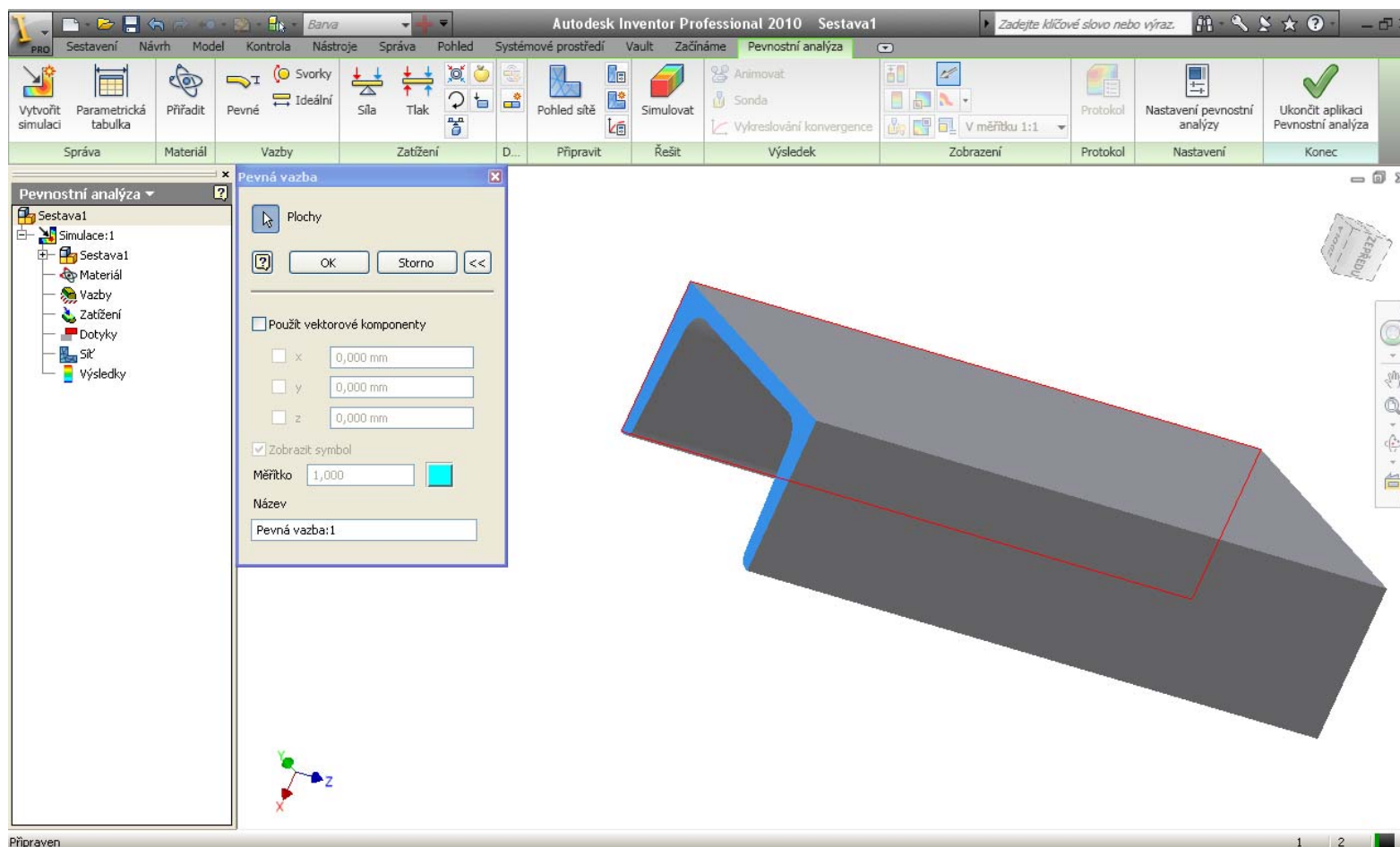
Tolerance: 0,100 mm Výchozí typ: Vázaný

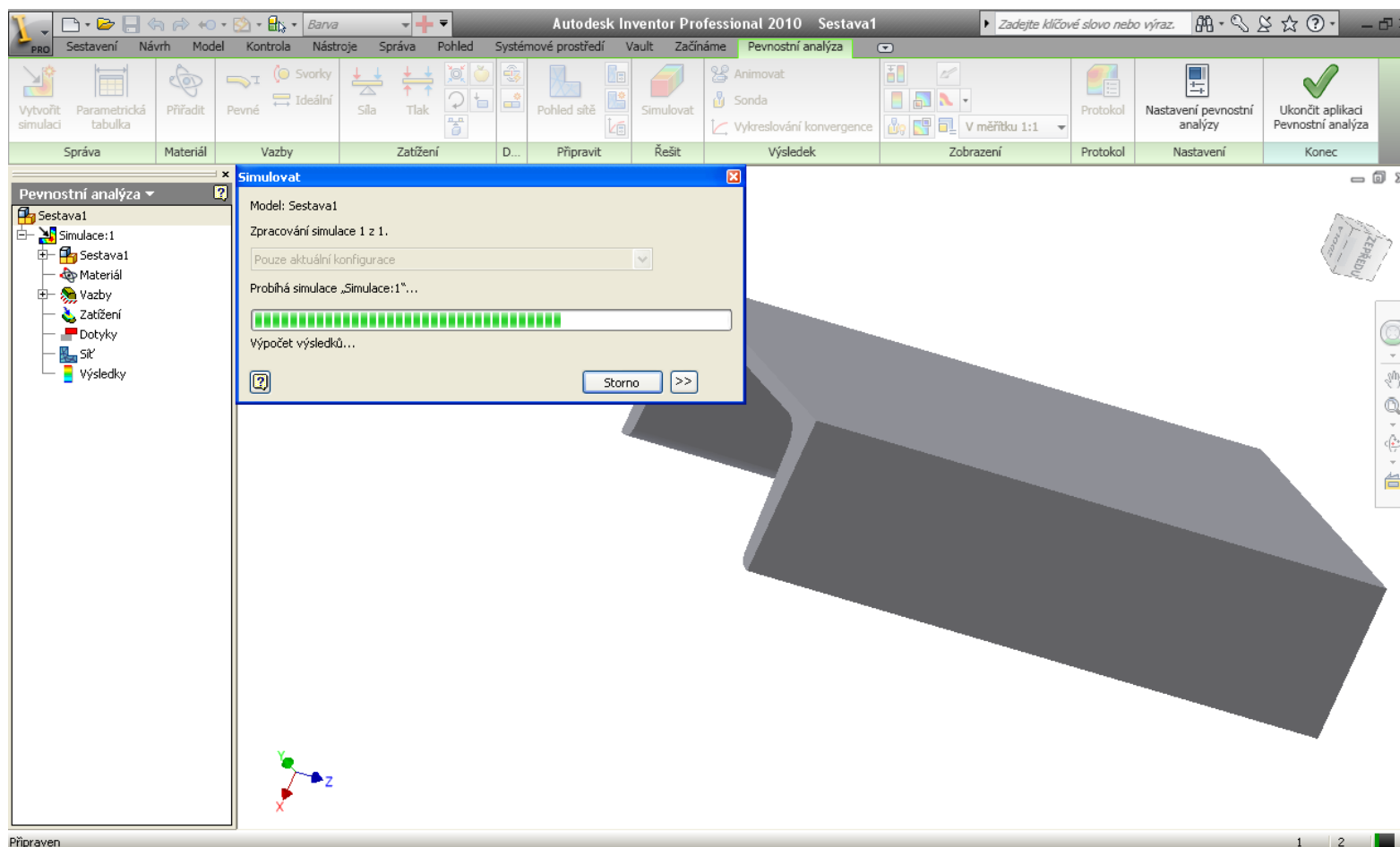
Kolmá tuhost: 0,000 N/mm Tangenciální tuhost: 0,000 N/mm

[?] [Výchozí] [OK] [Storno]

Připraven 1 2







Autodesk Inventor Professional 2010 Sestava1

Zadejte klíčové slovo nebo výraz.

Barva

PRG Sestavení Návrh Model Kontrola Nástroje Správa Pohled Systémové prostředí Vault Začínáme Pevnostní analýza

Vytvořit simulaci Parametrická tabulka Přiradit Pevné Ideální Síla Tlak Pohled sítě Simulovat Animovat Sonda Vykreslování konvergence V měřítku 1:1 Protokol Nastavení pevnostní analýzy Ukončit aplikaci Pevnostní analýza

Správa Materiál Vazby Zatížení D... Připravit Řešit Výsledek Zobrazení Protokol Nastavení Konec

Pevnostní analýza

Sestava1

- Simulace:1
 - Sestava1
 - Materiál
 - Vazby
 - Zatížení
 - Dotyky
 - Sít'
 - Výsledky
 - Modální frekvence
 - F1 861,26 Hz
 - F2 965,05 Hz
 - F3 1255,59 Hz
 - F4 2036,17 Hz
 - F5 2693,21 Hz
 - Posunutí
 - Posunutí
 - Posunutí X
 - Posunutí Y
 - Posunutí Z

Typ: Posunutí
Jednotka: mm
24.10.2010, 21:21:12
11,46 Max.

9,17
6,87
4,58
2,29
0 Min.

Animovat výsledky

Zobrazit originál

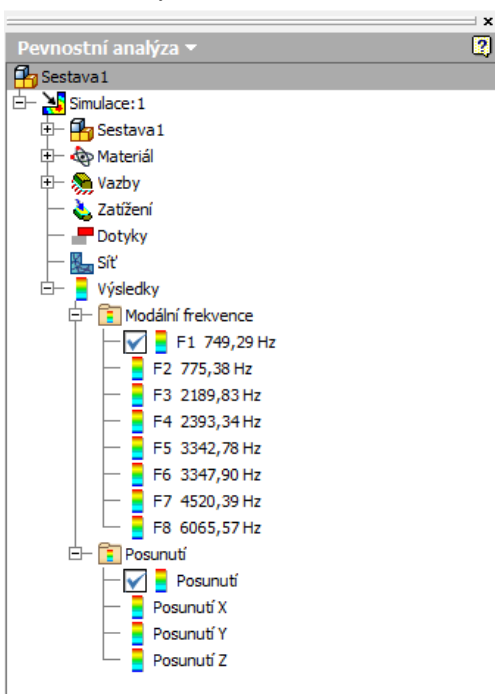
Rychlost: Normálně Kroky: 10

OK

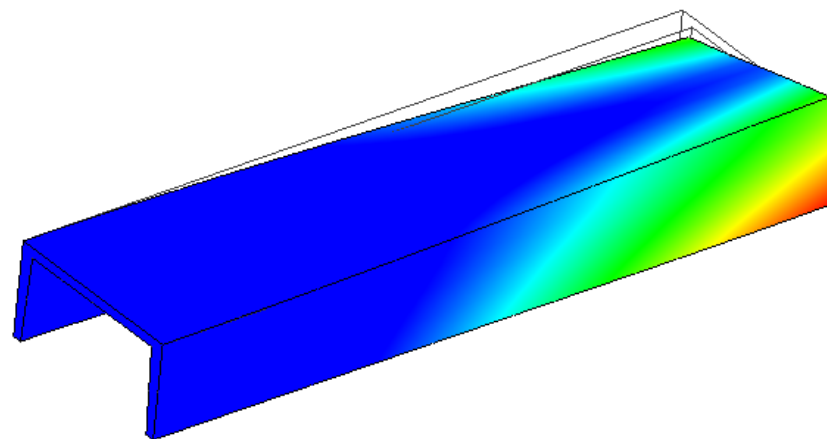
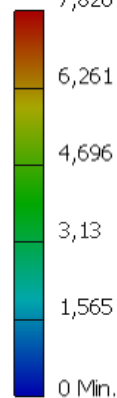
Připraven 1 2

Změna rezonance při změně materiálu

Materiál měkká ocel, rezonance na f. 749, 29 Hz

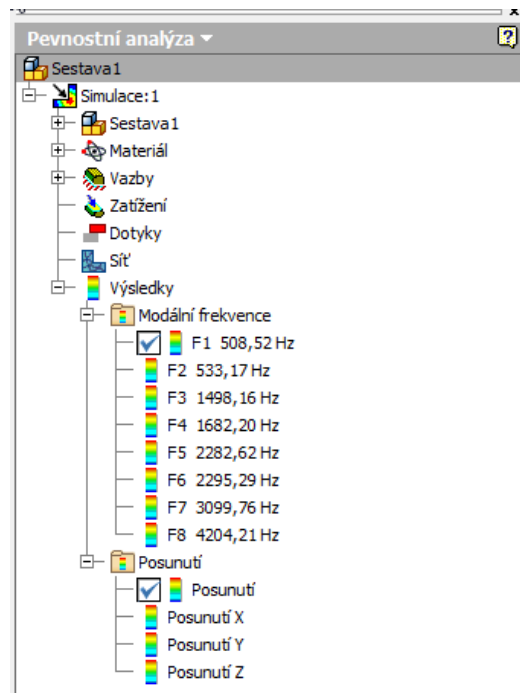


Typ: Posunutí
Jednotka: mm
4.3.2012, 20:54:34
7,826 Max.



Změna rezonance při změně materiálu

Materiál měď, rezonance na frekvenci 508,52 Hz



Typ: Posunutí
Jednotka: mm
4.3.2012, 20:59:04

7,826 Max.

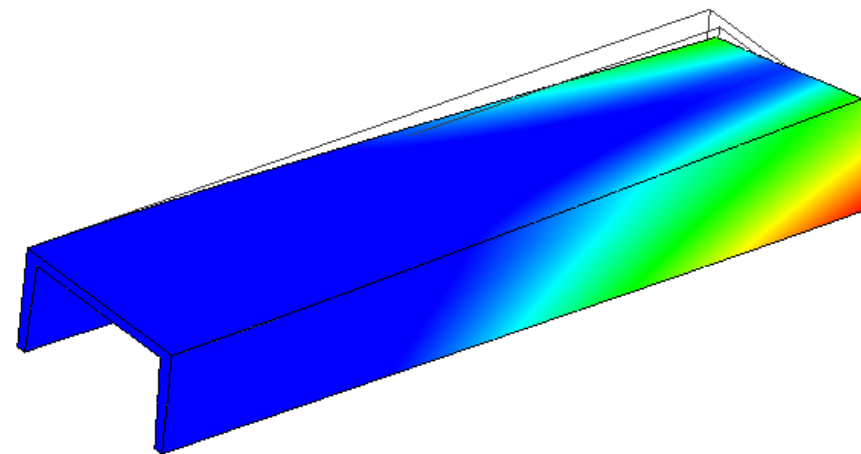
6,261

4,696

3,13

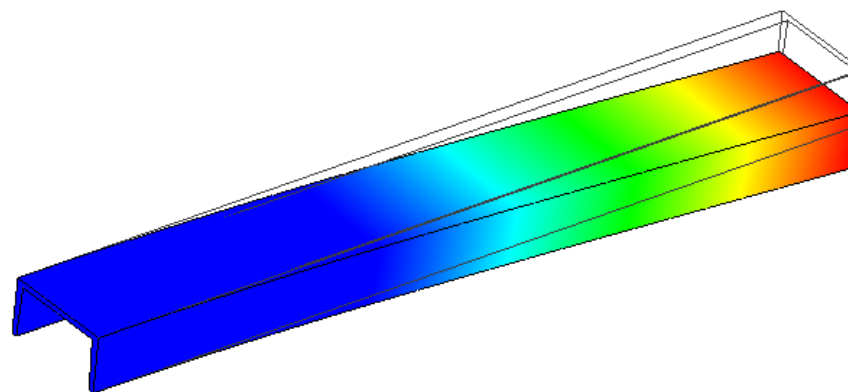
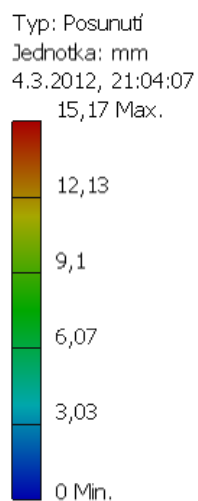
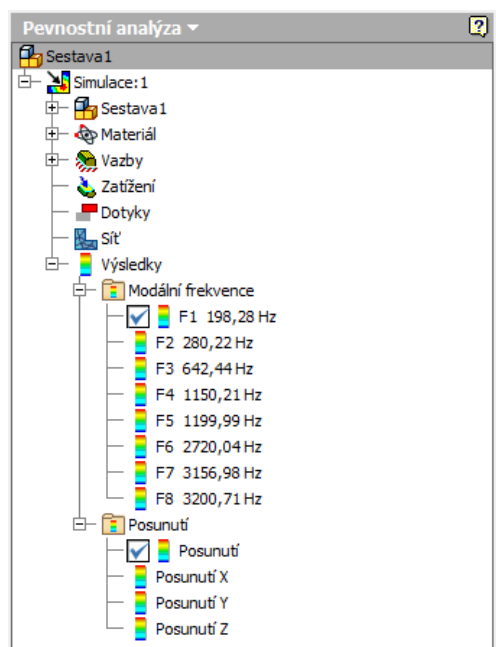
1,565

0 Min.



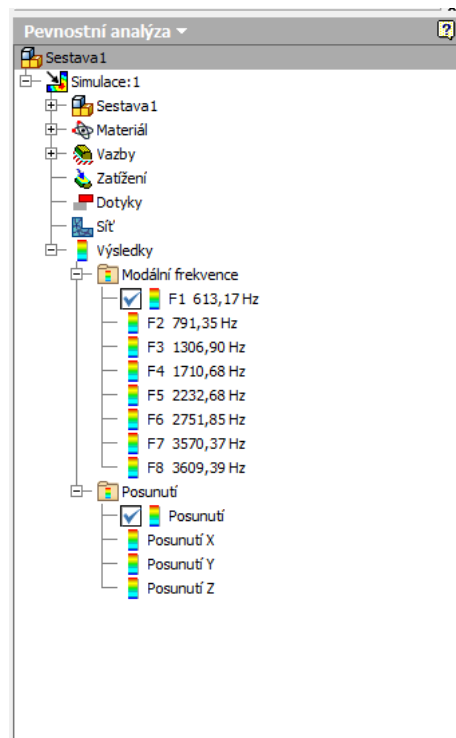
Změna rezonance při změně rozměrů

Materiál měkká ocel, změna délky na dvojnásobek, změna rezonance z 749, 29 Hz na 198, 28 Hz.

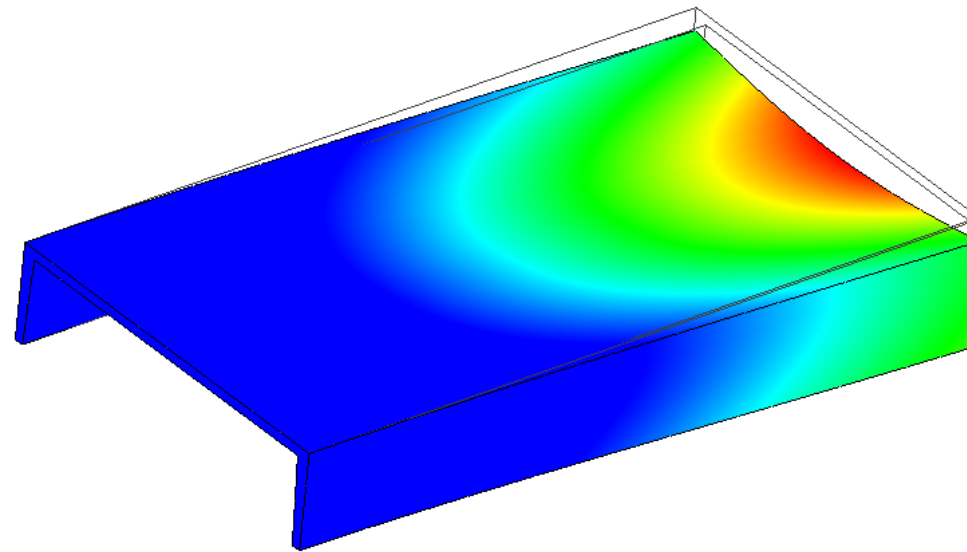
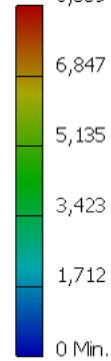


Změna rezonance při změně rozměrů

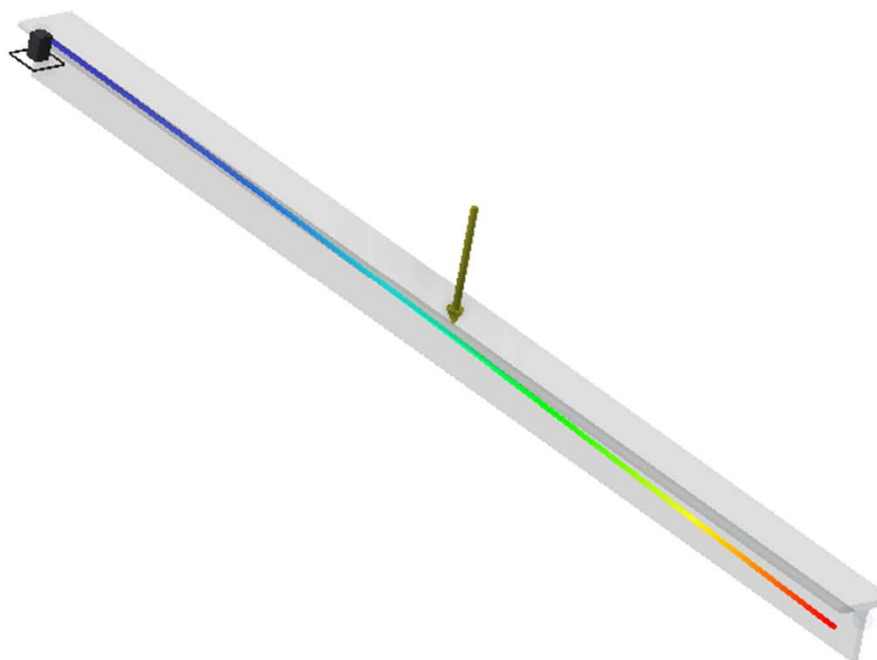
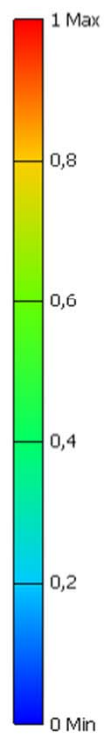
Změna šířky na dvojnásobek, z 749, 29 Hz na 613,17 Hz.



Typ: Posunutí
Jednotka: mm
4.3.2012, 21:17:34
8,559 Max.



