



**Kauno technologijos universitetas**  
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

**Štampuotų ir suvirintų nerūdijančiojo plieno gaminių  
kokybinių parametrų tyrimas**

Baigiamasis magistro projektas

---

**Sigitas Mikalajūnas**  
Projekto autorius

**Doc. Dr. Marius Rimašauskas**  
Vadovas

---

**Kaunas, 2019**



**Kauno technologijos universitetas**  
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

**Štampuotų ir suvirintų nerūdijančiojo plieno gaminių  
kokybinių parametrų tyrimas**

Baigiamasis magistro projektas  
Gamybos inžinerija (6211EX015)

---

**Sigitas Mikalajūnas**  
Projekto autorius

**Doc. Dr. Marius Rimašauskas**  
Vadovas

**Dr. Darius Eidukynas**  
Recenzentas

---

**Kaunas, 2019**



**Kauno technologijos universitetas**  
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas  
Sigitas Mikalajūnas

## **Štampuotų ir suvirintų nerūdijančiojo plieno gaminių kokybinių parametrų tyrimas**

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Sigito Mikalajūno, baigiamasis projektas tema „Štampuotų ir suvirintų nerūdijančiojo plieno gaminių kokybinių parametrų tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

---

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

---

(parašas)

# Kauno technologijos universitetas

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Studijų programa Gamybos inžinerija (6211EX015)

## Magistrantūros studijų baigiamojo projekto užduotis

Studentui Sigitui Mikalajūnui

1. Baigiamojo projekto tema:

Štampuotų ir suvirintų nerūdijančiojo plieno gaminių kokybinių parametrų tyrimas  
Investigation of Quality Parameters of Stamped and Welded Stainless Steel Products

Patvirtinta 2018 m. lapkričio 29 d. dekanų potvarkiu Nr. V25-11-14

2. Projekto tikslas ir uždaviniai:

Projekto tikslas: atlikti pagrindinių kokybinių parametrų tyrimą automobilių pramonei skirtoms detalėms. Uždaviniai, išskirti tikslui pasiekti: atlikti koordinatinius 3D gaminių matavimus; atlikti privirintų M8 veržlių nuplėšimo ir nusukimo bandymus; atlikti dviejų suvirintų detalių nuplėšimo bandymus; atlikti skaitinę privirintų veržlių nuplėšimo simuliaciją.

3. Pradiniai projekto duomenys:

Gamintojo pateikti kokybiniai reikalavimai ir brėžinyje nurodyti matmenys bei jų tikslumas.

4. Pagrindiniai reikalavimai ir sąlygos:

Atlikti suvirintų detalių kokybinių parametrų tyrimą, vadovaujantis brėžinio keliamais reikalavimais.

5. Projekto aprašomosios dalies struktūra:

Literatūros analizė, tyrimų metodologija, rezultatų analizė, išvados, literatūros sąrašas, priedai.

6. Grafinės projekto dalies sudėtis:

Nėra.

7. Projekto konsultantai:

Nėra.

Studentas

Sigitas Mikalajūnas

*(vardas, pavardė, parašas, data)*

Projekto vadovas

Doc. Dr. Marius Rimašauskas

*(vardas, pavardė, parašas, data)*

Krypties studijų programos vadovas

Doc. Dr. Regita Bendikienė

*(vardas, pavardė, parašas, data)*

## Turinys

<b>Įvadas</b> .....	<b>10</b>
<b>1. Literatūros analizė</b> .....	<b>12</b>
1.1. Kontaktinis reljefinis suvirinimas .....	12
1.2. Šaltasis lakštinis šampavimas .....	15
1.3. Kokybės analizė .....	17
1.4. Literatūros analizės apibendrinimas.....	19
<b>2. Tyrimų metodologija</b> .....	<b>20</b>
2.1. Koordinatinė 3D matavimo mašina DEA Global .....	20
2.2. Kontaktinio suvirinimo automatas DALEX PMS 36-5 .....	22
2.3. Bandymo mašina P5.....	23
2.4. Gaminio analizė .....	24
2.4.1. Gaminio medžiagos specifikacija .....	24
2.4.2. Gaminio paskirties analizė.....	25
2.4.3. Gaminio brėžinio keliami reikalavimai .....	26
2.4.4. Detalių virinimui skirti reikalavimai.....	26
2.4.5. Virinimo iškyšoms skirti reikalavimai.....	26
2.4.6. Gaminio gamybos ir kokybinių parametų tyrimas .....	27
2.5. Gaminio geometrinių matmenų tikrinimo įranga.....	28
2.6. Suvirinimo problemų analizė .....	29
<b>3. Rezultatų analizė</b> .....	<b>32</b>
3.1. Veržlių nusukimo bandymas.....	32
3.2. Veržlių nuplėšimo bandymas.....	33
3.3. Detalių nuplėšimo bandymas .....	35
3.4. Gaminio matmenų patikrinimas .....	36
3.5. Gaminio geometrinės formos analizė.....	40
3.6. Skaitinis modeliavimas .....	41
<b>Išvados</b> .....	<b>45</b>
<b>Literatūros sąrašas</b> .....	<b>46</b>
<b>Priedai</b> .....	<b>48</b>

## Paveikslų sąrašas

1.1 pav. Kontaktinio reljefinio suvirinimo schema [9].....	13
1.2 pav. Vienos pozicijos sutapdinto veikimo šampo eskizas.....	16
2.1 pav. Koordinatinė matavimo mašina .....	21
2.2 pav. Kontaktinio suvirinimo automatas DALEX PMS 36-5.....	22
2.3 pav. Bandyimo įranga.....	23
2.4 pav. Gaminio panaudojimas .....	25
2.5 pav. Gaminio eskizas.....	25
2.6 pav. Suvirintų detalių nuplėšimo bandymo rezultatai [13] .....	26
2.7 pav. Virinimo iškyšų parametrai [14].....	27
2.8 pav. Detalės su reljefinėmis virinimo iškyšomis eskizas .....	27
2.9 pav. Gaminio formos tikrinimo įranga .....	28
2.10 pav. Gaminio matmenų ir formos tikrinimo įranga.....	28
2.11 pav. Suvirinimo įrangos apatinis elektrodas.....	29
2.12 pav. Detalių suvirinimo įranga .....	30
2.13 pav. Suvirinimo iškyšų išdėstymas detalės paviršiuje.....	30
2.14 pav. Papildomas suvirinamų detalių suspaudimo vaizdas.....	31
2.15 pav. Galutinis detalių suvirinimo įrangos vaizdas.....	31
3.1 pav. Veržlės privirinimo pusrū vaizdas .....	32
3.2 pav. M8 veržlių nusukimo grafikas .....	33
3.3 pav. M8 veržlių nuplėšimo grafikas .....	34
3.4 pav. Veržlių nuplėšimui skirta įranga.....	34
3.5 pav. Gaminį sudarančių detalių nuplėšimo grafikas.....	35
3.6 pav. Gaminį sudarančių detalių nuplėšimas .....	36
3.7 pav. Koordinatinis gaminio matavimas .....	37
3.8 pav. M8 veržlių ir kiaurymių koncentriškumo grafikas .....	38
3.9 pav. Gaminio bazinės plokštumos plokštumo grafikas .....	39
3.10 pav. Matmens 22,5 mm grafikas .....	39
3.11 pav. Matmens 22,5 mm matavimo eskizas.....	40
3.12 pav. Tarpelio tarp suvirintų detalių vaizdas .....	40
3.13 pav. Tarpelio tarp suvirintų detalių vaizdas .....	41
3.14 pav. Baigtinių elementų tinklelis .....	42
3.15 pav. Gaminio plastinė deformacija po nuplėšimo .....	43
3.16 pav. Gaminio maksimalūs įtempiai po nuplėšimo .....	43
3.17 pav. Tempimo jėgos nuo poslinkio grafikas.....	44

## Lentelių sąrašas

2.1 lentelė. Matavimo parametrai .....	21
2.2 lentelė. Maksimali leistina ilgio paklaida .....	21
2.3 lentelė. DALEX PMS 36-5 įtaiso techninės charakteristikos .....	23
2.4 lentelė. Medžiagos X5CrNi18-10 mechaninės savybės .....	24
2.5 lentelė. Medžiagos X5CrNi18-10 cheminė sudėtis .....	24
2.6 lentelė. Medžiagos X5CrNi18-10 tarptautinių standartų palyginimas .....	24
3.1 lentelė. Optimalūs suvirinimo parametrai .....	41

Mikalajūnas, Sigitas. Štampuotų ir suvirintų nerūdijančiojo plieno gaminių kokybinių parametų tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Marius Rimašauskas; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų kryptių grupė): Gamybos inžinerija (E10), Inžinerijos mokslai (E).

Reikšminiai žodžiai: kontaktinis reljefinis suvirinimas, šaltasis lakštinis štampavimas, kokybės parametrai, baigtinių elementų skaitinis metodas, nerūdijantysis plienas.