Frekvenční režim 1 v rozsahu
Typ: Posunutí
Frekvence: 30,12 Hz
Jednotky: ul Normalizováno
20.2.2017, 20:09:36



Porovnání profilů

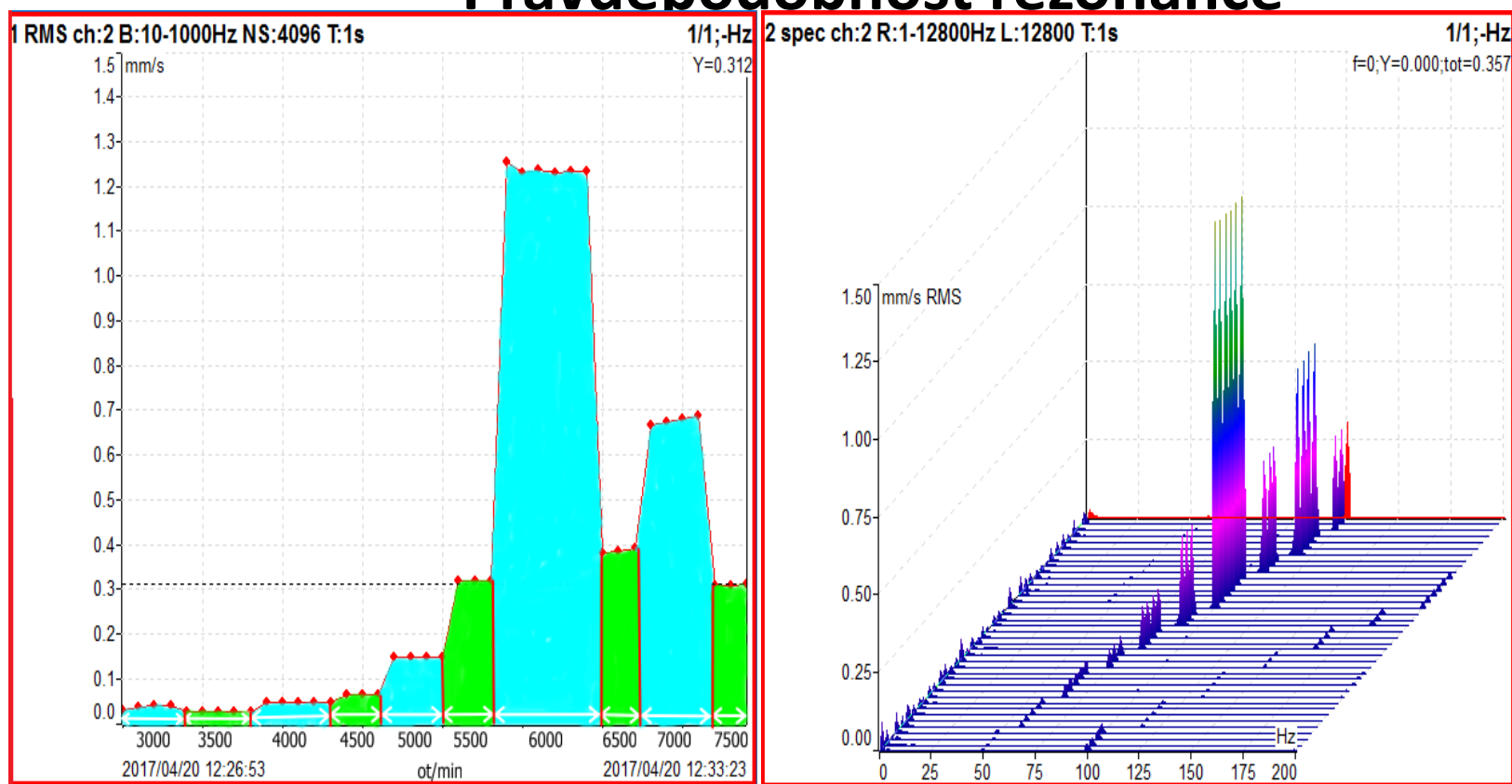
Označení profilu	Hmotnost 1m	1. Vlastní fr.
T 50/B-1000 ČSN 42 5580	4,6kg	30,12Hz
U 50/B-1000 ČSN 42 5570	5,6kg	33,63Hz
TYČ KR 50-1000 ČSN 42 5510.1	15,4kg	37,19Hz
4HR 50-1000 ČSN 42 5520	19,6kg	42,93Hz
L 50x5-1000 ČSN 42 5541.1	3,8kg	44,94Hz
TR 51x5-1000 ČSN 42 5715.01	5,7kg	48,65Hz
TR 4HR 50x5-1000 ČSN 42 5520	6,56kg	53,49Hz

REPASOVANÉ OBRÁBĚCÍ CENTRUM HERMLE C30U

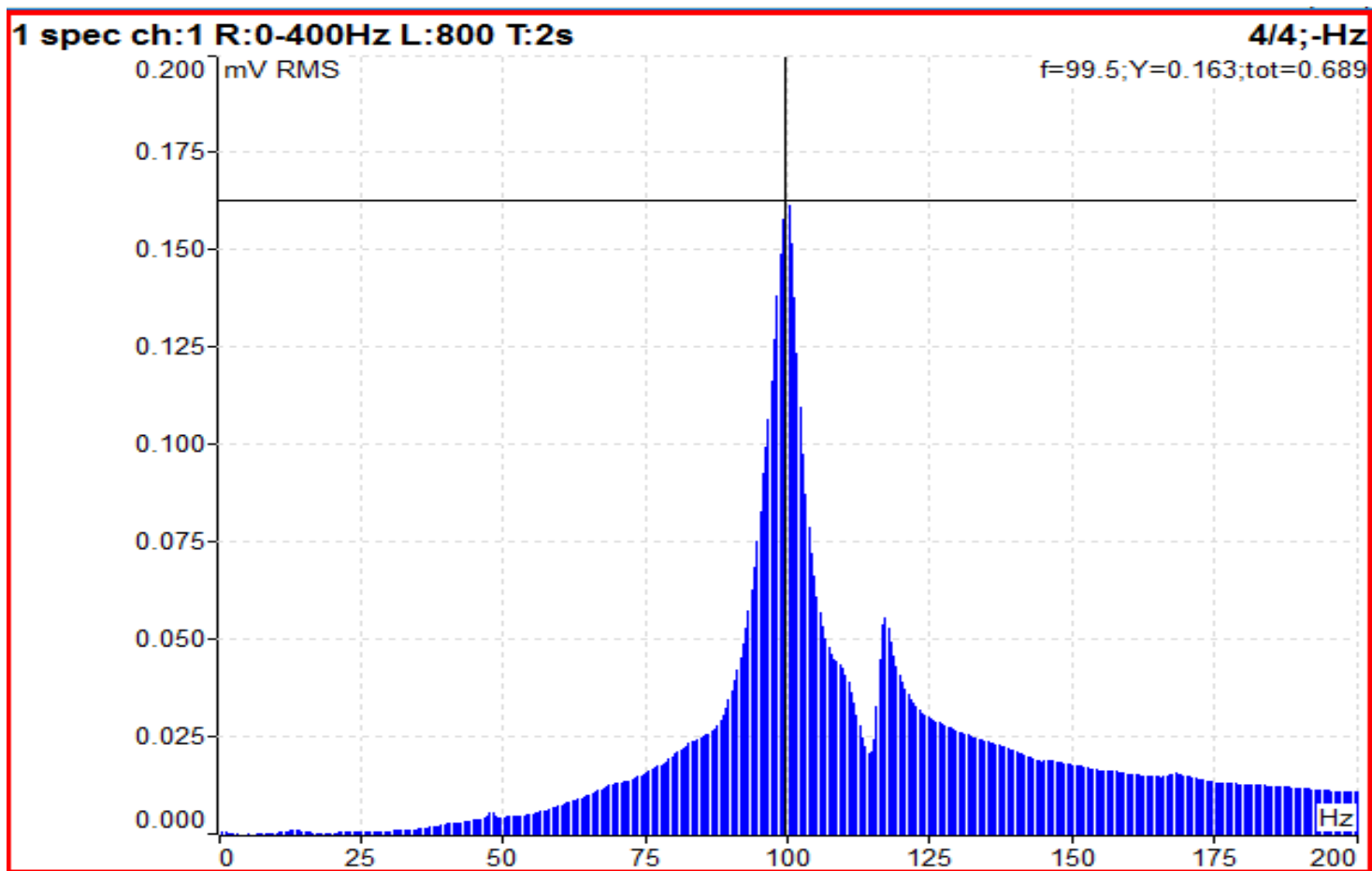


Hermle C30U

Vysoké vibrace při 6000 a 7000 ot/min Pravděpodobnost rezonance



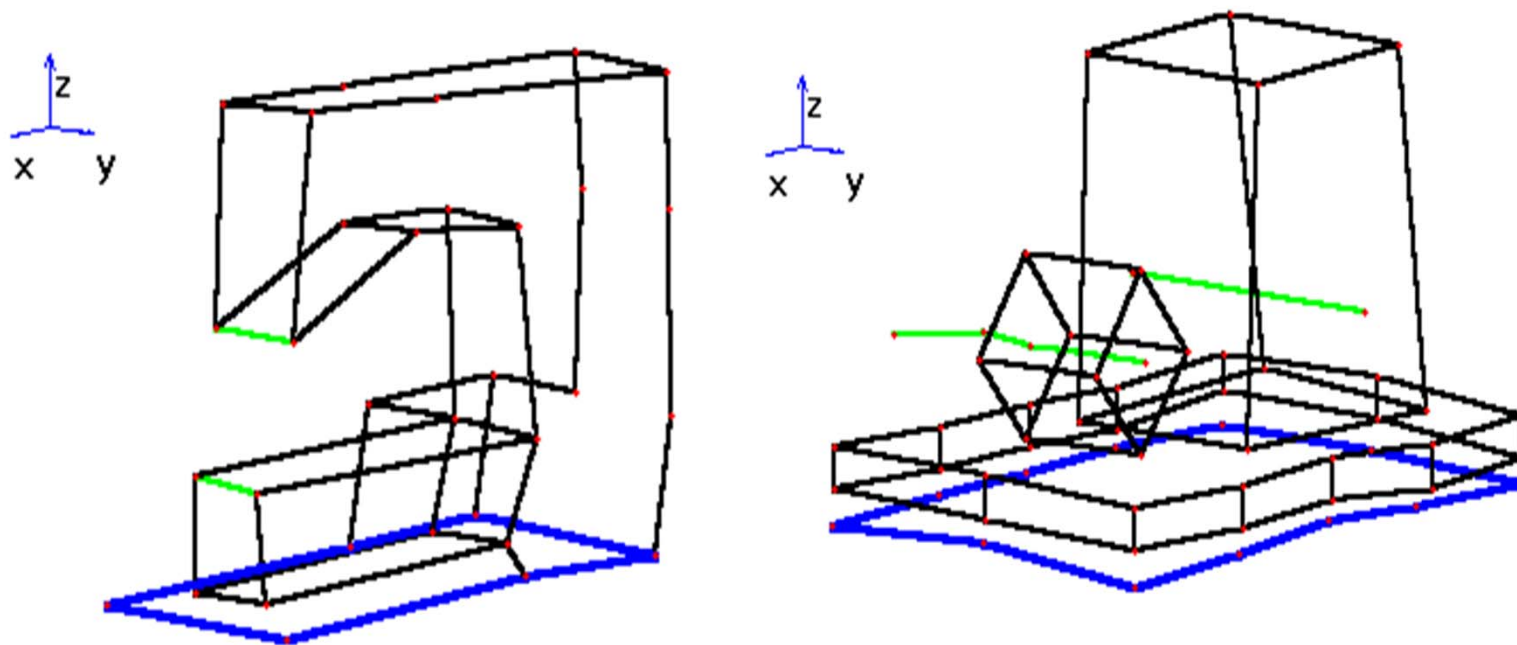
Potvrzení rezonance BumpTestem

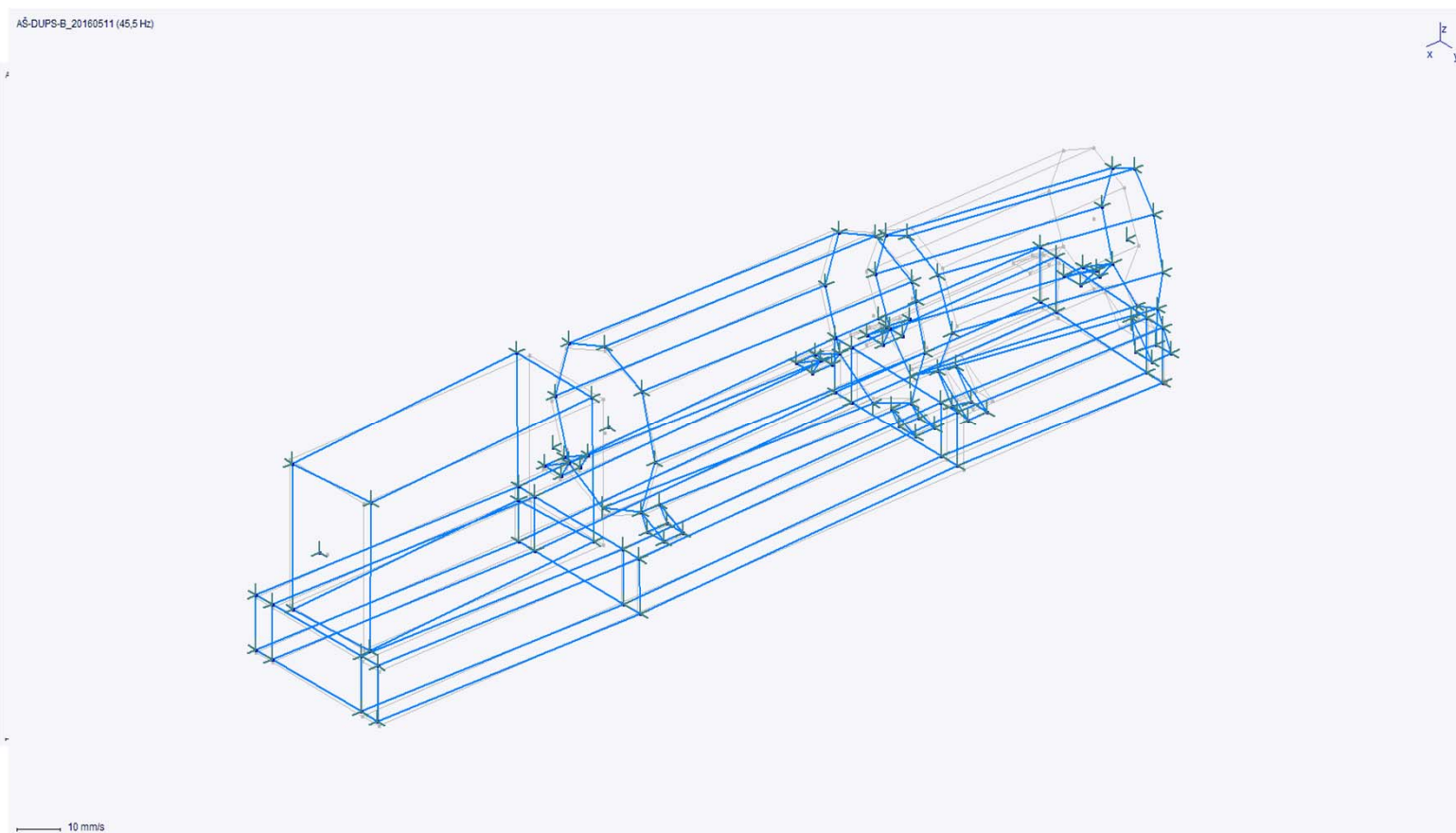


Cena rekonstrukce cca. **500 000,- Kč**

Výsledek jednání, 50% zaplatila firma provádějící opravu, 50% pojišťovna. Objednavatel bez nákladů!

Vibrační diagnostika - PTK





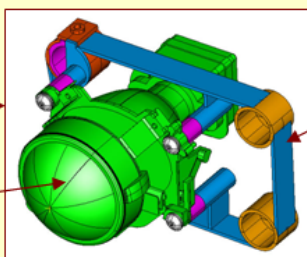
Zadání soutěžního projektu

Řešení tvaru rámu světelného modulu, zadávací parametry

Základní pojmy

Světelný modul →

ED Projektor →



Rám
světelného
modulu



Světlomet →



Vstupní zadávací parametry

Řešení prostřednictvím systému I-DEAS podle návodu.

Geometrický tvar, základní rozměrové prvky, úchytné části, objemová obálka.

Tloušťka stěn vnějších, minimální a doporučená: 2 mm

Tloušťka stěn vnitřních, minimální a doporučená: 1,6 mm

Rádiusy a úkosy: výpočtový model nezohledňuje (zanedbatelné hodnoty)

Obecný požadavek na tvar: výrobitelnost prostřednictvím dvoudílné formy s dělicí rovinou.