Kaunas, 2019. 48 p.

### Santrauka

Magistro baigiamojo darbo tikslas yra atlikti pagrindinių kokybinių parametų tyrimą automobilių pramonei skirtoms detalėms, kurios pagamintos iš austenitinio nerūdijančiojo plieno šaltojo štampavimo būdu, bei suvirintos kontaktiniu reljefiniu suvirinimo būdu. Baigiamajame darbe buvo išnagrinėta mokslinė literatūra, susijusi su kontaktiniu suvirinimu, šaltuoju štampavimu, kokybės parametrais. Pasirinkta konkreti gamybinė detalė, kurios suvirinimo kokybė ir geometriniai matmenys nėra stabilūs. Paviršiaus formos nukrypimų stabilumas patikrintas atliekant koordinatinius 3D matavimus. Buvo atlikta naudojamos įrangos analizė, patikrinti naudojami suvirinimo parametrai. Suvirinimo stiprumas patikrintas atliekant suvirintų jungčių nuplėšimo ir nusukimo bandymus, gauti rezultatai palyginti su kompiuteriniais skaičiavimais baigtinių elementų metodu. Pateiktos darbo išvados ir pasiūlymai.



Mikalajūnas, Sigitas. Investigation of Quality Parameters of Stamped and Welded Stainless Steel Products. Master's Final Degree Project / supervisor assoc. prof. Marius Rimašauskas; Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Production and Manufacturing Engineering (E10), Engineering Sciences (E).

Keywords: resistance projection welding, cold sheet metal stamping, quality parameters, finite element numerical method, stainless steel.

Kaunas, 2019. 48 pages.

### Summary

The master's thesis aims to investigate quality parameters of stainless steel products, which are made by using cold sheet metal stamping and resistance projection welding methods. In thesis literature about cold sheet metal stamping, resistance projection welding and quality parameters was analyzed. For master's thesis particular product was chosen, which dimensions of profile were unstable. The stability of dimensions has been checked by using coordinate measurement machine. Welding parameters and equipment was also analyzed. The strength of resistance projection welded products was checked by performing tensile and torque tests. Data from strength tests was compared with finite element numerical method calculations. Lastly conclusions of the thesis are presented at the end of the work.

## Ivadas

Pasaulyje pramonės ir paslaugų lygis sparčiai kyla. Įmonės norėdamos išlikti konkurencingomis, privalo didinti savo gamybinį pajėgumą, plėstis, stengtis gaminti daug ir įvairių produktų ar tiekti kuo įvairesnes paslaugas. Rinkos tyrimas ir naujų galimybių ieškojimas yra taip pat neatskiriama sėkmingos įmonės dalis. Dabartinės įmonės stengiasi modernizuoti vadybos sistemas, tobulinti inžinerines technologijas, mokyti ir šviesti darbuotojus, juos skatinti tobulėti.

Norint pagaminti produktą su kuo mažesnėmis sąnaudomis, reikia labai gerai išanalizuoti visą gamybos procesą, nuo pat gaminio projektavimo iki jo bandymų ir realizavimo stadijų. Parinkti tinkamas medžiagas, kurios turėtų geriausias savybes, bei gerą kainos ir kokybės santykį. Stengtis maksimaliai išnaudoti visus įrengimus ir išteklius, vengti prastovų.

Labai svarbus veiksnys įmonės veikloje, norint išsilaikyti rinkoje, yra detalių kokybinių parametru užtikrinimas. Siekiant, kad užsakovai būtų patenkinti, reikia stengtis pagaminti kuo geresnes detales, taip pat užtikrinti jų stabilumą. Neretai yra pakankamai sunku išpildyti užsakovų reikalavimus, nes reikalaujamas matmenų tikslumas gali būti labai didelis. Net ir pasiekus, kad pagamintos detalės matmenys yra tolerancijų ribose to neužtenka, reikia dar užtikrinti proceso ir įrenginių stabilumą, kad gaminamų detalių kokybiniai rodikliai  $C_p$  ir  $C_{pk}$  būtų kuo didesni. Tam užtikrinti reikia atlikti daugybę įvairių bandymų ir rezultatų analizių. Galimų proceso stabilumo trikdžių nustatymui, taip pat ir galimų problemų identifikavimui ir jų pašalinimui, dažnai naudojama FMEA/DFMA proceso analizė [7].

Automobilių pramonėje labiausiai paplitęs yra šaltasis štapavimas, dauguma kėbulo detalių yra pagamintos šaltojo štapavimo būdu. Tai yra pigus ir paprastas būdas gaminti įvairaus sudėtingumo detales, galima užtikrinti greitą ir stabilią detalių gamybą. Taip pat automobilių pramonėje nėra leidžiama naudoti bet kokias medžiagas, jos turi atitikti tam tikrus saugumo standartus, nes vis dėlto iš jų gaminamos transporto priemonės [8].

Per pastaruosius 10 metų nerūdijančiojo plieno paklausa įvairiose pramonės ir medicinos šakose nuolat didėjo. Nerūdijančiojo plieno lakštai dažniausiai yra naudojami transporto priemonėse, indų gamyboje, elektronikos detalių junginiuose, lėktuvų gamyboje. Tokį pasirinkimą lemia geras šios medžiagos atsparumas korozijai, patraukli išvaizda ir geros suvirinamumo savybės. Paprastai tipiniame automobilio kėbule yra tūkstančiai suvirinimo taškų. Austenitiniai plienai yra didžiausia nerūdijančiojo plieno rūšis pagal panaudojimą pramoninėje gamyboje. Suvirintų nerūdijančiųjų plienų karščio paveiktose zonose korozijos tikimybė paprastai būna didesnė. Karščio paveiktose zonose pasikeičia medžiagos mechaninės ir metalurginės savybės, todėl labai svarbu atlikti šių

pasikeitimų tyrimus, kurie turi įtakos suvirinimo stiprumui ir saugumui, bei suvirinto junginio geometrijai. Suvirinimui naudojant nerūdijantįjį plieną yra mažesnė tikimybė, kad suvirinta jungtis sutrūks ją veikiant dinaminėms ir statinėms apkrovoms, tai labai svarbu automobilių pramonėje [2, 6].

Paprastai šampuotoms detalėms dar yra atliekama įvairių papildomų operacijų: galtavimas, paviršių padengimas, plovimas, valymas, galvanizavimas, suvirinimas. Kontaktinis suvirinimas dažniausiai yra naudojamas lakštinių detalių sujungimui, jis yra pigus ir paprastas būdas sujungti metalo lakštus. Šis suvirinimo būdas gali būti naudojamas suvirinti įvairias medžiagas: mažaanglius plienus, nikelio, aliuminio, titano ir vario lydinius, bei nerūdijantįjį plieną. Kontaktinis suvirinimas yra labiausiai paplitęs pramoninėje gamyboje, pavyzdžiui, mašinų, lėktuvų, elektros ir elektronikos pramonėse. Kontaktinis suvirinimas yra greitas ir lengvai automatizuojamas procesas [1].

Magistro baigiamojo darbo tikslas yra: atlikti pagrindinių kokybinių parametrų tyrimą automobilių pramonei skirtoms detalėms, kurios pagamintos iš austenitinio nerūdijančiojo plieno šaltojo šampavimo būdu, bei suvirintos kontaktiniu reljefiniu suvirinimo būdu.

Pagrindiniai darbo uždaviniai, skirti magistro baigiamajam darbo tikslui pasiekti, yra šie:

1. atlikti koordinatinius 3D gaminių matavimus ir nustatyti, kaip keičiasi kokybiniai gaminio parametrai, keičiant suvirinimo įrangą, suvirinimo parametrus, atliekant pakeitimus sudedamųjų detalių šampavime.
2. atlikti privirintų M8 veržlių nuplėšimo ir nusukimo bandymus, bei nustatyti suvirinimo parametrų įtaką detalės kokybei. Patikrinti nustatytus optimalius detalių ir veržlių suvirinimo parametrus.
3. atlikti dviejų suvirintų detalių nuplėšimo bandymus, bei nustatyti mažiausią nuplėšimo jėgą.
4. atlikti privirintų veržlių nuplėšimo simuliaciją baigtinių elementų metodu ir nustatyti gautus skirtumus tarp atliktų realių ir teorinių rezultatų.

## 1. Literatūros analizė

### 1.1. Kontaktinis reljefinis suvirinimas

Suvirinimas tai toks procesas, kai detalės sujungiamos neišardoma jungtimi. Suvirinimui gali būti naudojami metalai ir jų lydiniai, stiklas, įvairi keramika, plastikai ir kt. Suvirinimas yra pigus ir našus technologinis procesas. Suvirinimo metu medžiagos yra naudojamos taupiau, lieka mažiau atliekų. Suvirinimo būdų gali būti įvairių. Plačiau bus aprašomas kontaktinis reljefinis suvirinimo būdas [9].