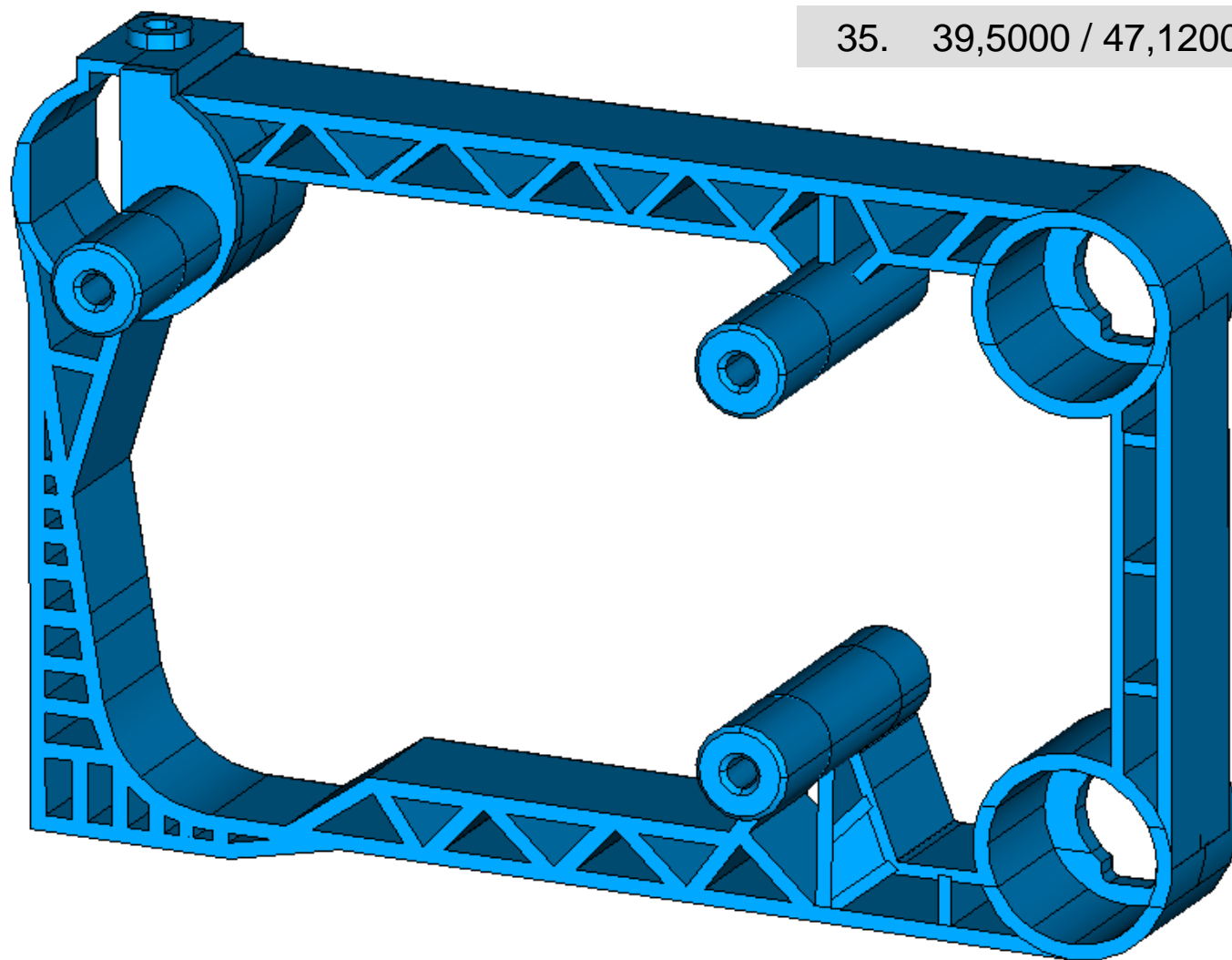
Typ prvku: parabolický čtyřstěn

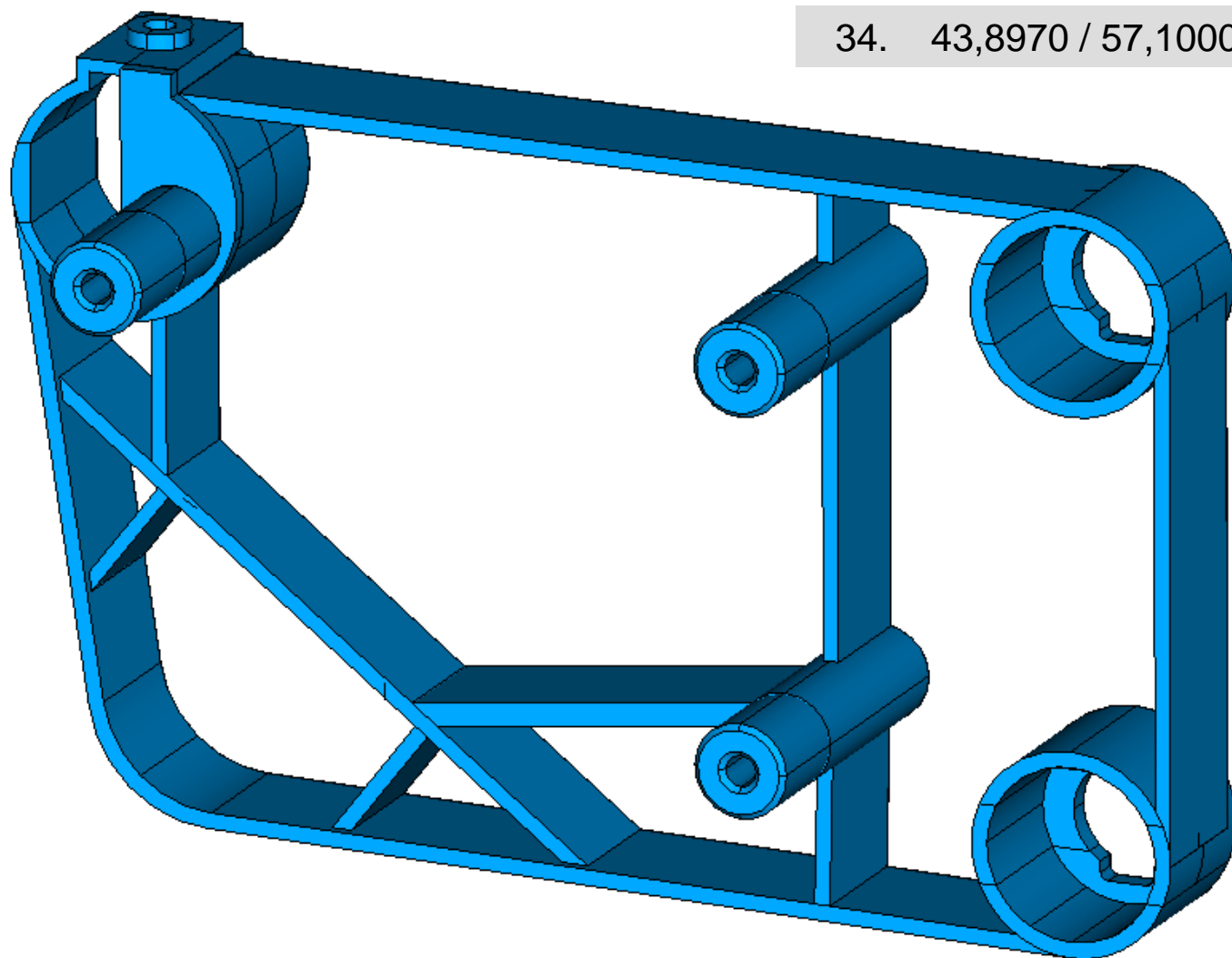
Velikost prvku, maximální: 2 mm

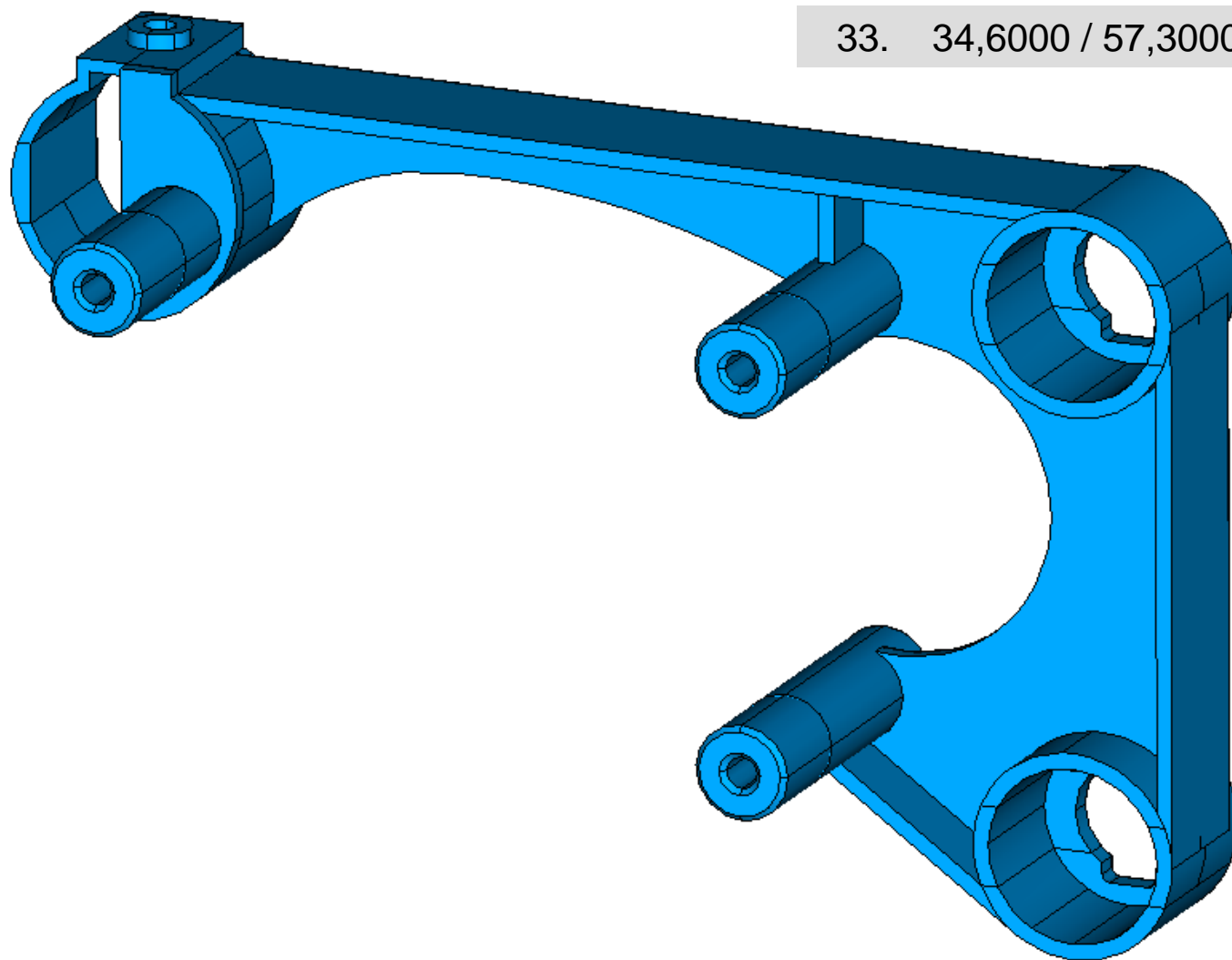
Způsob zadání okrajových podmínek: podpora (restrain), vazba (constrain), absolutně tuhý prvek (rigid), hmotný bod (lumped mass)

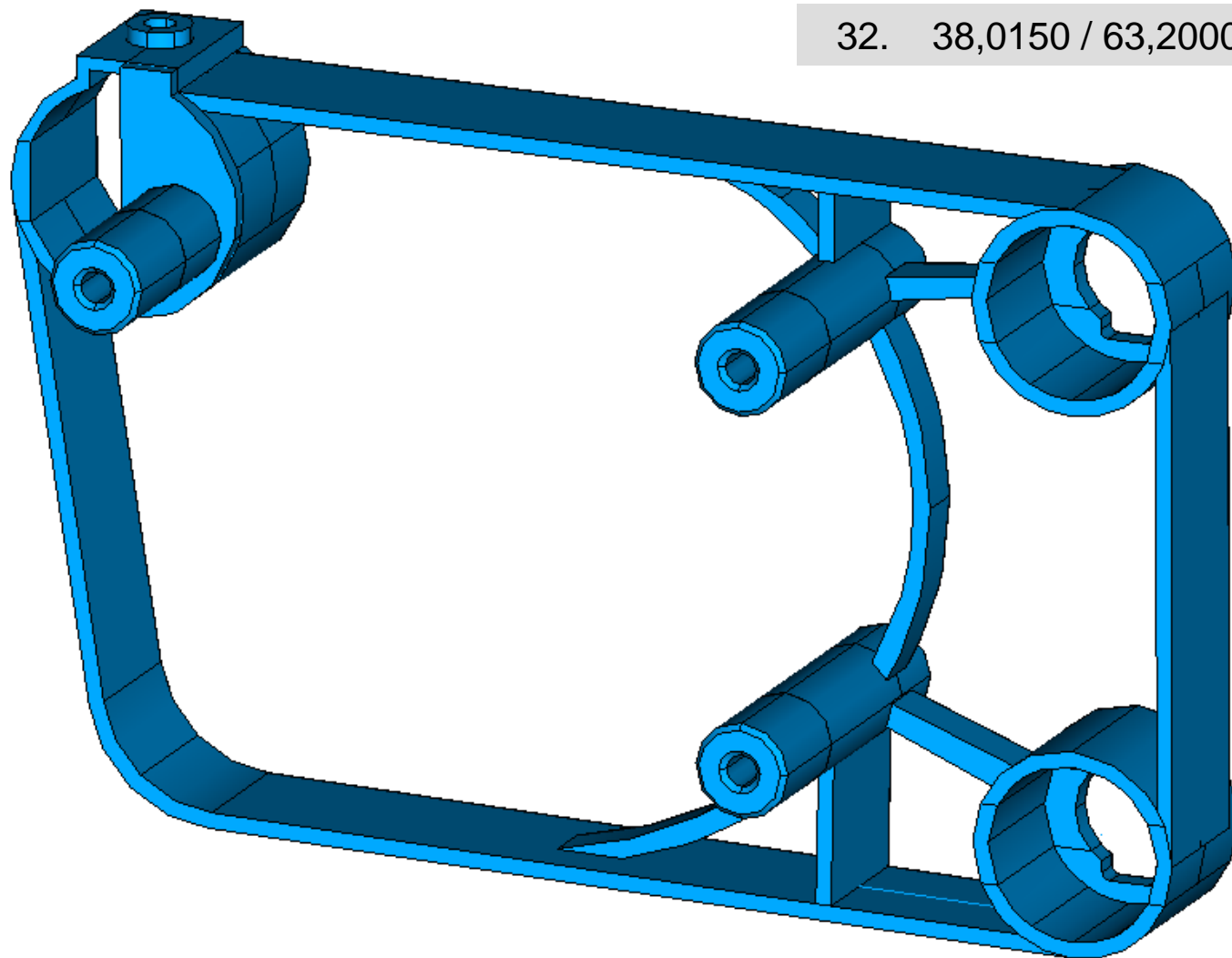
Materiál rámu: PA6T/XT-GF35 - Zytel HTN 51G35HSL

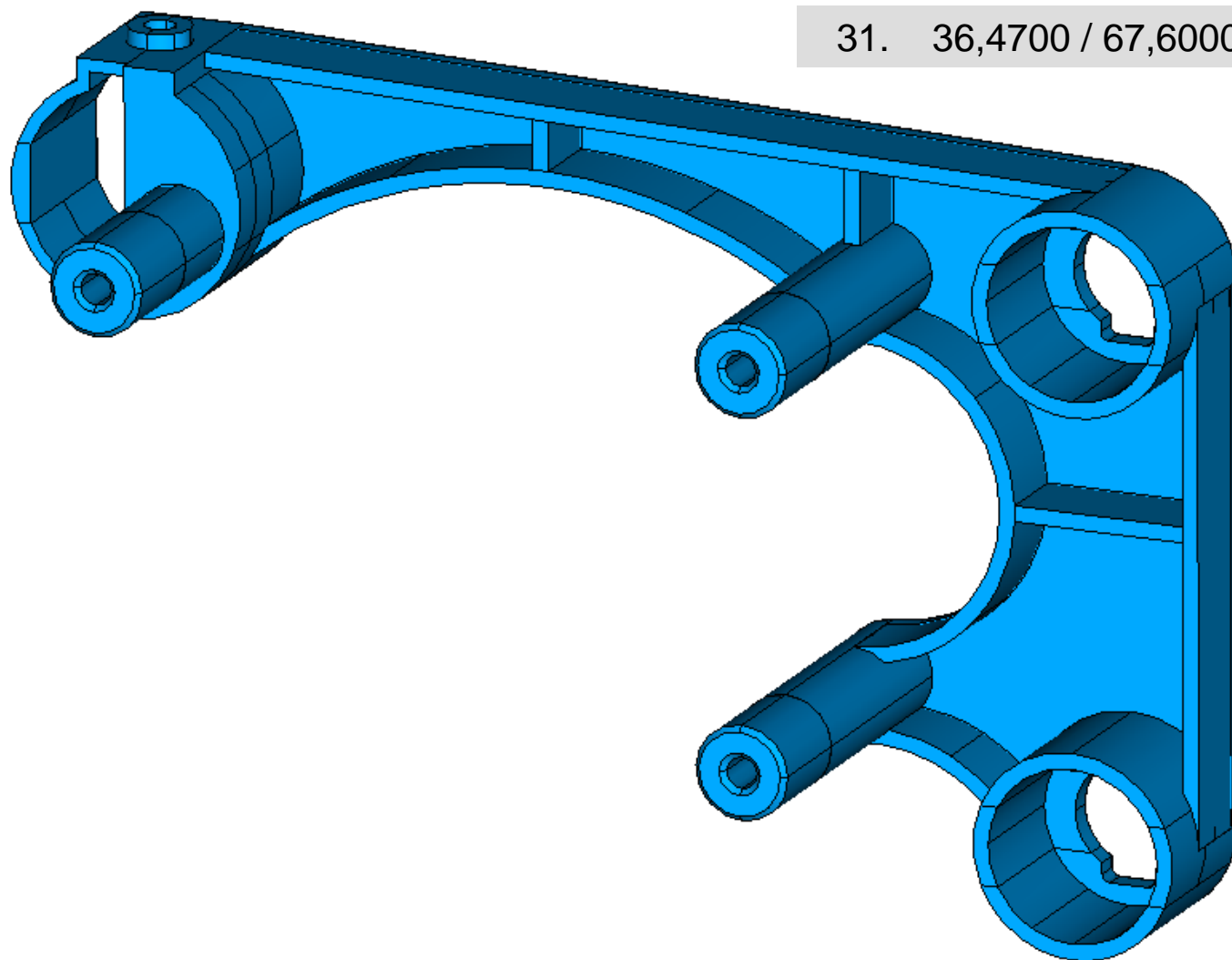
První vlastní frekvence rámu: minimální hodnota při pokojové teplotě = 80 Hz