Kontaktinio suvirinimo metu detalės suvirinamos esant žemai įtampai (apie 0,5 V - 36 V) ir dideliame srovės stipriui (apie 100 A - 300 kA). Kontaktiniu būdu suvirinant metalus, pro juos prateka didelė srovė, ji įkaitina detalių lietimosi vietas iki kol jos išsilydo, tuomet suspaudus detales jos yra suvirinamos. Darbo zonoje susidarantis šilumos kiekis priklauso nuo srovės stiprio, jo praleidimo laiko, detalių varžos. Kuo didesnė varža, tuo daugiau šilumos yra išskiriama, todėl tarp detalių jos išsiskiria daugiau negu tarp detalės ir elektrodo. Kontaktinis suvirinimas naudojamas automobilių, lėktuvų, elektros ir elektronikos pramonėje, vamzdžių, bėgių, laivų suvirinime. Šį procesą yra pakankamai lengva automatizuoti ir mechanizuoti. Beveik 30 % visų suvirintų jungčių paprastai yra atliekamos kontaktinio suvirinimo būdu. Kontaktinis suvirinimas gali būti skirstomas pagal suvirintos jungties tipą (sandūrinis, aplydomasis, taškinis, reljefinis ir siūlinis) ir pagal suvirinimo transformatoriaus maitinimą (nuolatine srove ar kintamąja srove) [9].

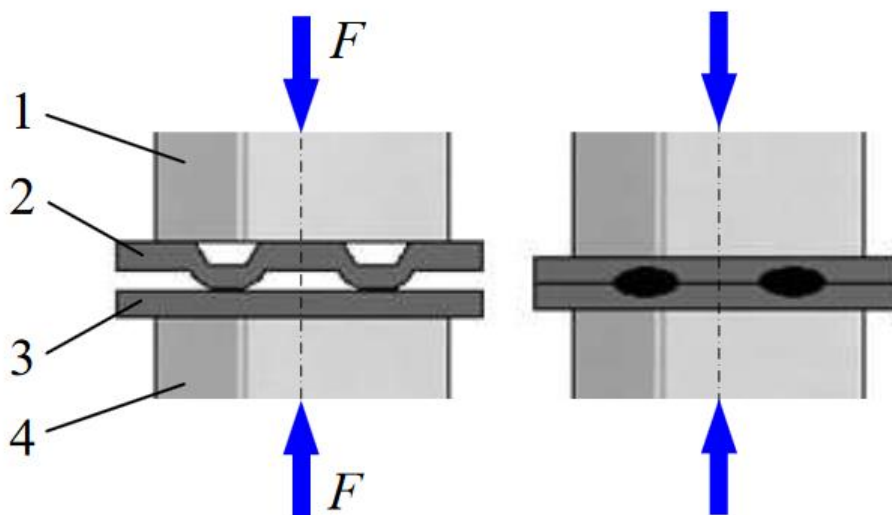
Kontaktinio reljefinio suvirinimo būdu detalės suvirinamos ne ištaisai, o tam tikruose taškuose. Paprastai suvirinamos nuo 0,5 mm iki 6 mm storio lakštinės detalės. Suvirinimui yra naudojami du elektrodai, viršutinis ir apatinis. Paprastai apatinis elektrodas yra nejudamas. Suvirinimo metu viršutinis elektrodas juda žemyn ir spaudžia ir presuoja detales, srovė yra įjungta, taip išsilygina reljefo paviršius ir detalės yra suvirinamos. Suvirinimo taškų skaičius yra toks, kiek buvo suformuota reljefinių iškyšų. Suvirinimo metu srovė yra sufokusuojama į reljefines iškyšas, o ne į visą detalių paviršiaus plotą. Reljefinio suvirinimo metu, elektrodai dyla pakankamai mažai, tačiau yra naudojama daug elektros energijos. Šis suvirinimo būdas yra pakankamai našus. Kai suvirinamos skirtingo storio ar medžiagos detalės, iškyšos yra formuojamos ant storesnės detalės arba ant detalės, pagamintos iš kietesnio metalo [9, 10].