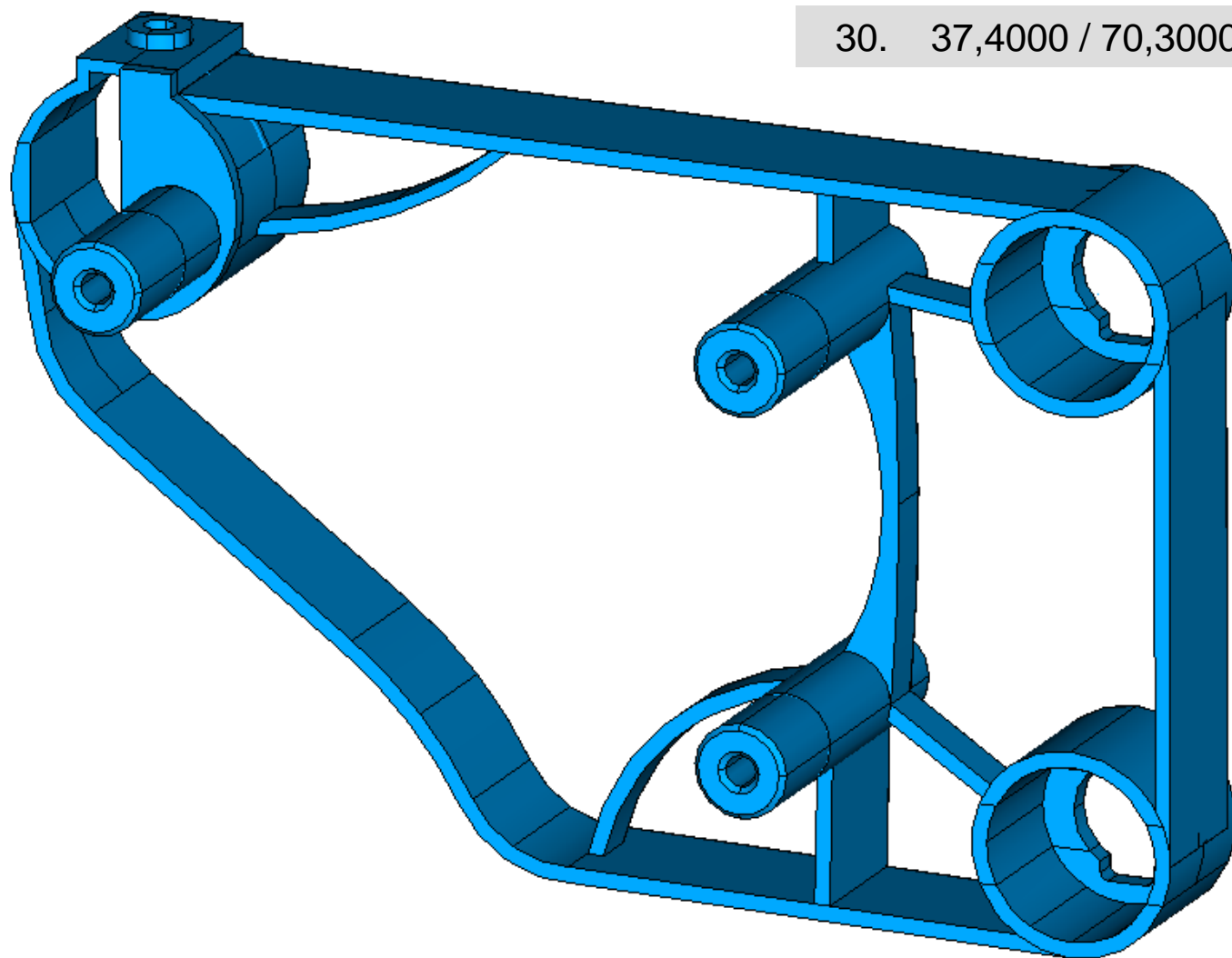


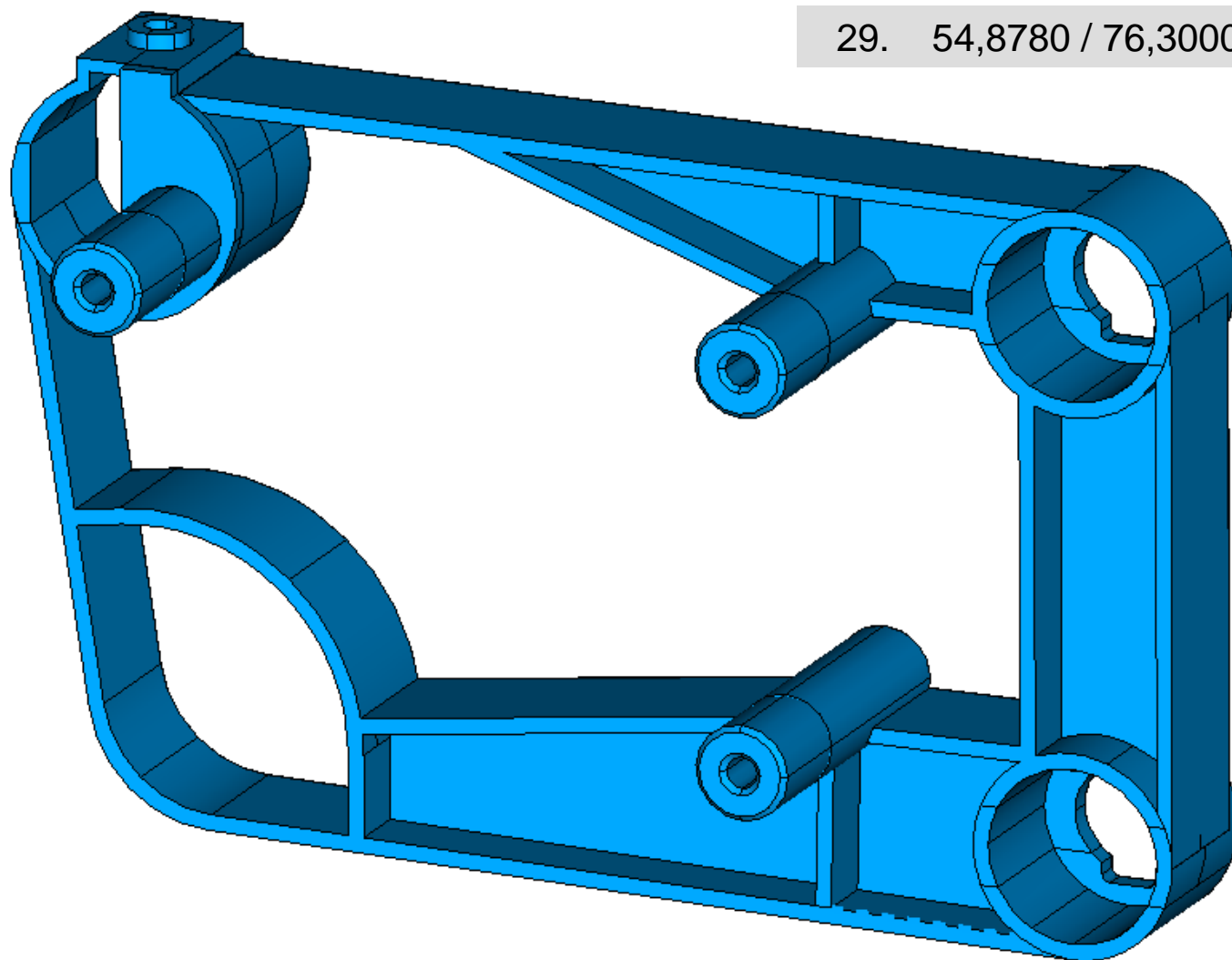


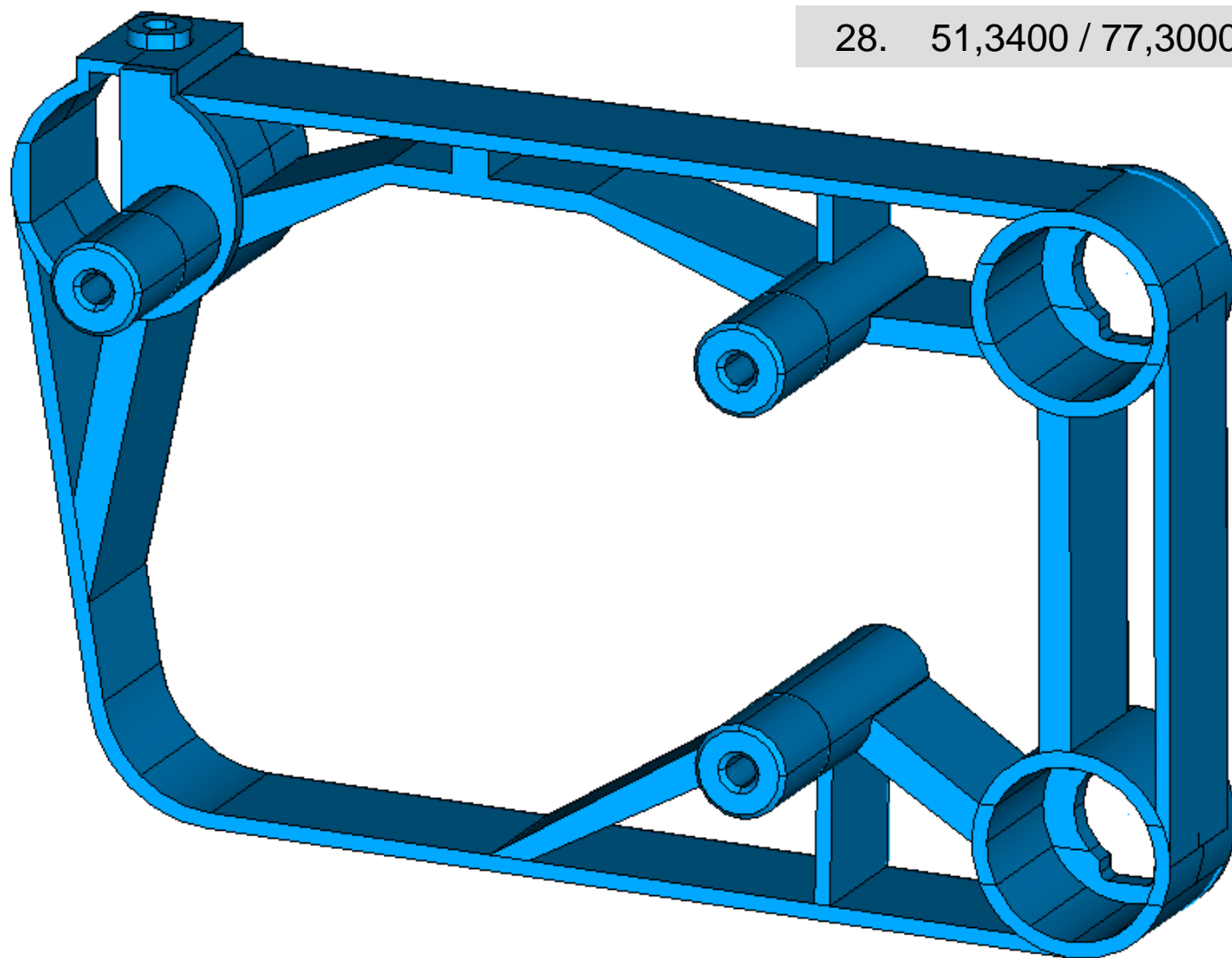


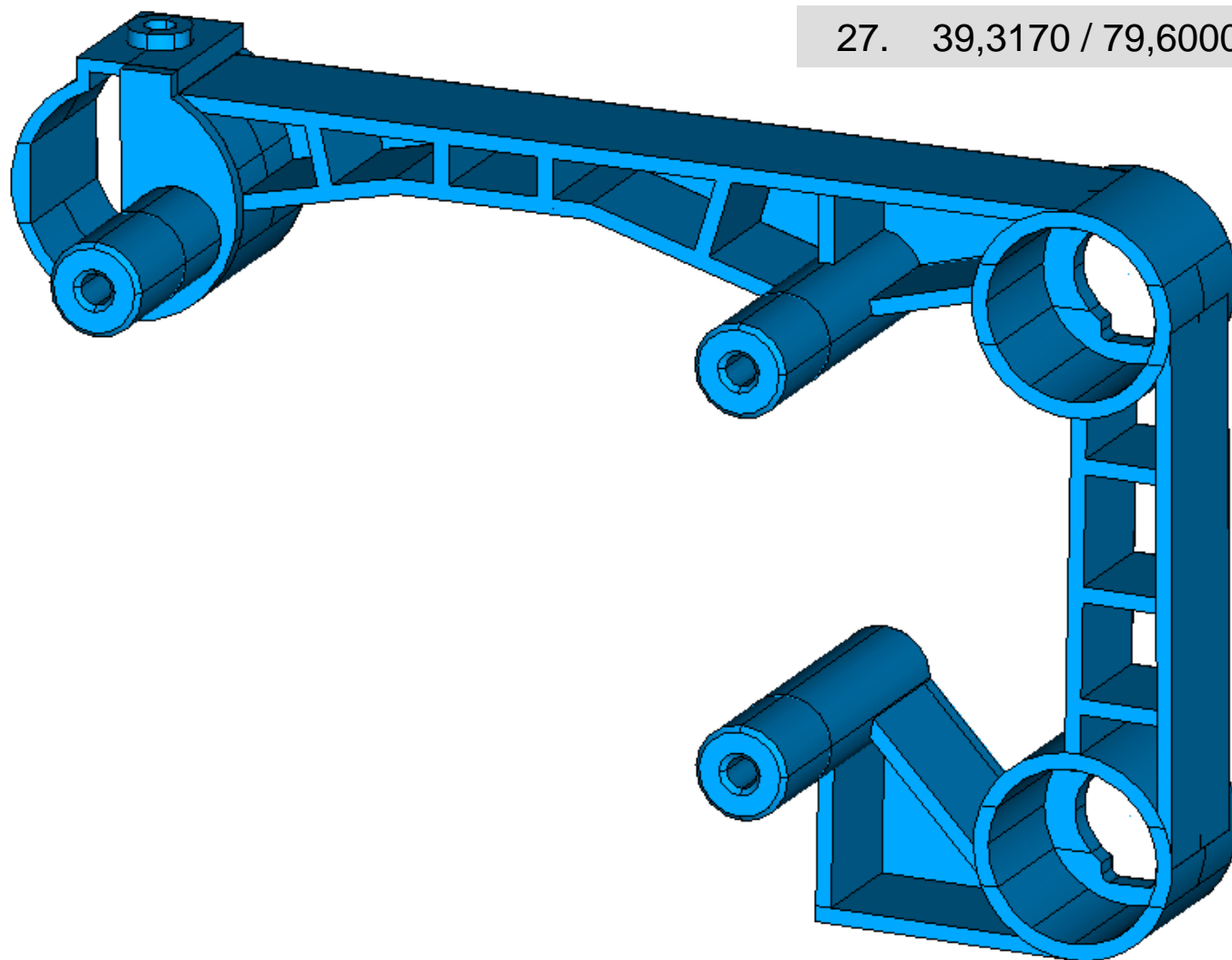


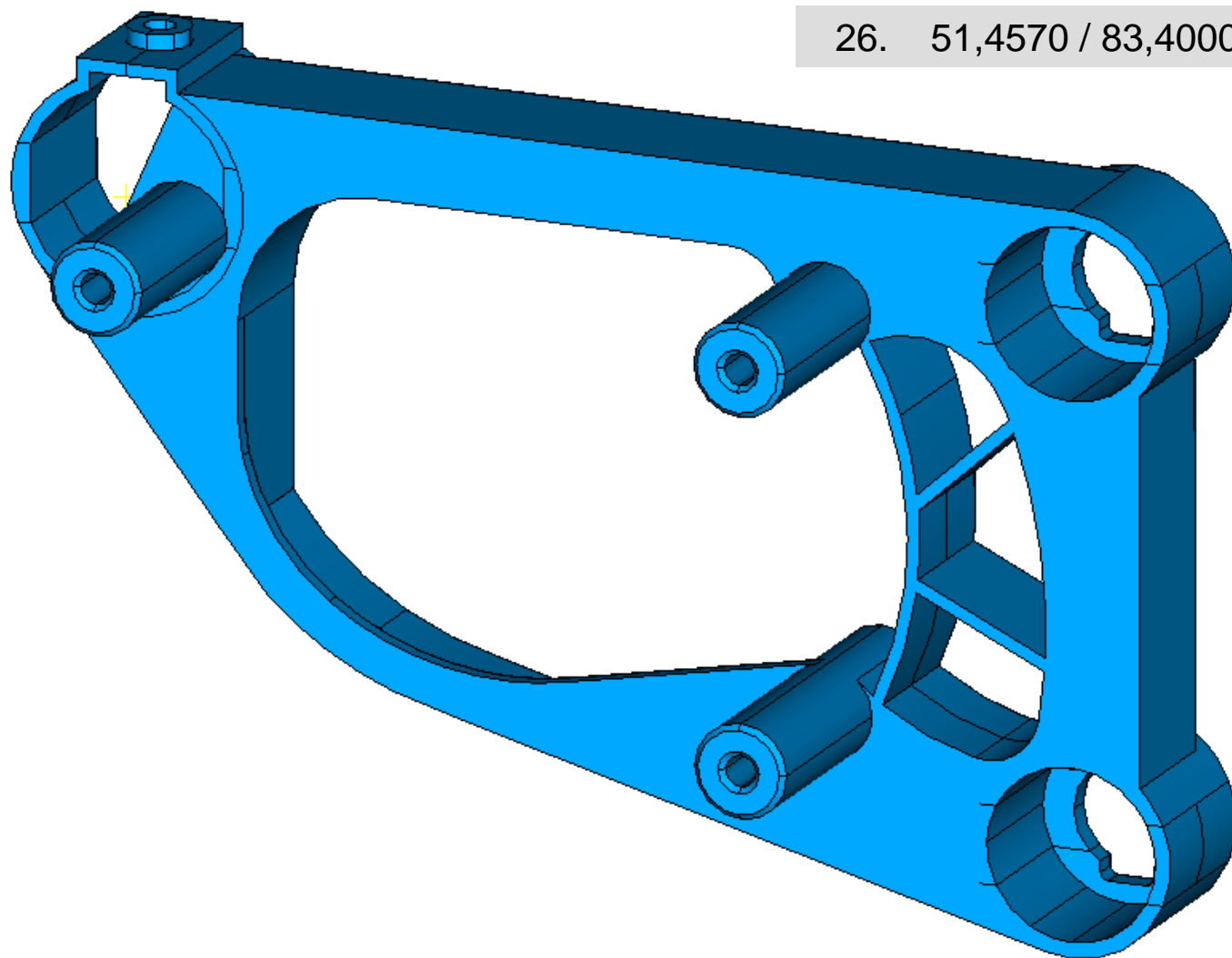


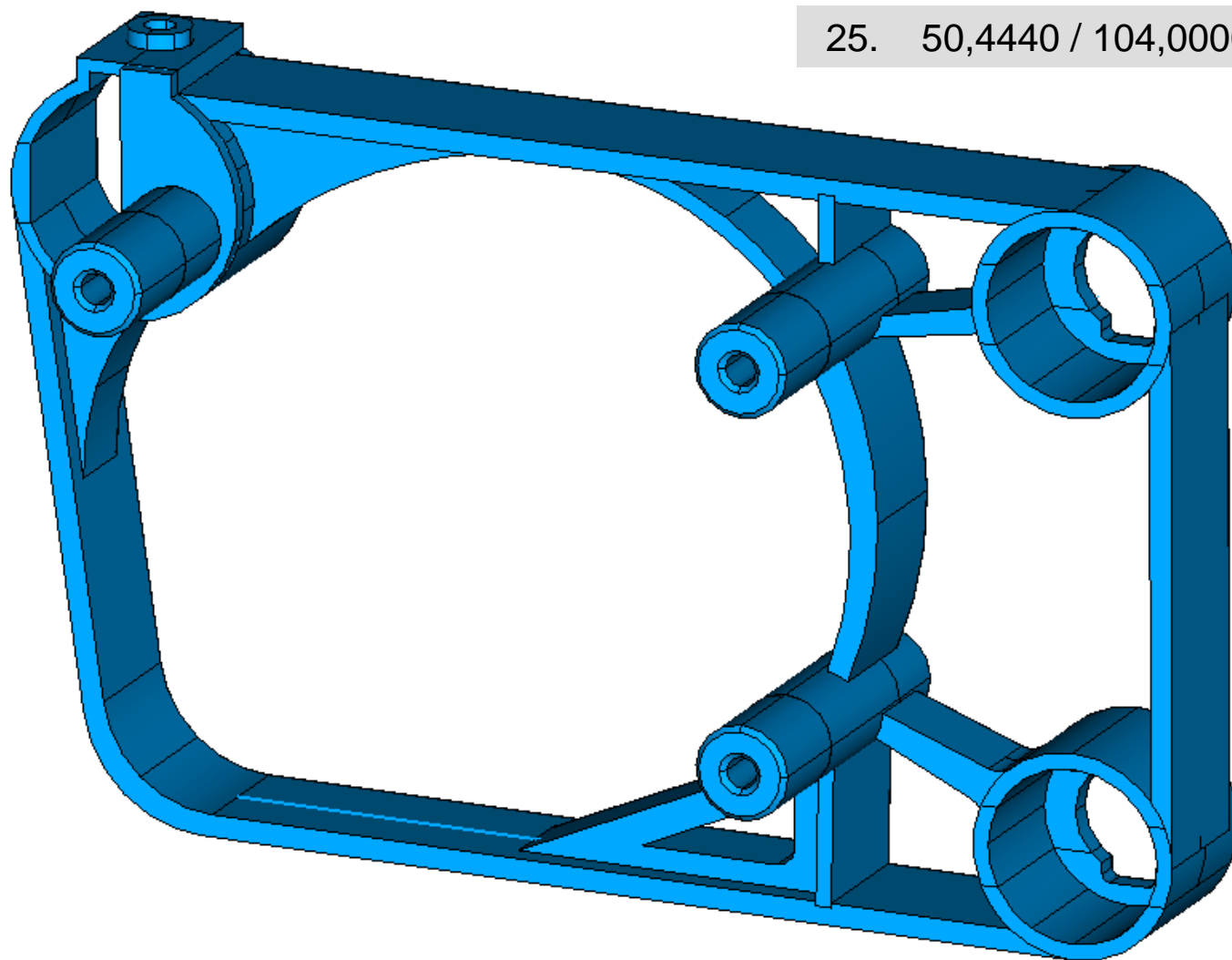


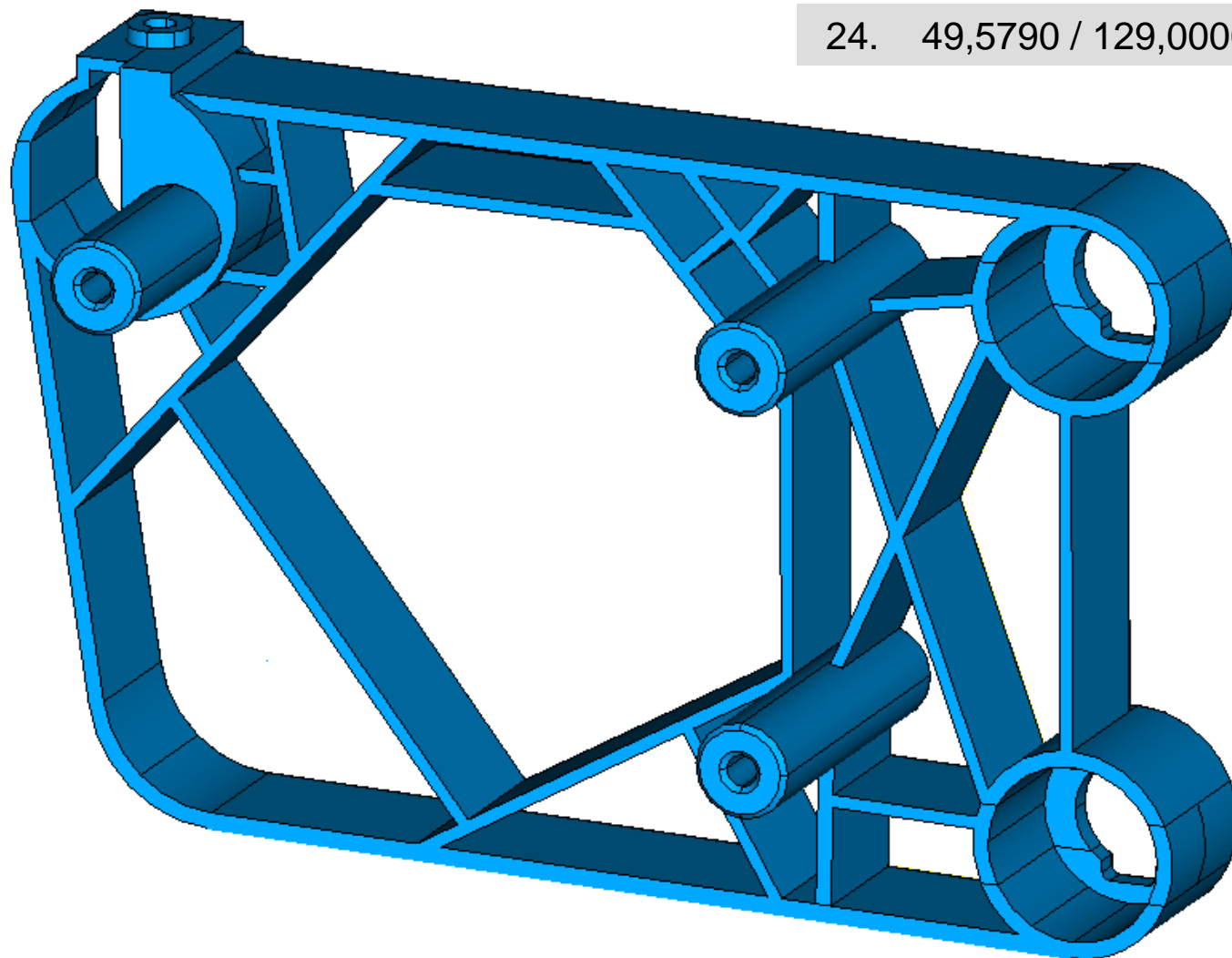


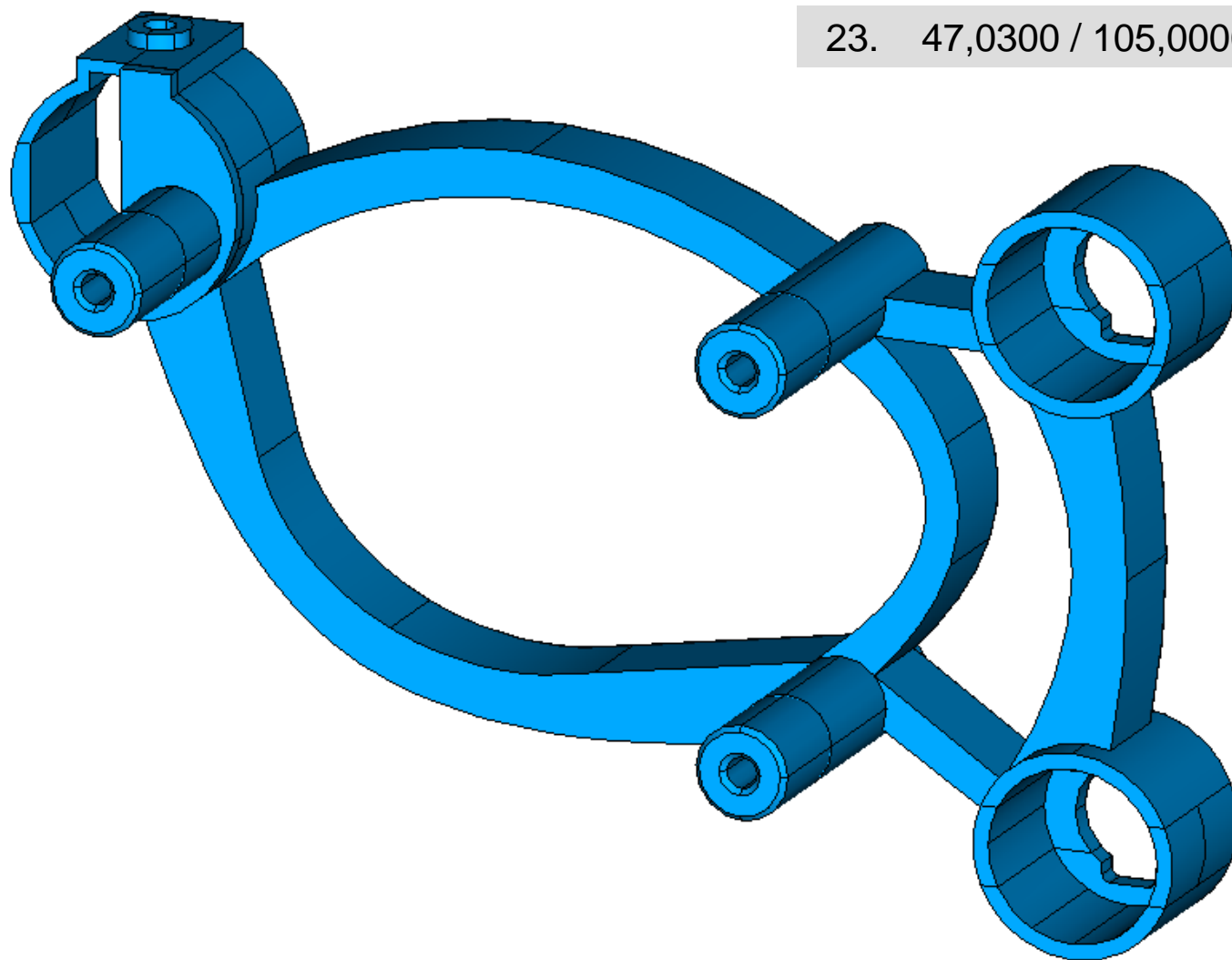


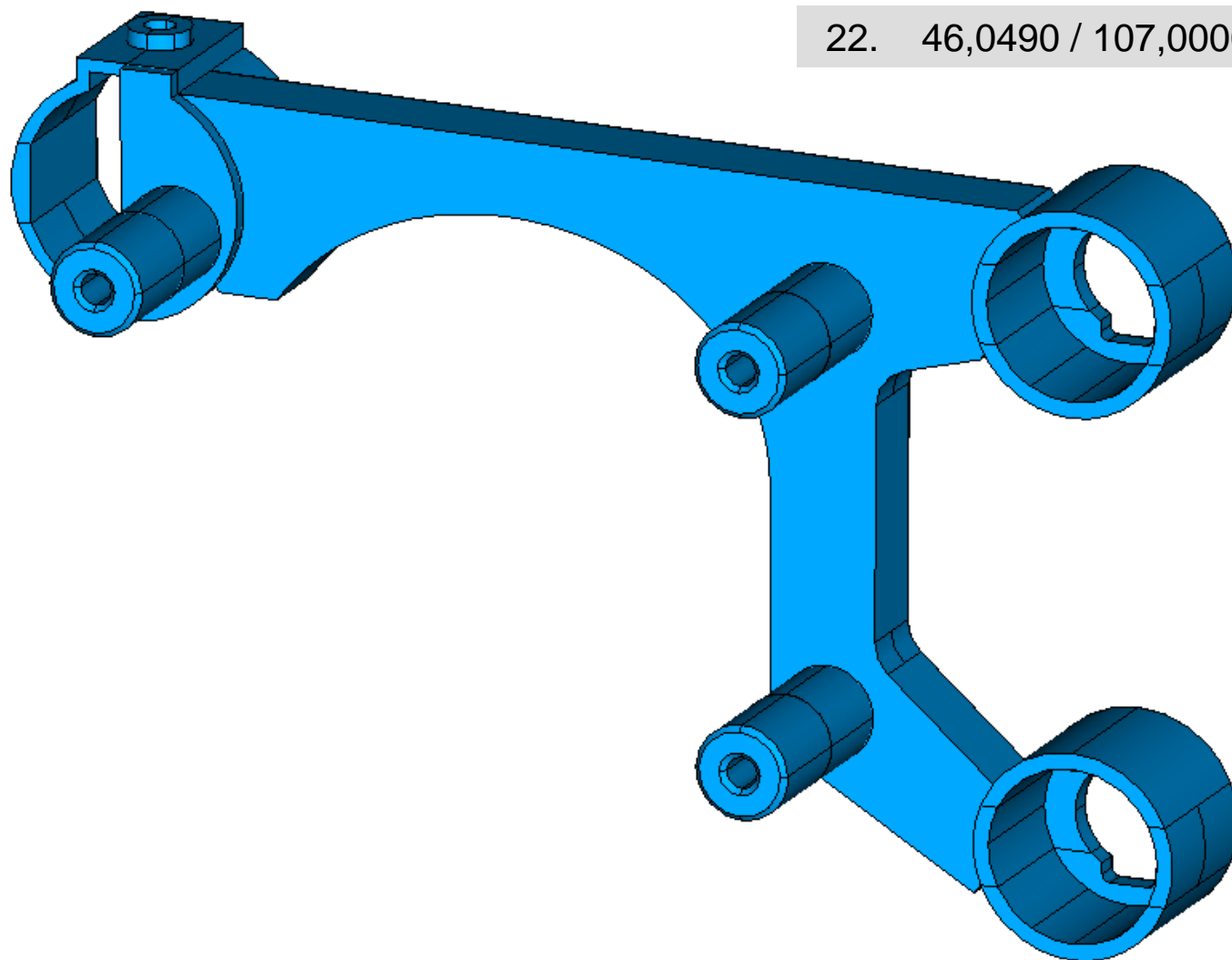


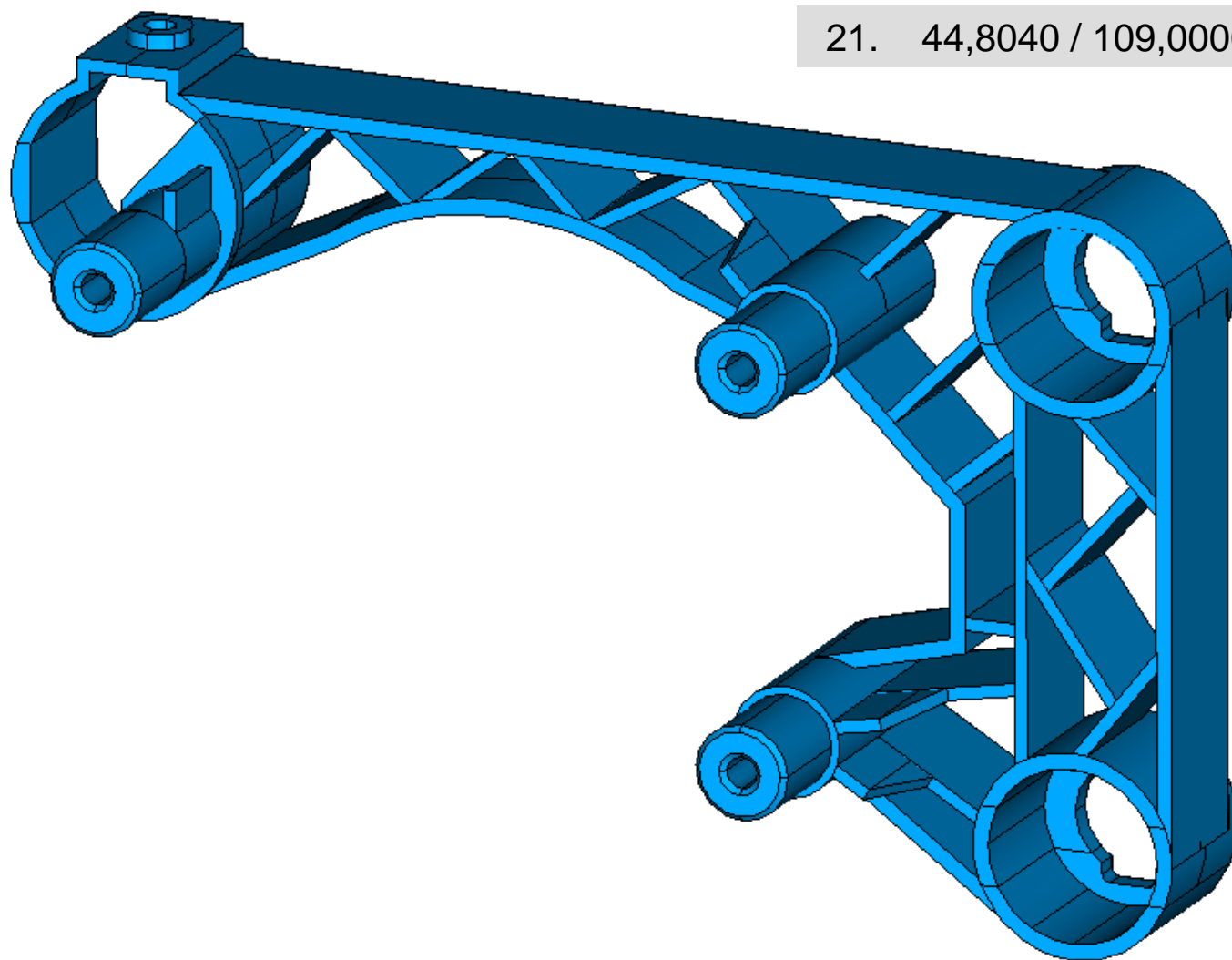


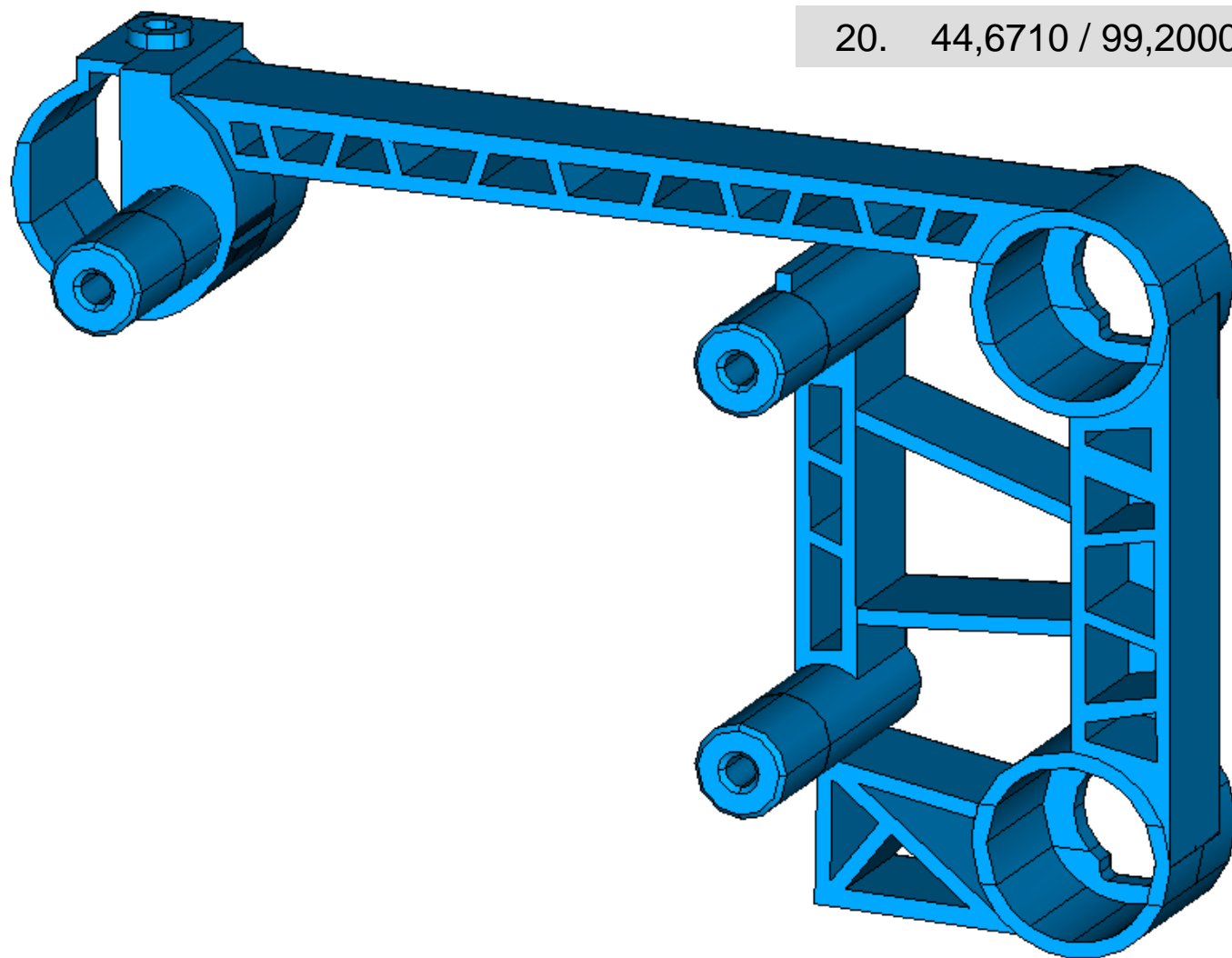


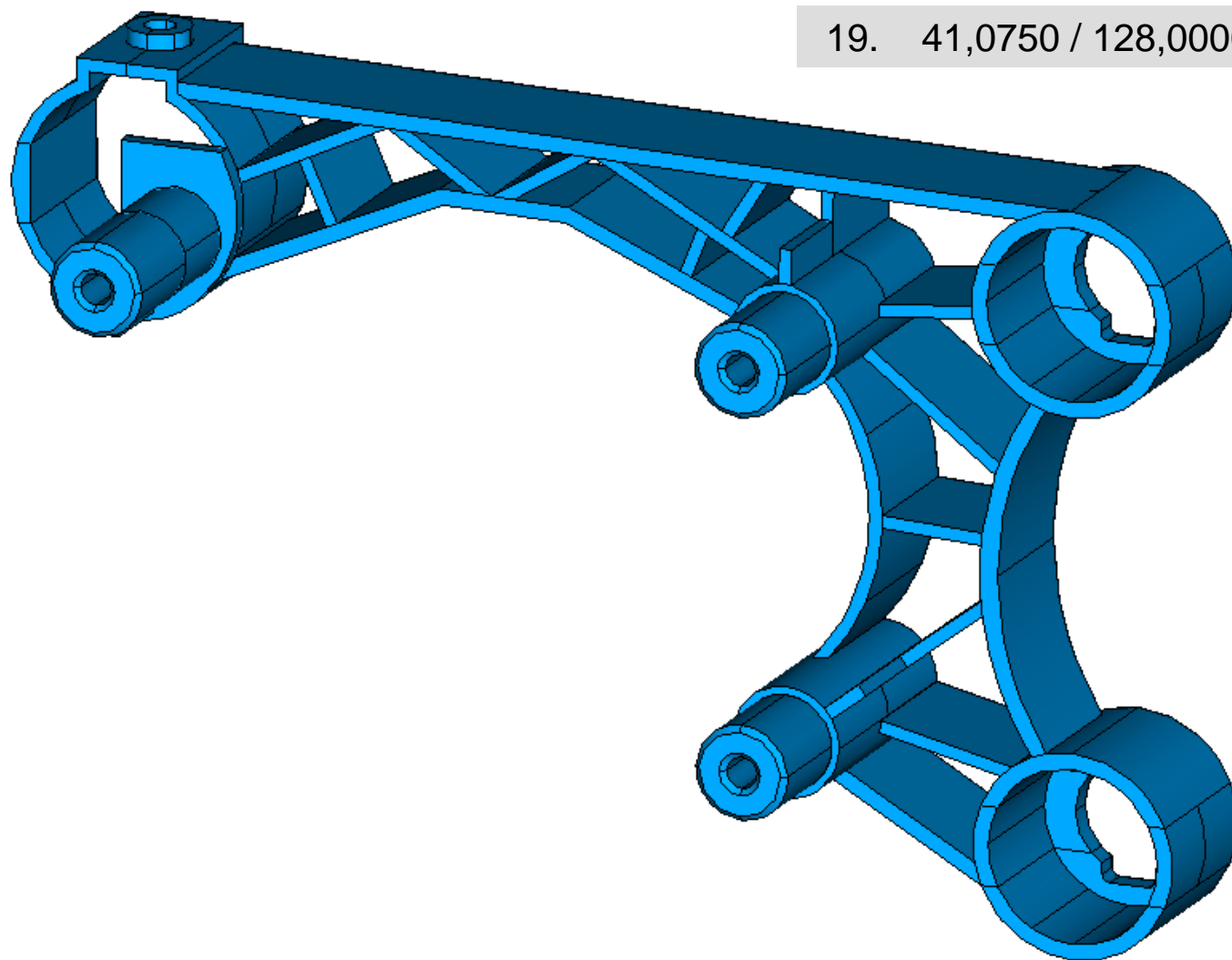


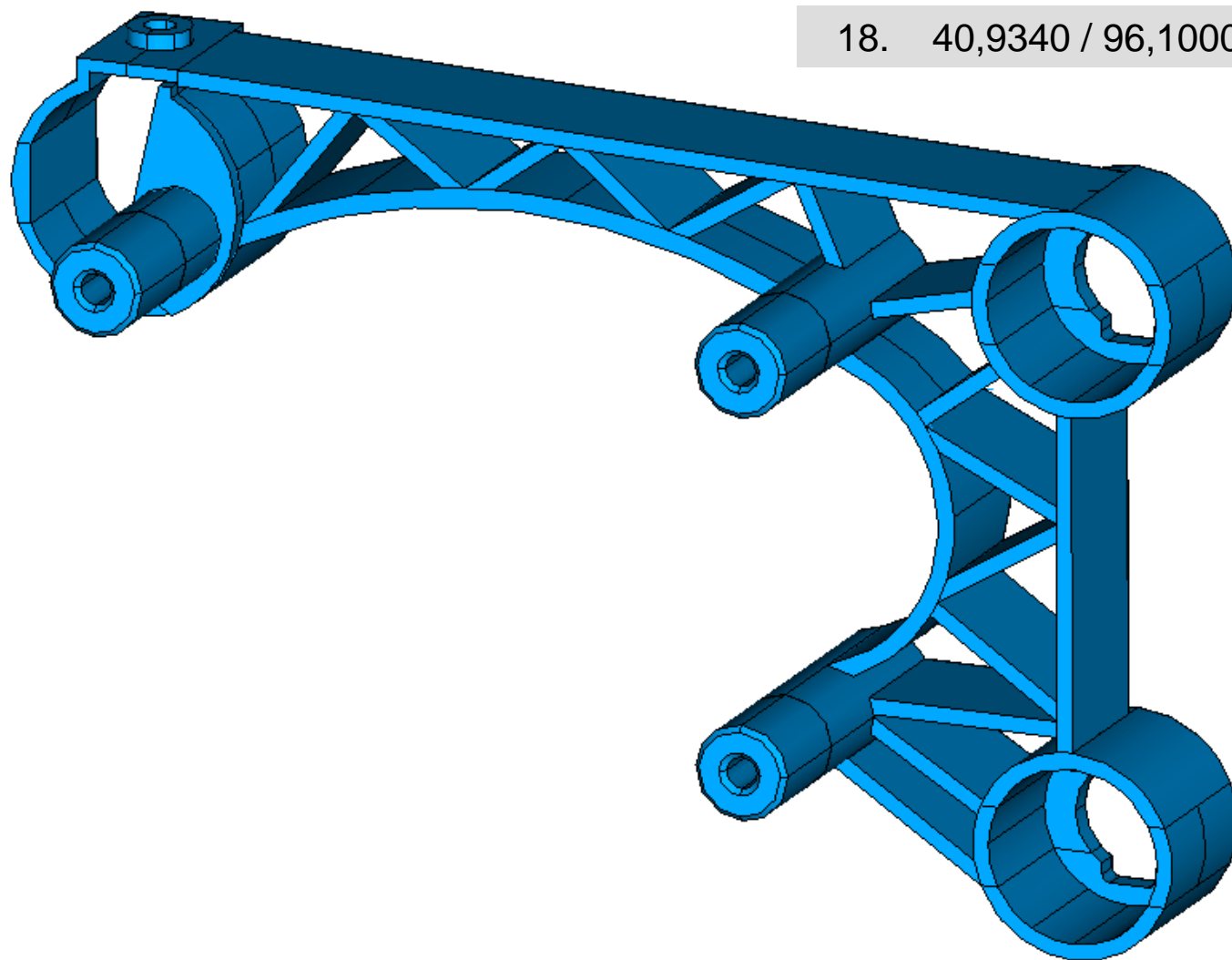


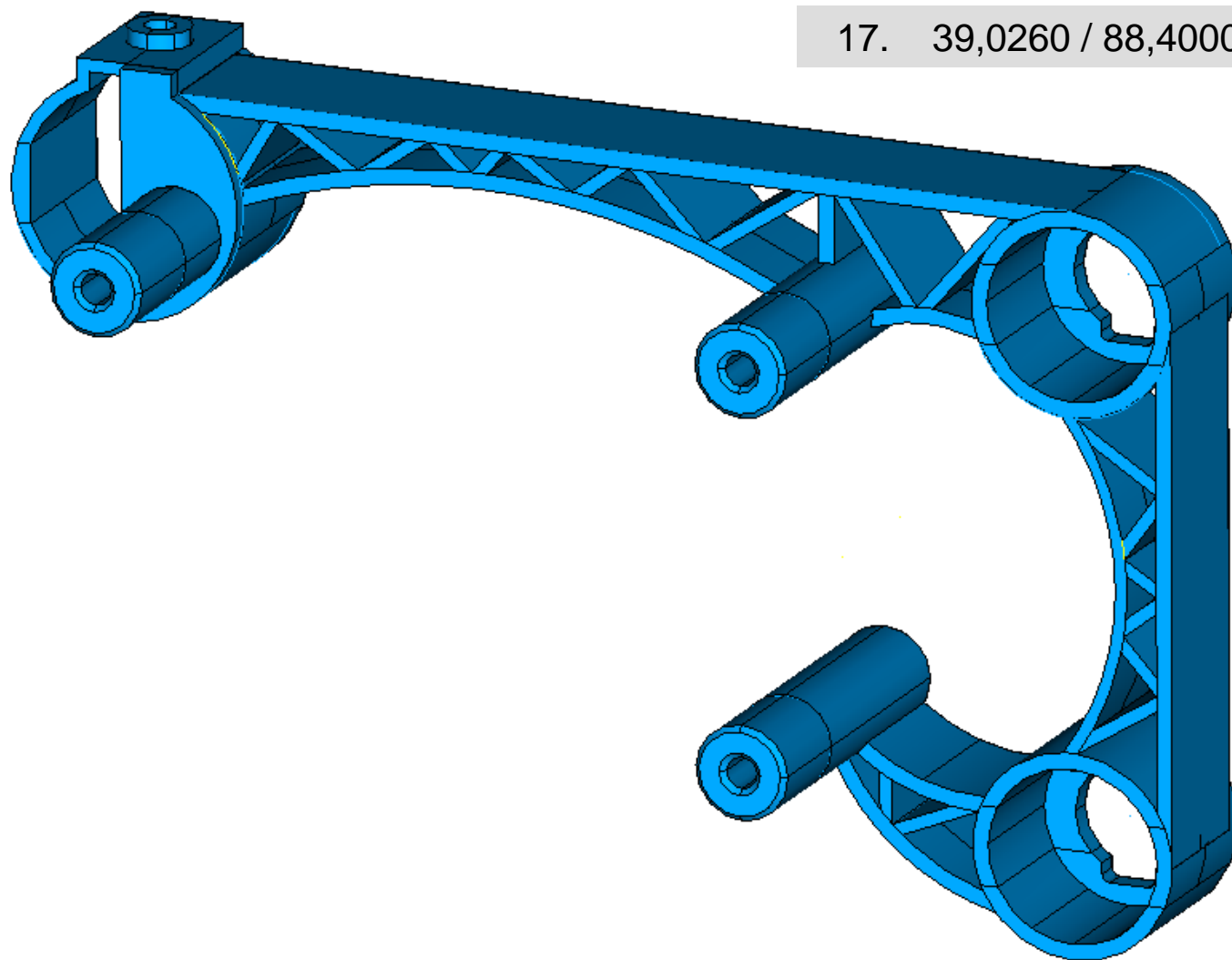


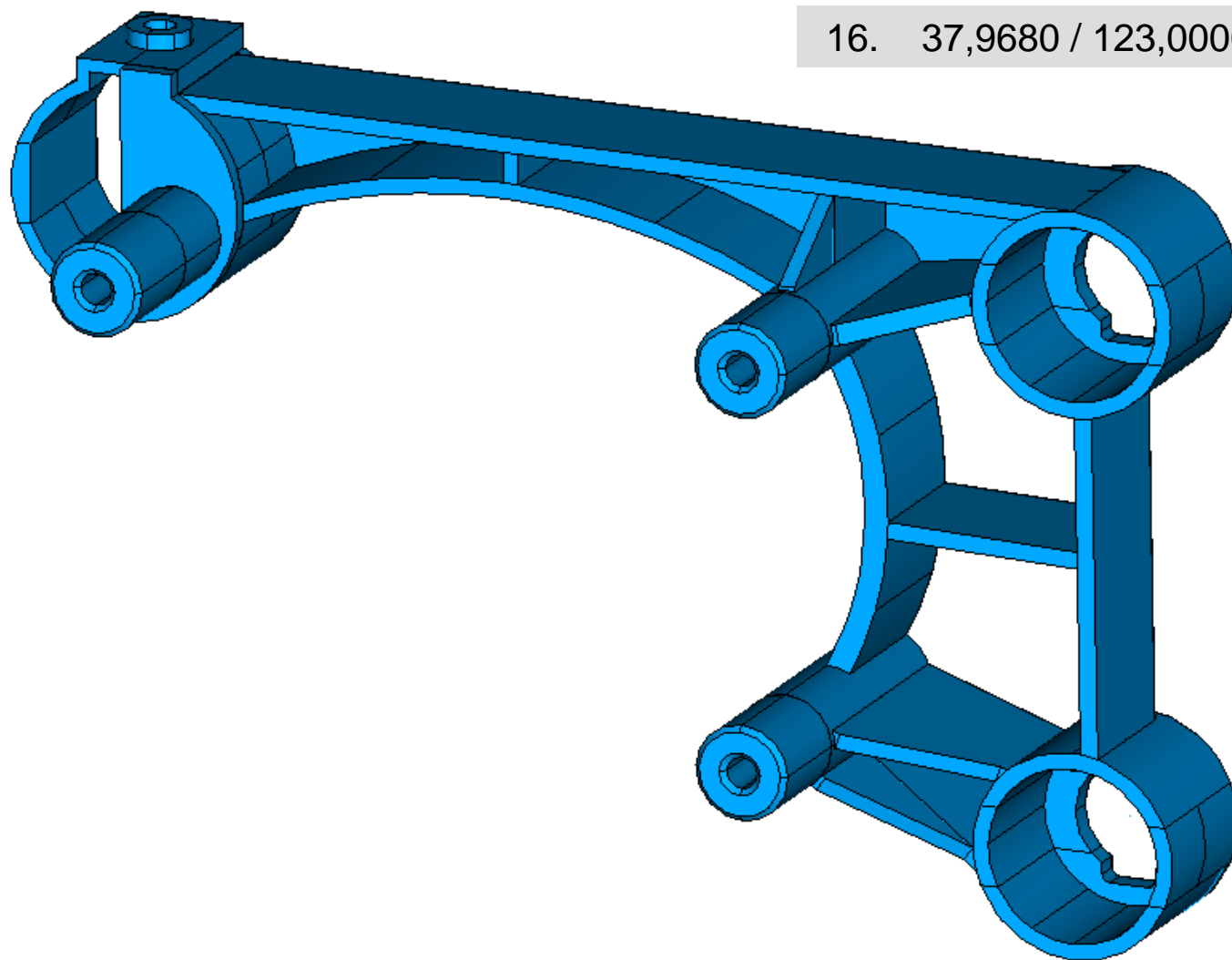


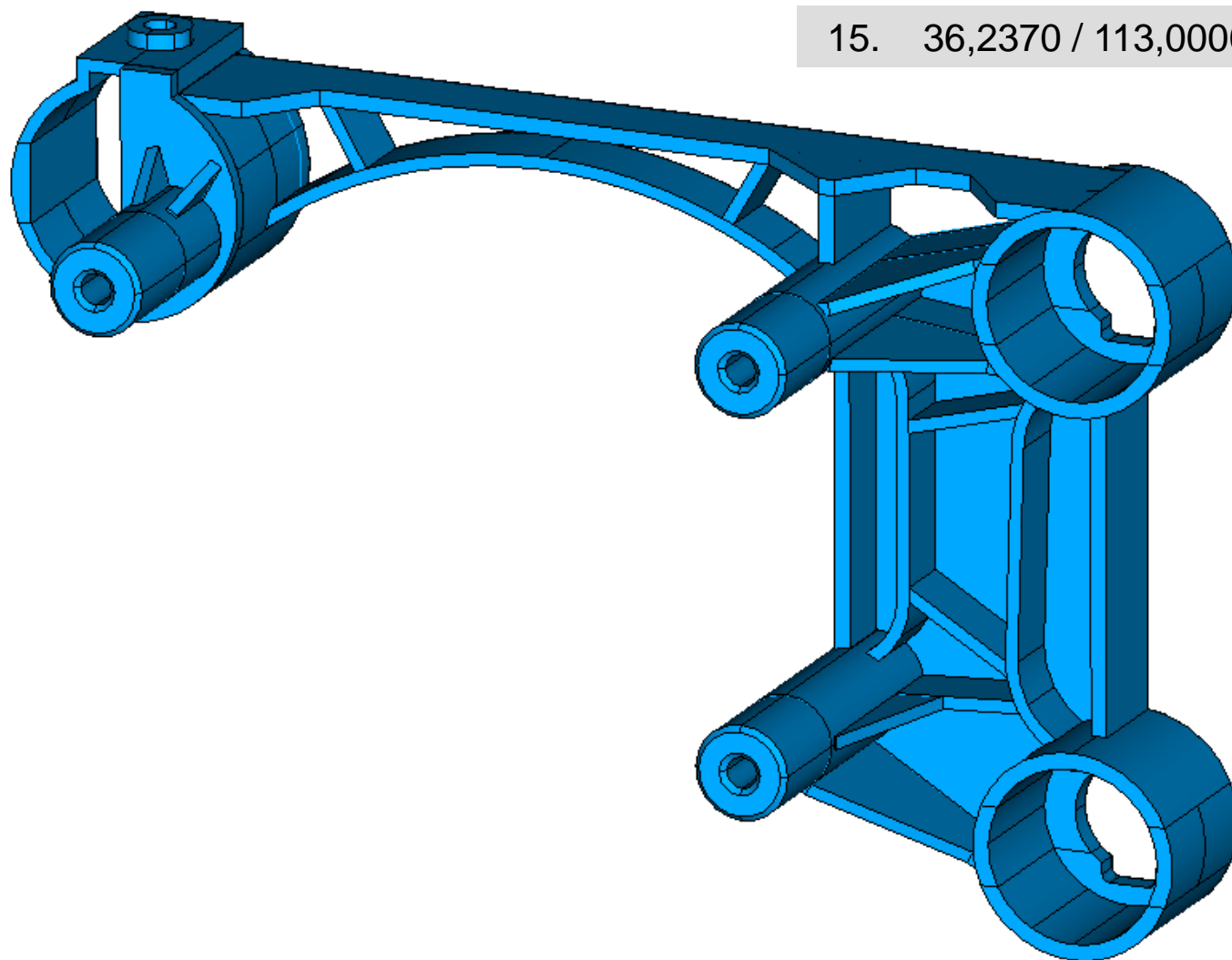




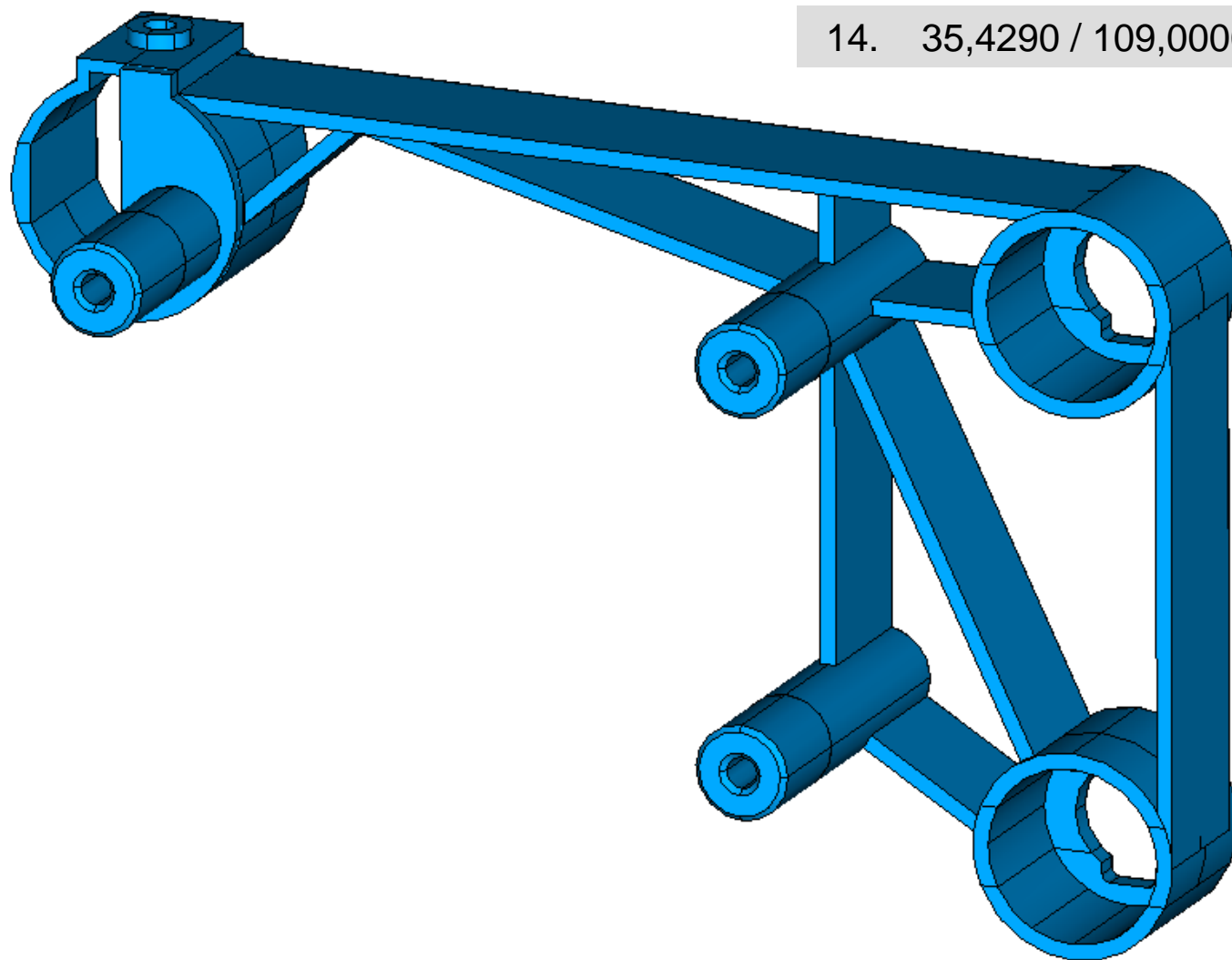


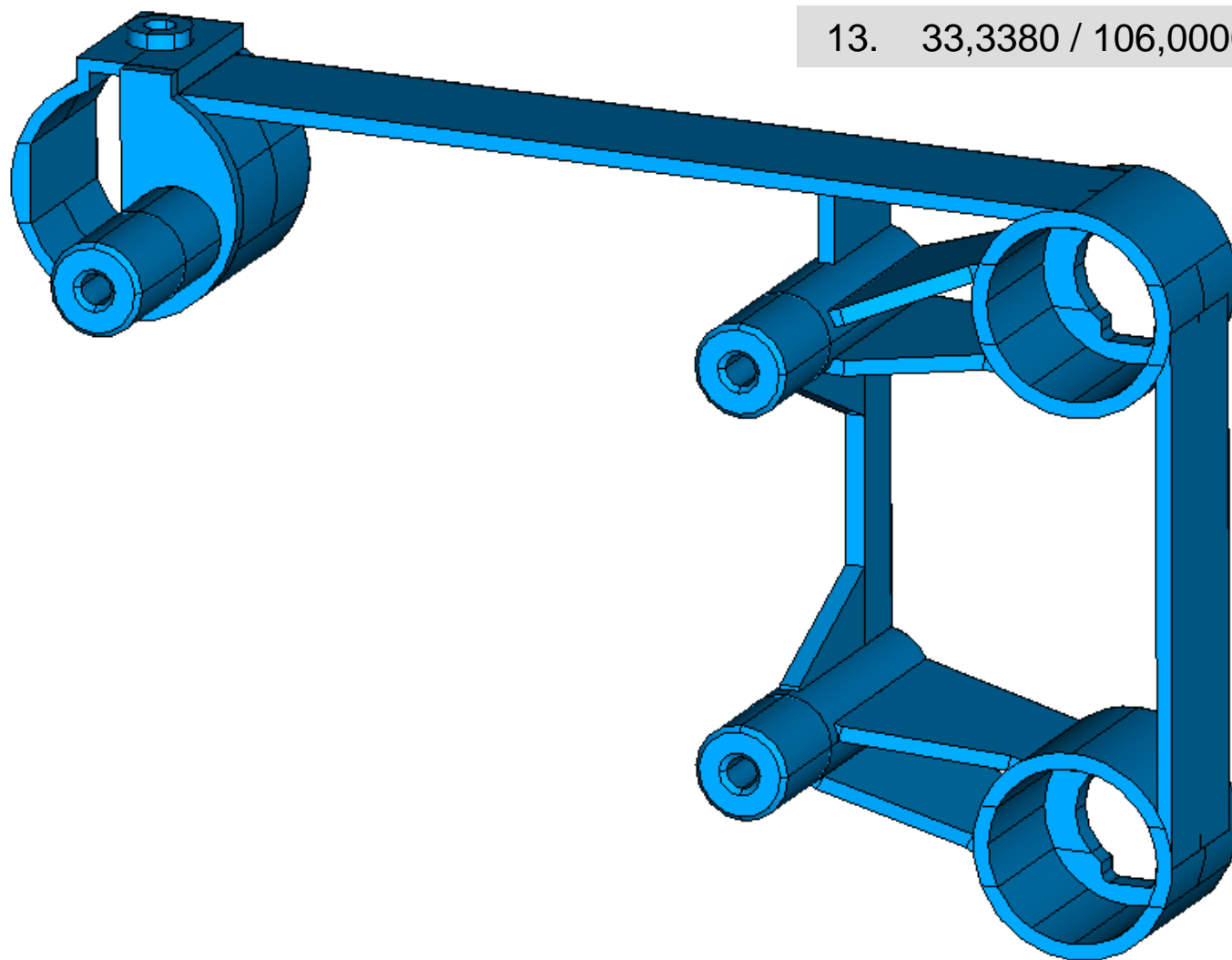


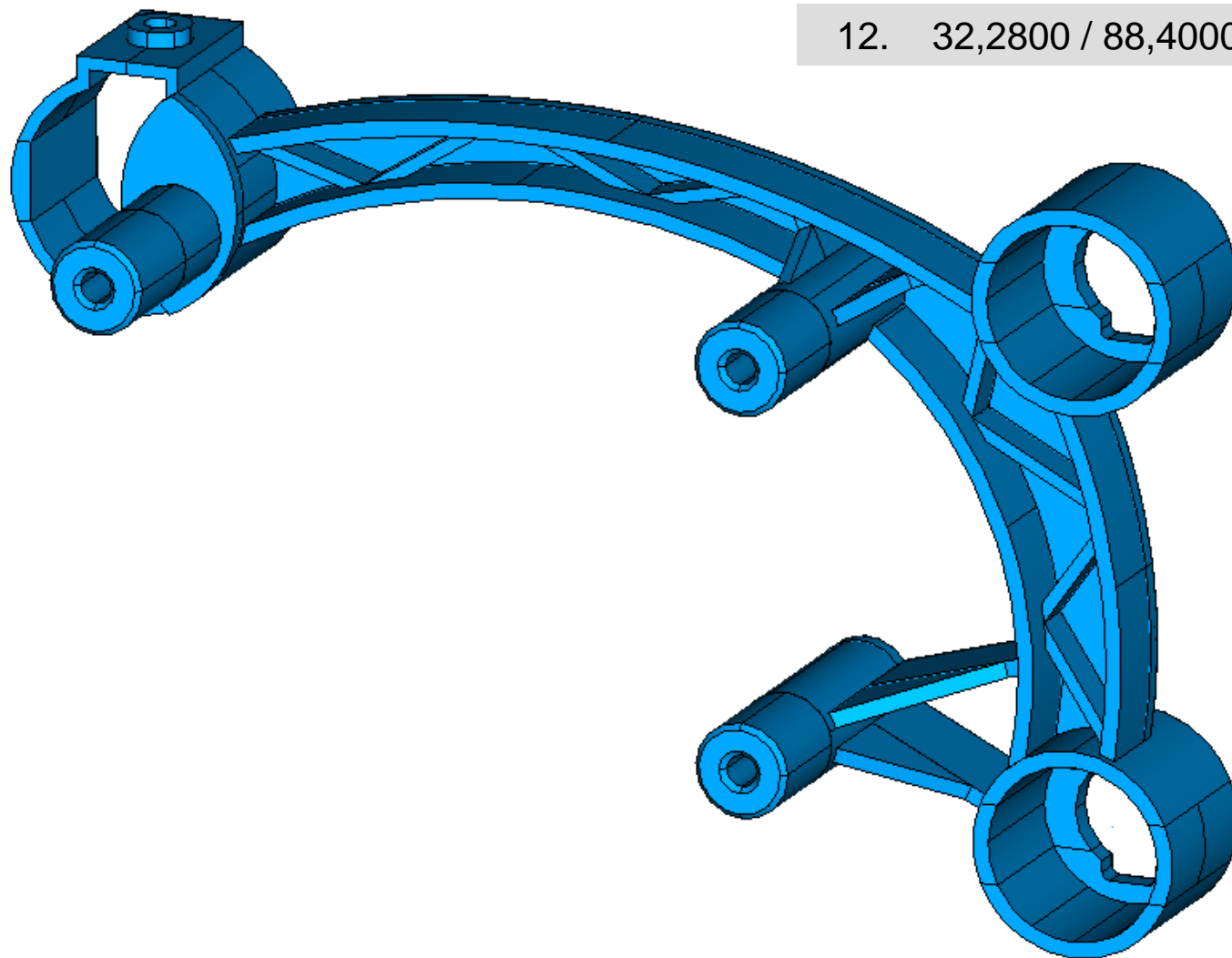


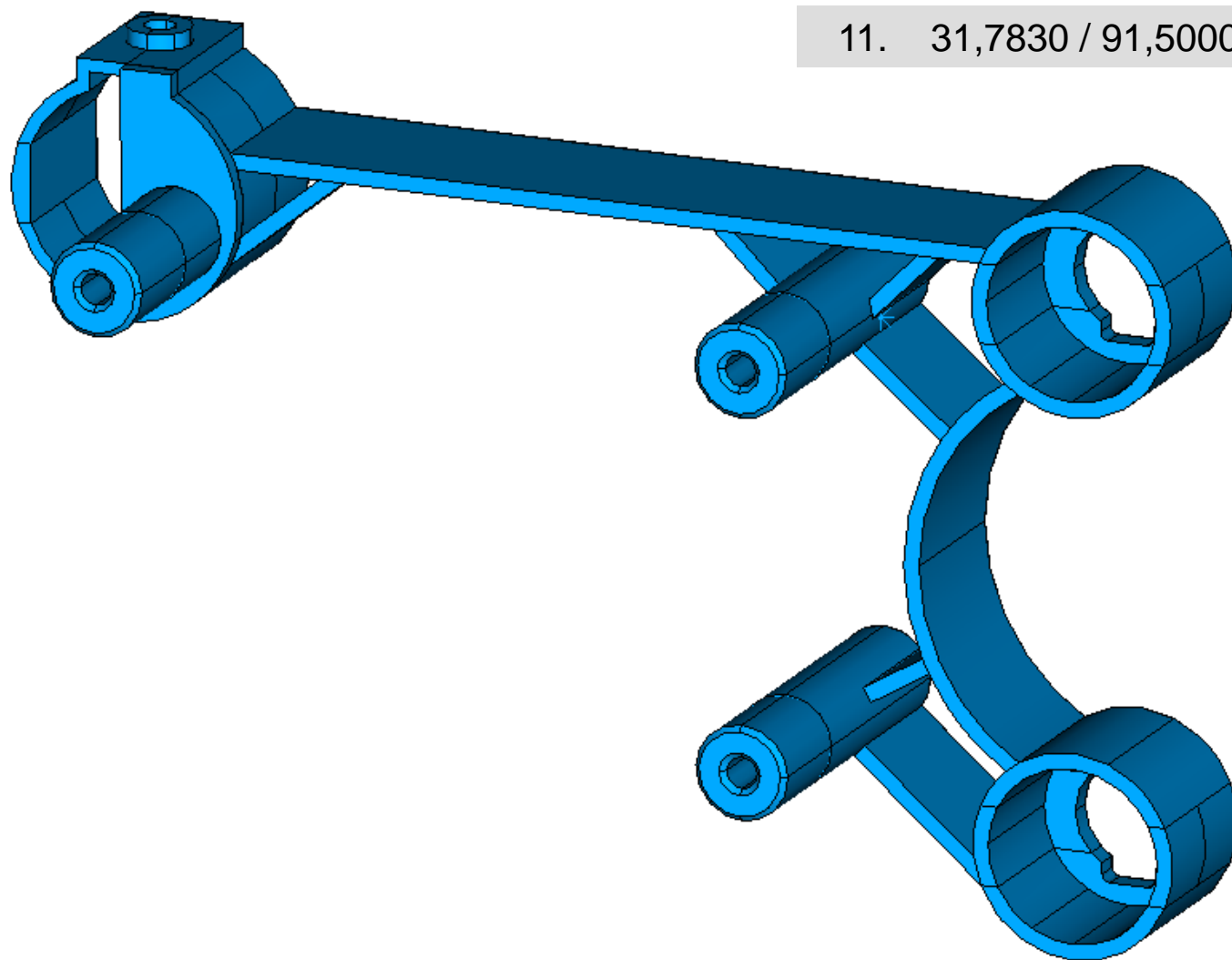


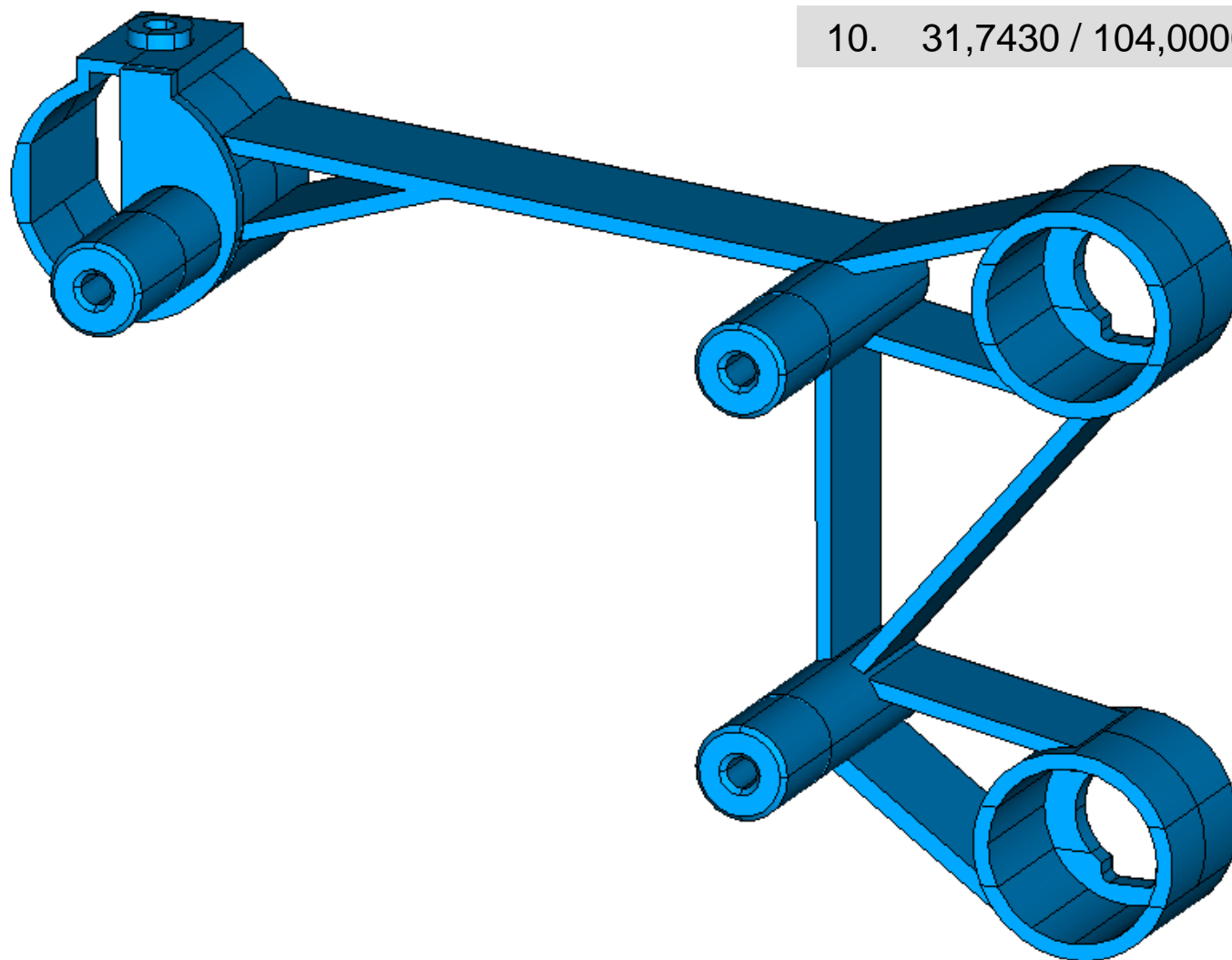
14. 35,4290 / 109,0000



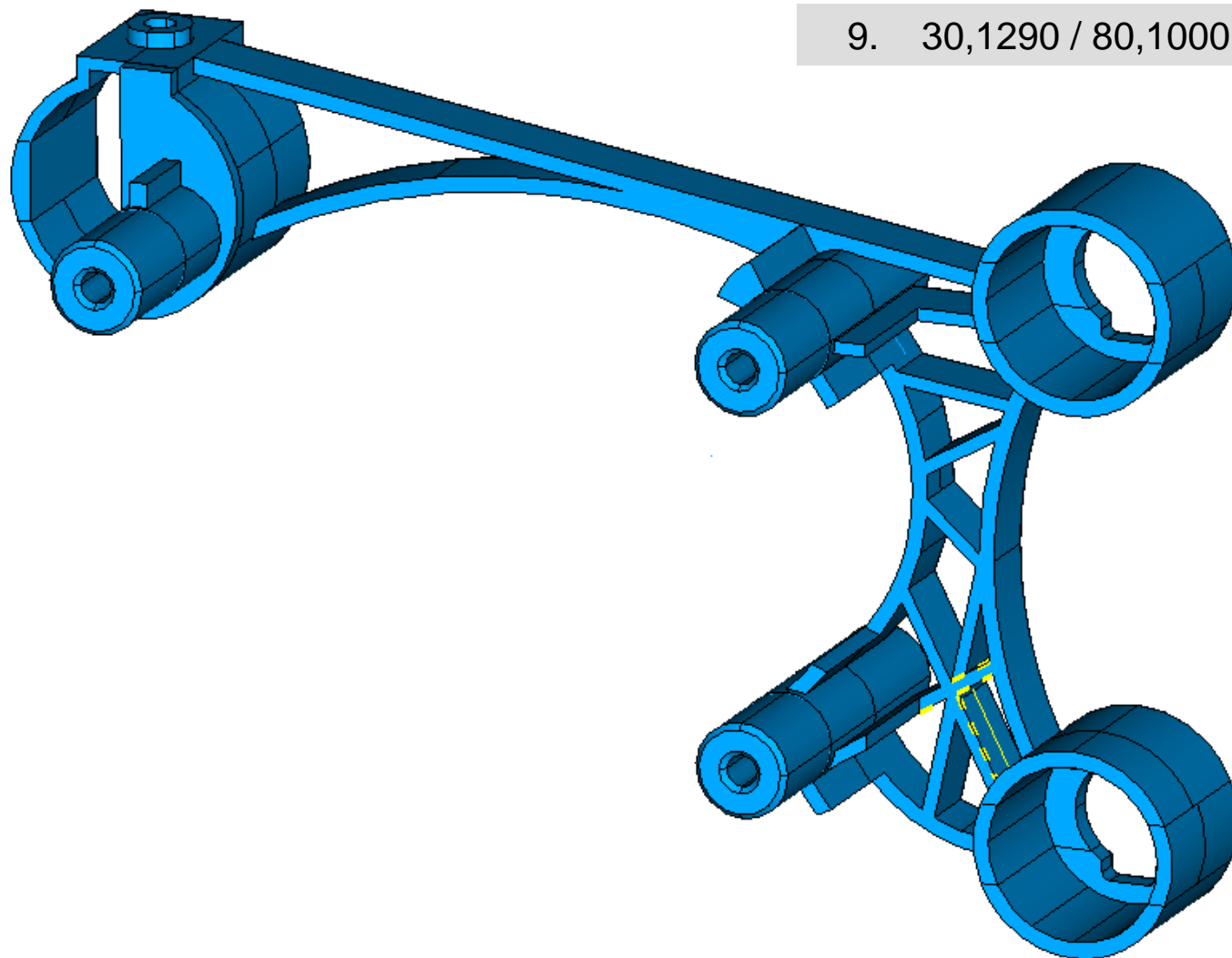




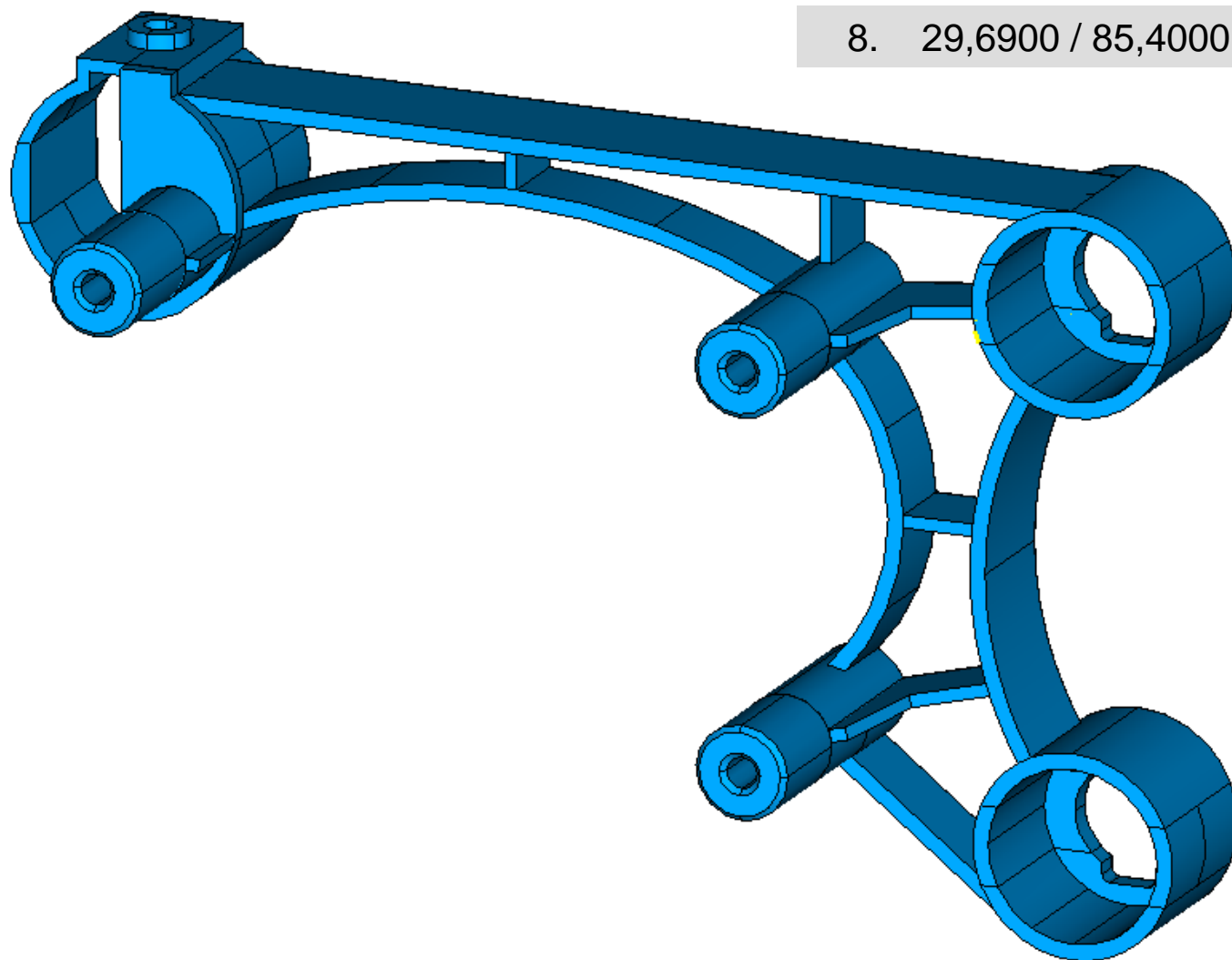


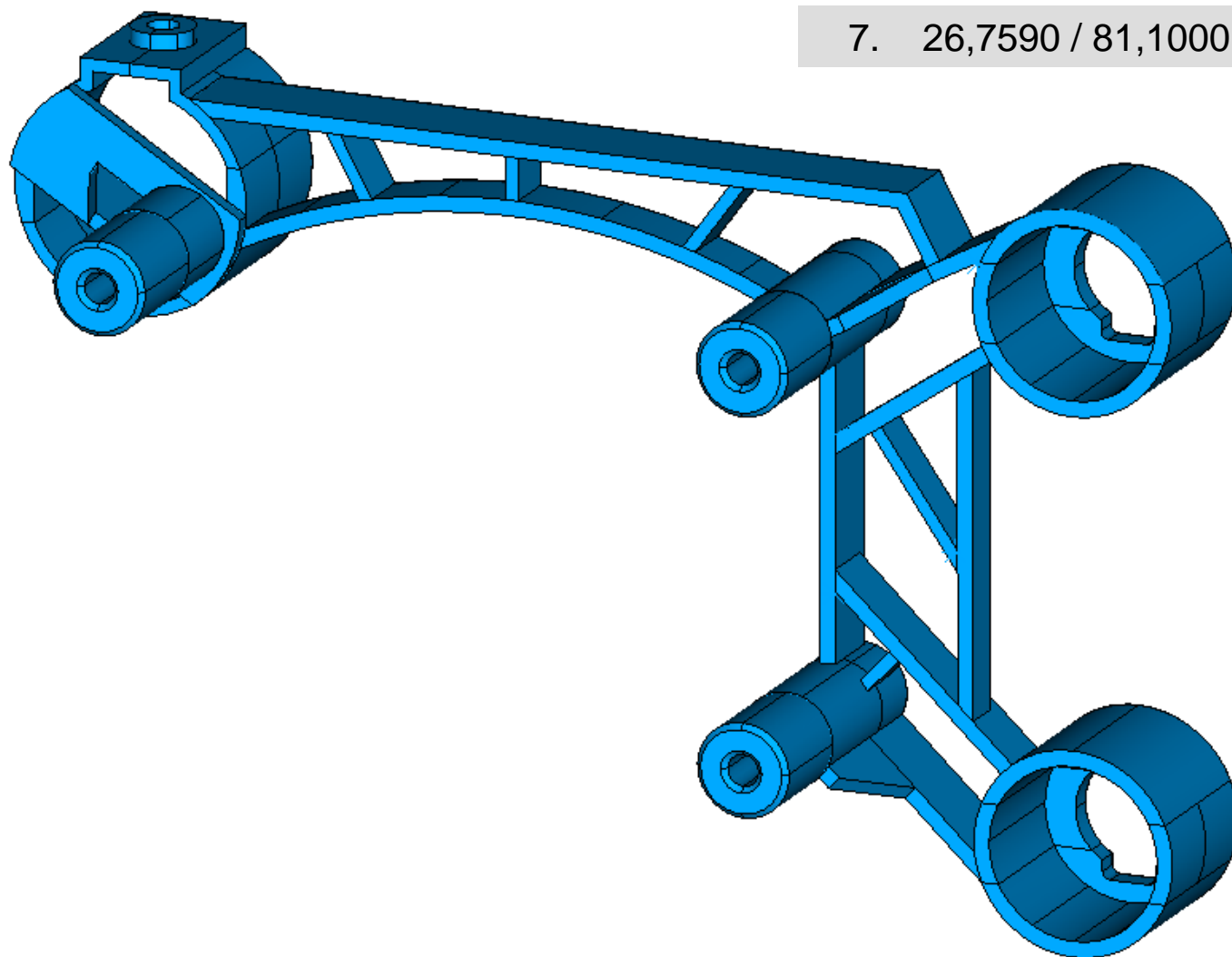


9. 30,1290 / 80,1000

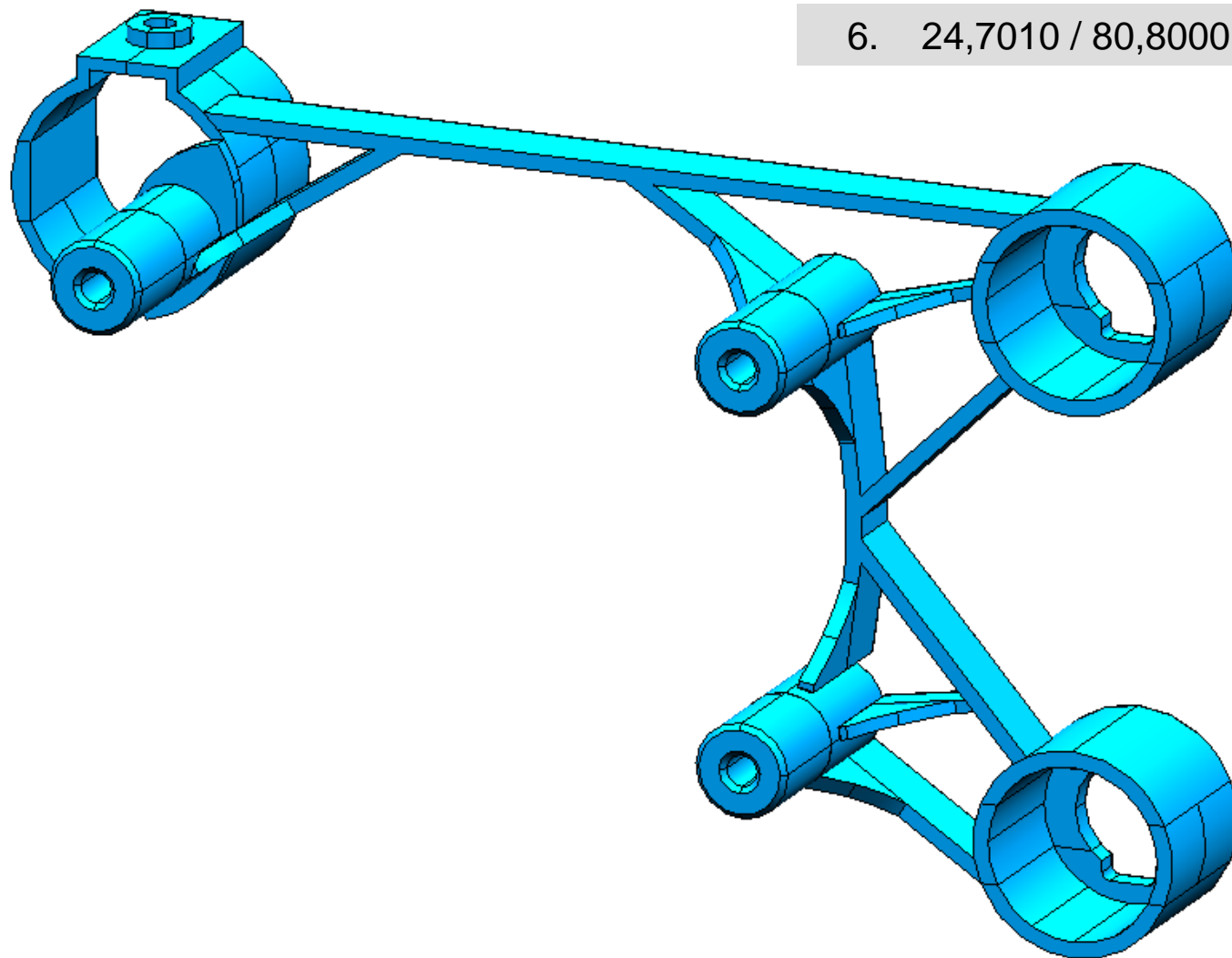


8. 29,6900 / 85,4000

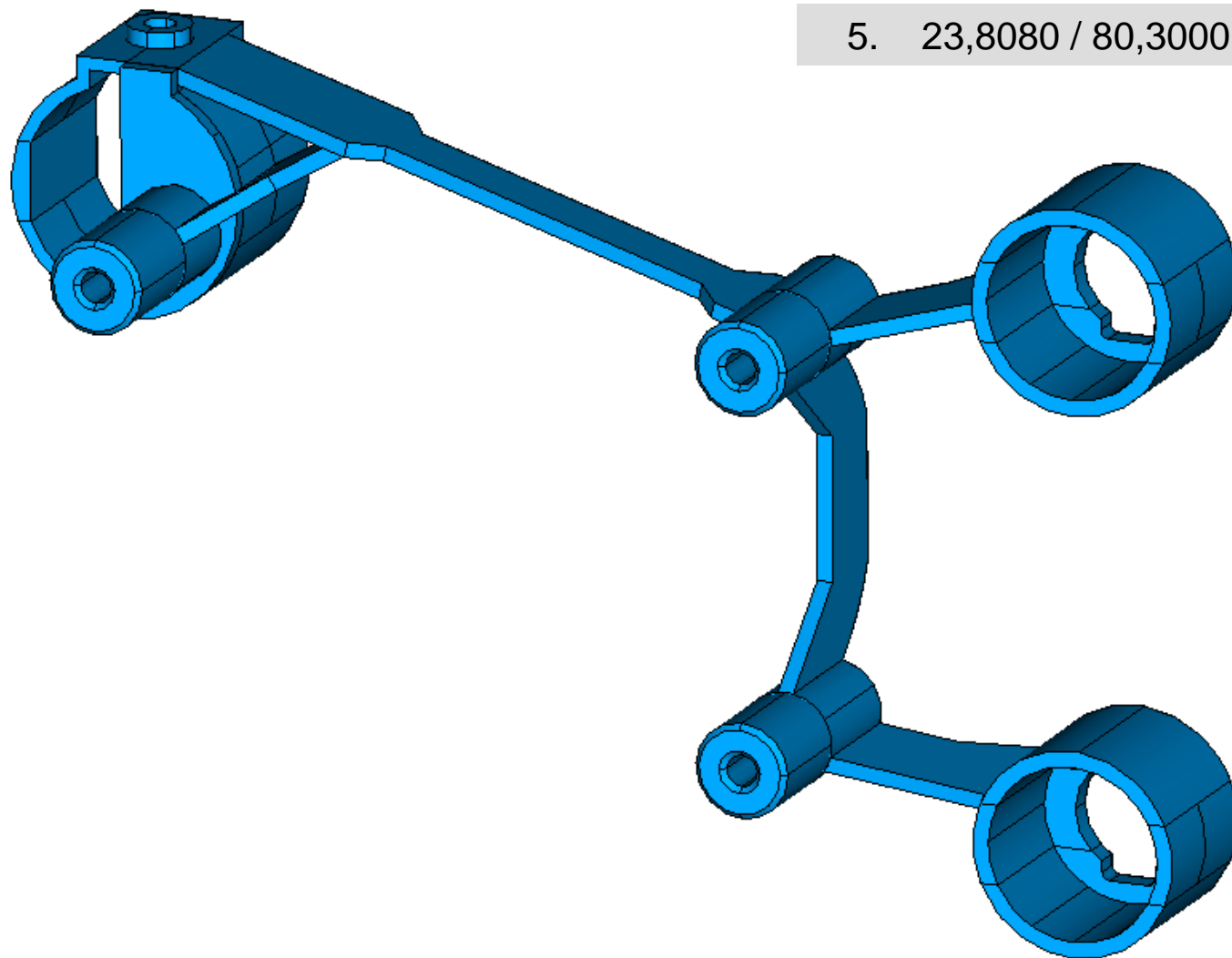




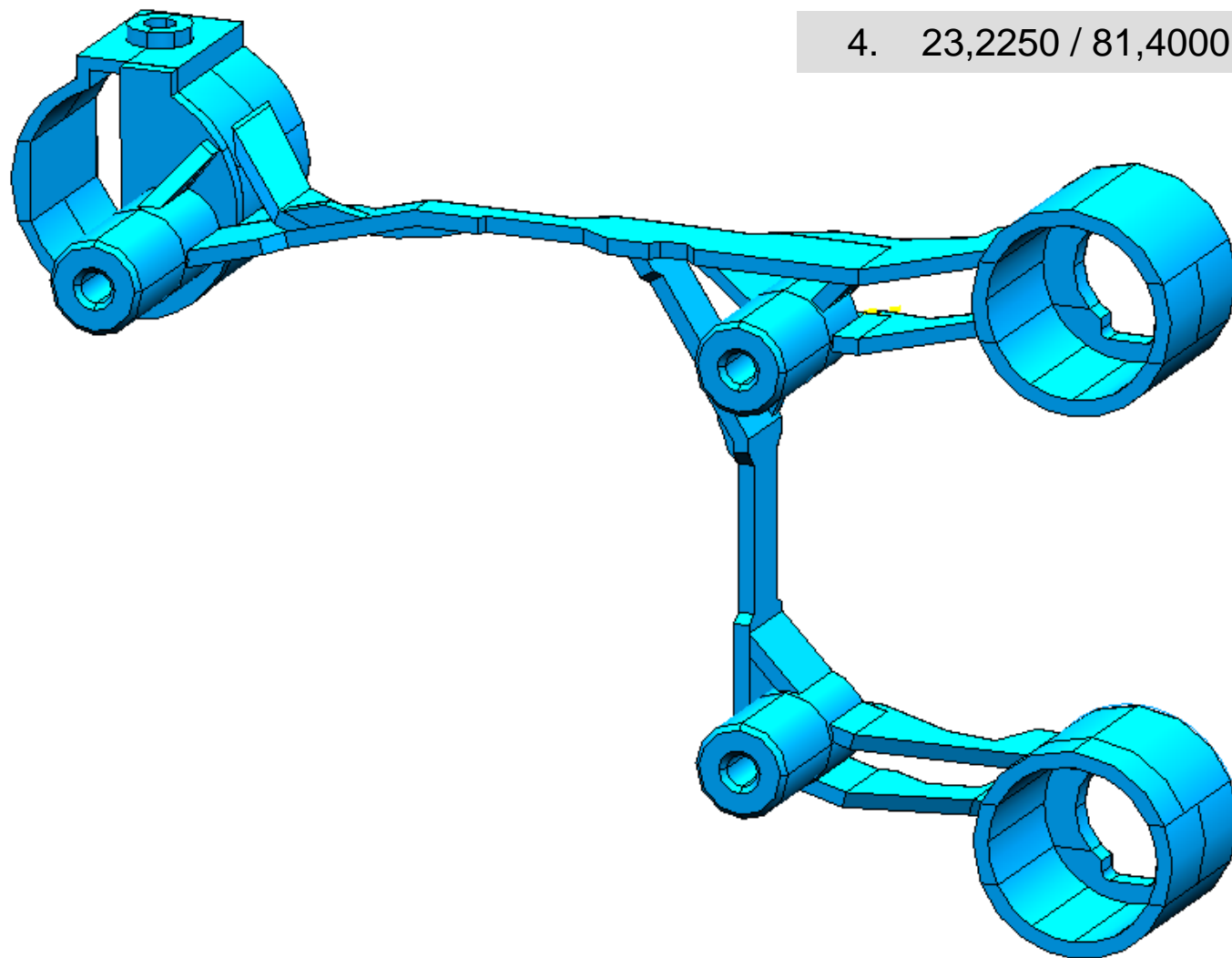
6. 24,7010 / 80,8000



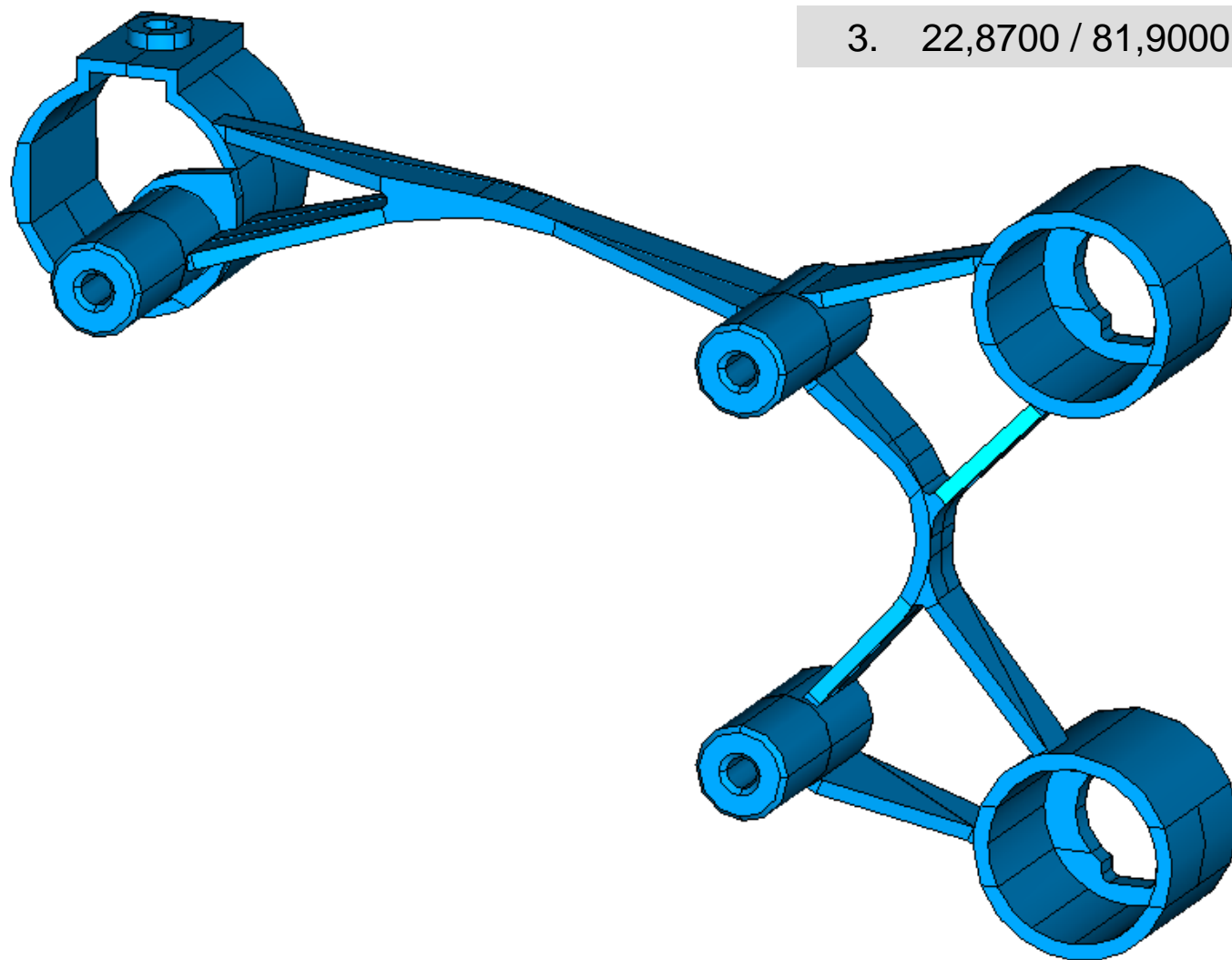
5. 23,8080 / 80,3000



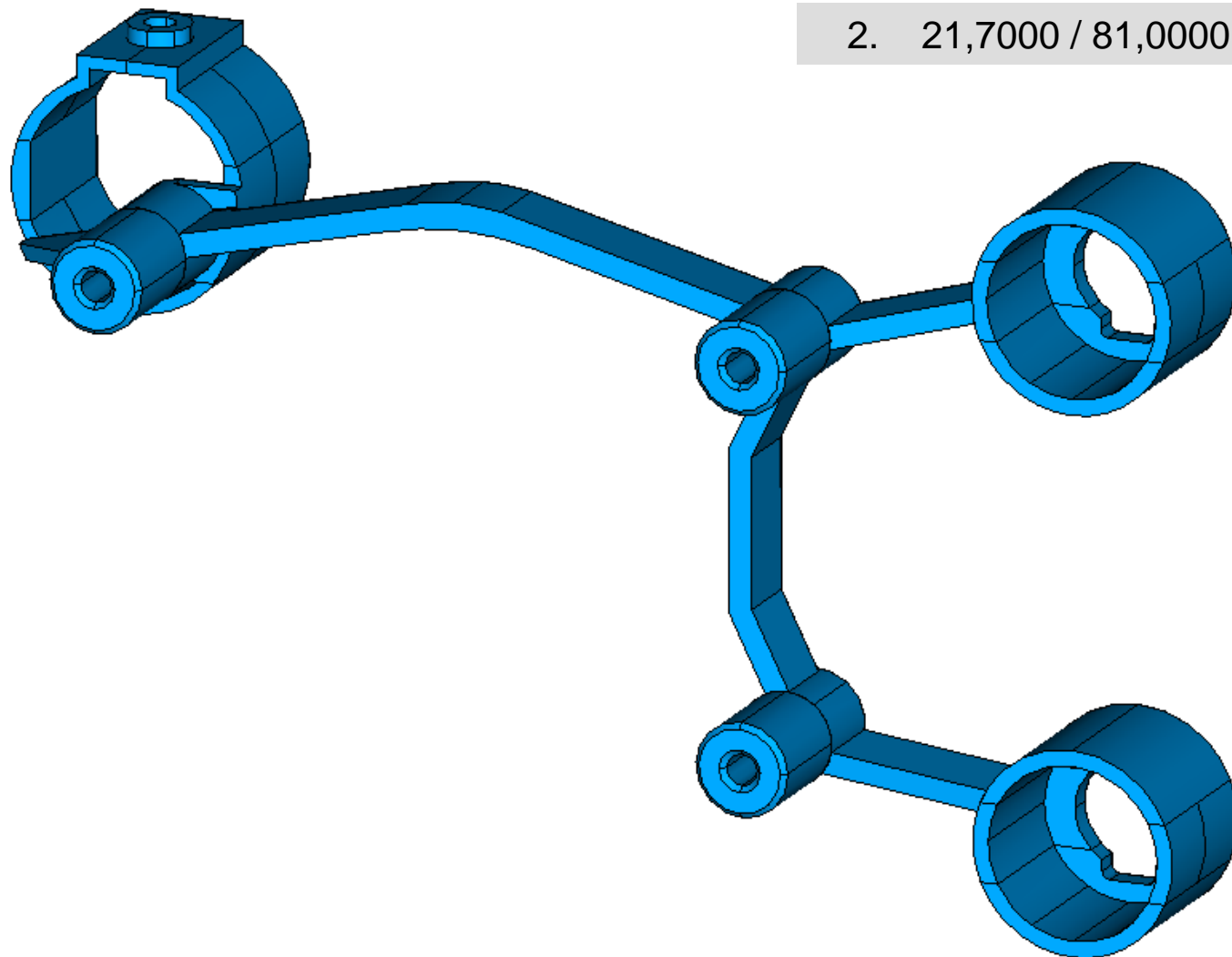
4. 23,2250 / 81,4000



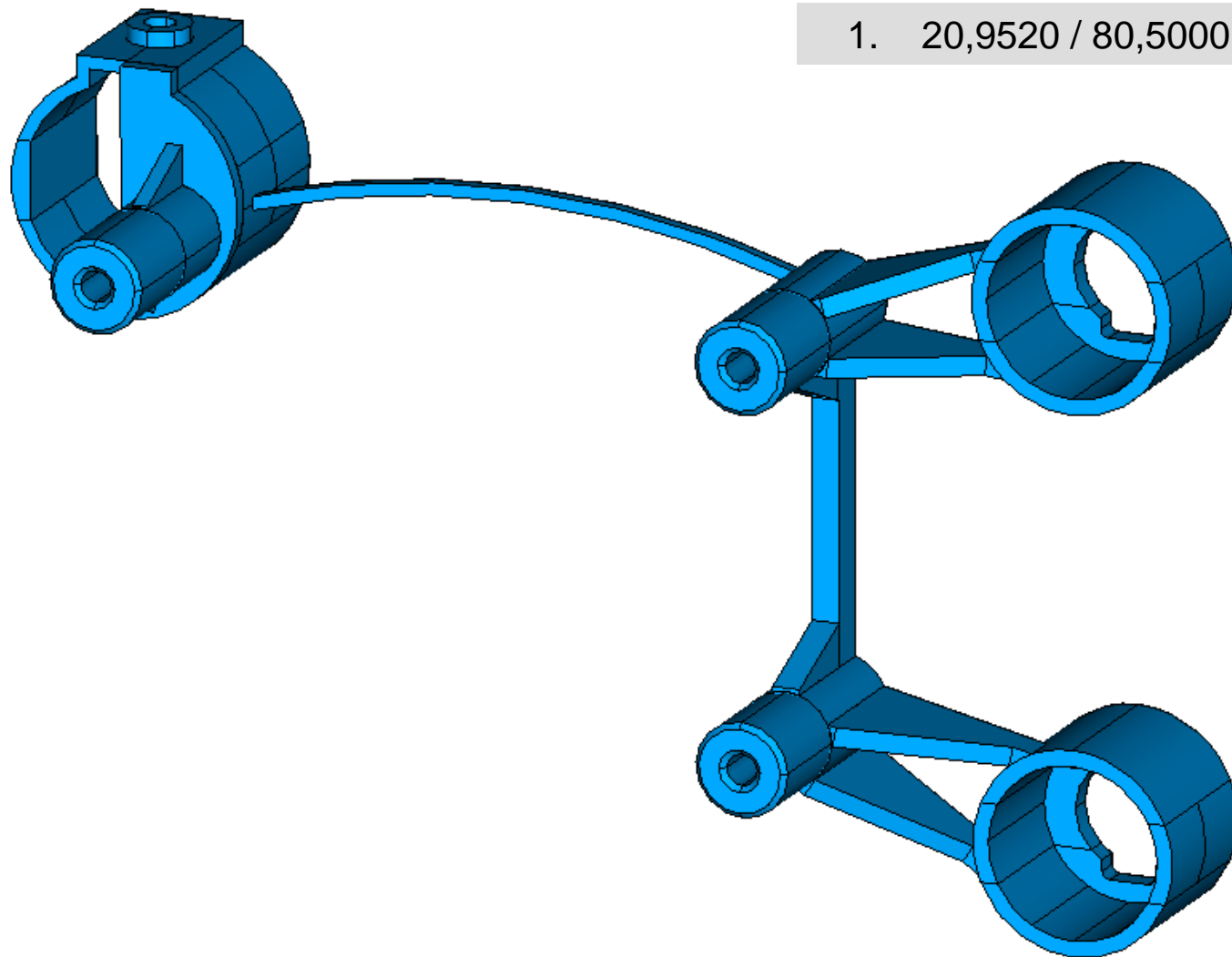
3. 22,8700 / 81,9000

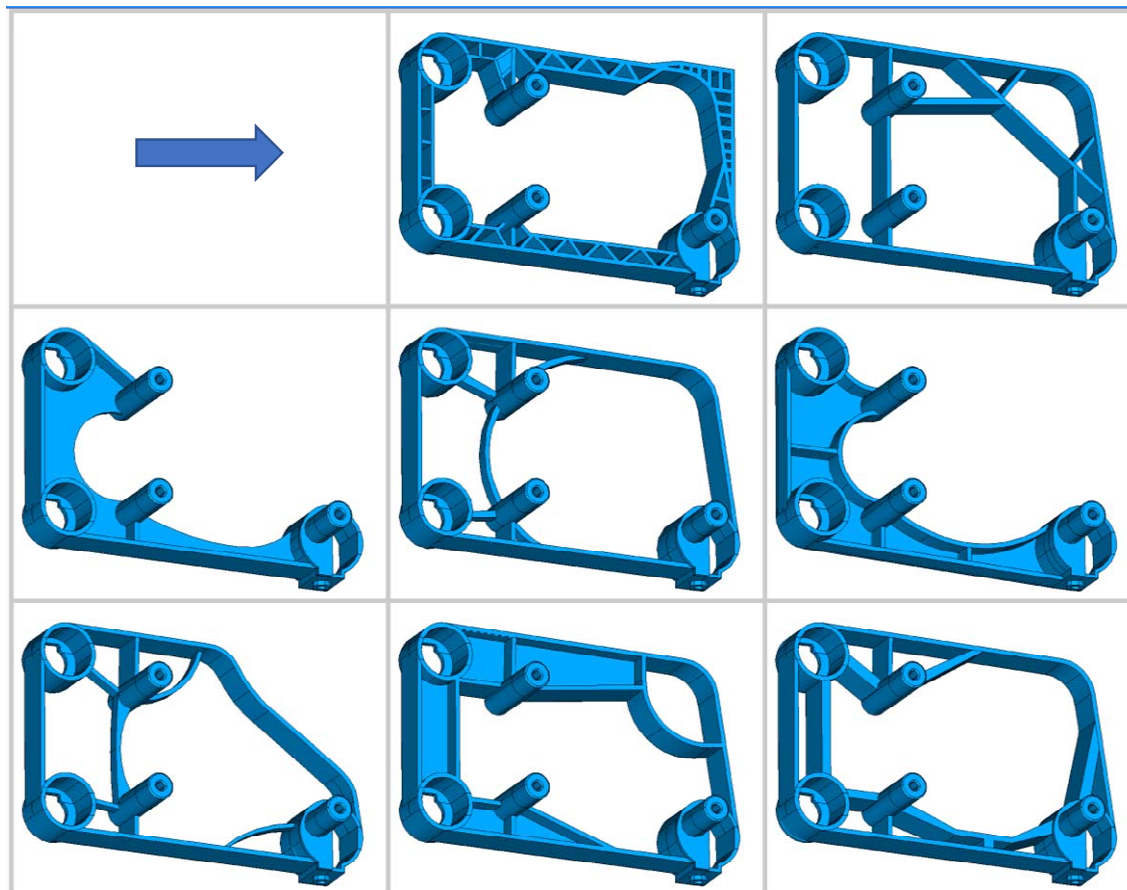


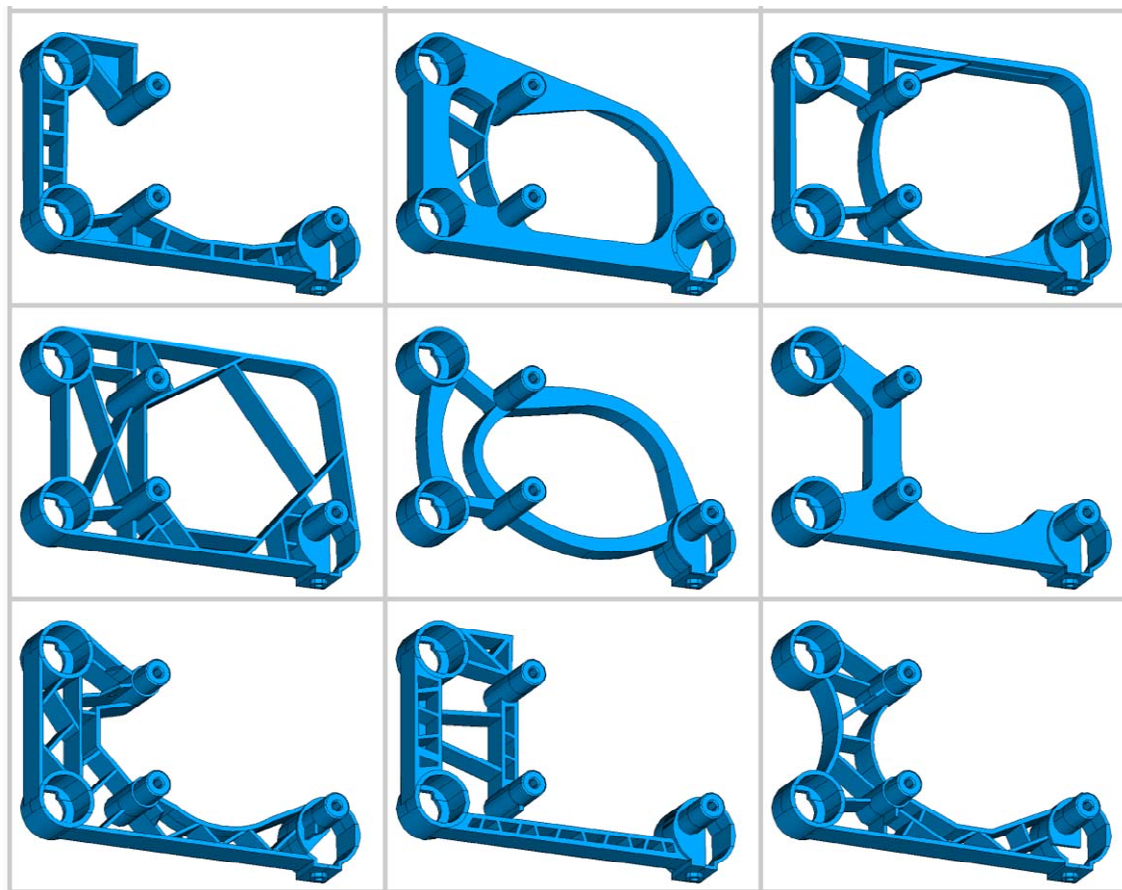
2. 21,7000 / 81,0000

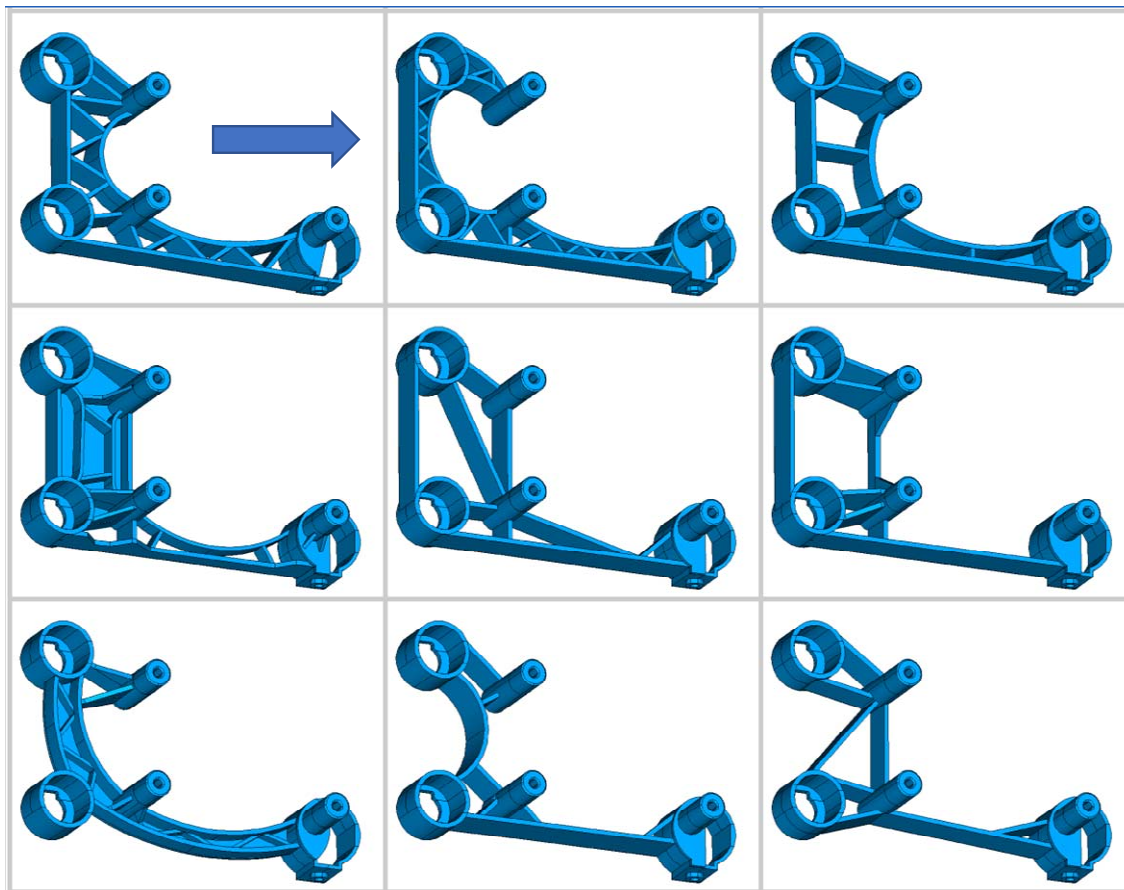


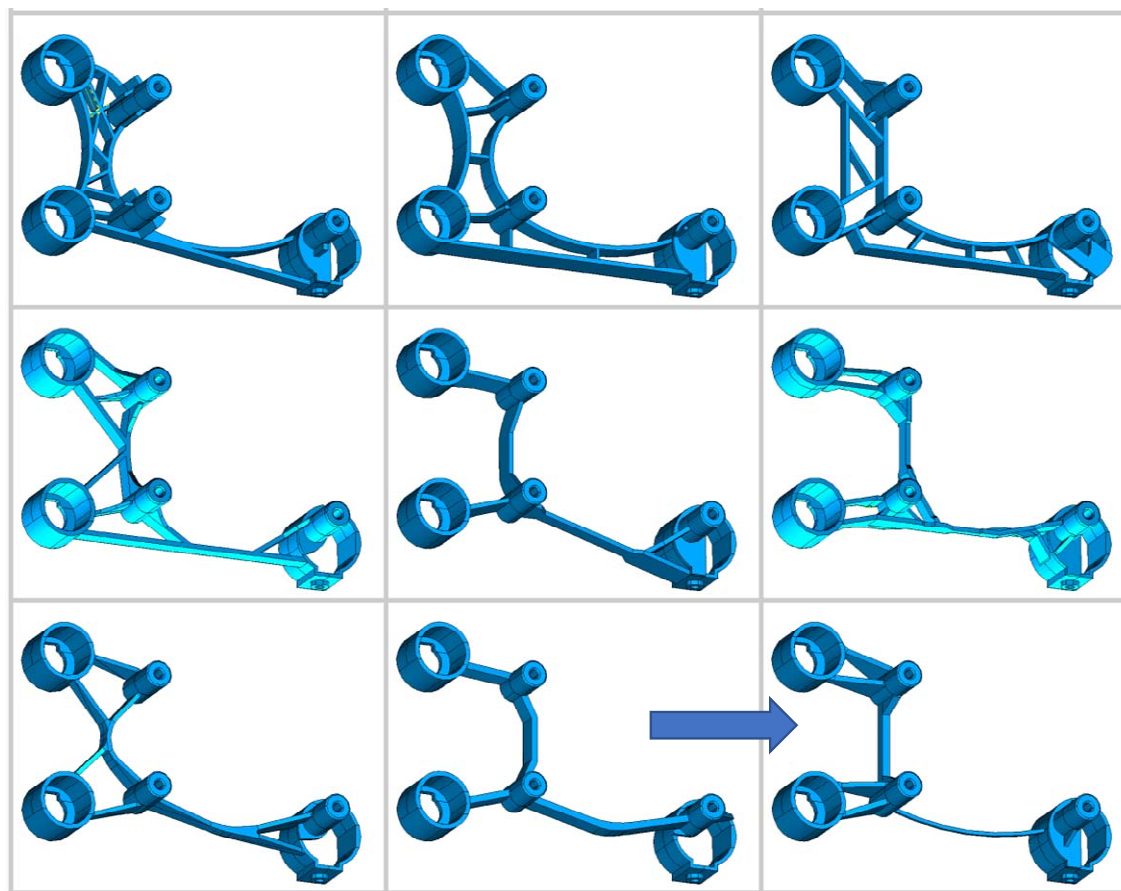
1. 20,9520 / 80,5000











Děkuji za pozornost

Ing. Jan Blata, Ph.D.

+420 605 317 606

+420 597 324 580

jan.blata@vsb.cz

www.vsb.cz