Mokslininkai (J. B. Shamsul ir M. M. Hisyam) tyrė austenitinio nerūdijančiojo plieno AISI 304 suvirinimą kontaktiniu būdu. Šis lydinys yra svarbus tuo, kad turi didelį atsparumą korozijai, yra kietas ir tvirtas. Tyrimo metu buvo suvirinamos dvi plieno plokštelės vienu suvirinimo tašku, plokštelių storis 3 mm. Buvo tirta srovės stiprio ir suvirinimo taško skersmens priklausomybė, taip pat buvo tirtas kietumo pasiskirstymas suvirinimo zonoje. Srovės stipris buvo keičiamas nuo 2,5 kA iki 6,25 kA. Tyrimai parodė, kad didinant suvirinimo srovės stiprį, didėjo suvirinimo taško skersmuo.

Taip pat suvirinimo srovės stipris ir suvirinimo taško skersmuo neturėjo didelės įtakos kietumo pasiskirstymui suvirinimo zonoje [1].

Mokslininkas (Dursun Ozyurek) taip pat tyrė austenitinio nerūdijančiojo plieno 304 suvirinimą. Buvo tirta suvirinimo aplinkos ir srovės stiprio įtaka suvirinimo stiprumui. Buvo suvirinamos dvi metalo plokštelės vienu suvirinimo tašku, plokštelių storis 1 mm. Srovės stipris buvo parinktas 4 kA, 7 kA ir 9 kA. Suvirinimui buvo naudotos natūrali ir azoto aplinkos. Mokslininko tyrimai taip pat parodė, kad suvirinimo srovės stipris neturi didelės įtakos kietumo pasiskirstymui suvirinimo zonoje, nes austenitinis plienas veikiamas karščio neužgrūdinamas. Tyrimai parodė, kad tvirčiausiai plokštelės yra suvirinamos naudojant 9 kA srovę. Nustatyta, kad medžiagos tempimo stipris didėja, didėjant karščiui atsirandančiam nuo didinamo srovės stiprio. Srovės stiprio didinimas, didina suvirinimo taško mikrostruktūros paviršiaus šiurkštumą [2].

Mokslininkų grupė (Oscar Martin, Pilar De Tiedra, Manuel Lopez, Manuel San-Juan, Cristina Garcia, Fernando Martin ir Yolanda Blanco) tyrė austenitinio nerūdijančiojo plieno, suvirinto kontaktiniu būdu, kokybę. Buvo suvirintos dvi plokštelės, 0,8 mm storio, vienu kontaktiniu tašku. Srovės stipris buvo keičiamas nuo 1,5 kA iki 6 kA. Tyrimai rodo, kad taip pat didinant srovės stiprį didėja suvirinimo taško skersmuo, dėl didėjančios temperatūros darbo zonoje. Nustatyta, kad per daug didinant srovės stiprį ir suvirinimo laiką, suvirinimo taškas neleistinai padidėja ir pažeidžia suvirintų plokštelių išorinius paviršius [3].



1.1 pav. Kontaktinio reljefinio suvirinimo schema [9]

1.1 pav. pateiktoje suvirinimo schemoje, kairėje pusėje pateiktas vaizdas prieš suvirinimą, o dešinėje po suvirinimo. Schemą sudaro: 1, 4 – viršutinis ir apatinis kontaktinio suvirinimo elektrodai, paprastai gaminami iš vario; 2, 3 – suvirinamos detalės; F – elektrodo suspaudimo jėga. Po suvirinimo vietoje reljefinių iškyšų yra gaunami lieti suvirinimo taškai. Kontaktinio suvirinimo metu viršutinis ir

apatinis elektrodai yra tvirtinami prie varinių viršutinės ir apatinės plytų, kad suvirinimo metu būtų gaunamas didesnis srovės stipris [9, 10, 11].

Reljefinės suvirinimo iškyšos gali būti suformuotos įvairiais būdais: šlampavimo metu, apdirbant mechaniškai, rankiniu būdu, lietos. Jų forma taip pat gali būti įvairi, dažniausiai naudojama kupolo formos iškyša, bet taip pat gali būti naudojama ir plokščia ar kūgio formos, ar smaili iškyša [10].

Suvirinimo stiprumas priklauso nuo to, kokios formos ir dydžio iškyšos yra naudojamos. Suvirinimo taškai gali būti suformuoti pakankamai arti vienas kito, ko negalima padaryti kitais suvirinimo būdais. Kai suvirinimo režimai yra parinkti tinkamai, suvirinimo metu beveik neatsiranda pusrų, taip paviršius lieka nepažeistas. Kontaktinio reljefinio suvirinimo metu yra lengva reguliuoti srovės stiprį. Dažnai naudojant šį suvirinimo metodą prie detalių yra privirinamos veržlės. Suvirinimo režimų parametrai parenkami pagal suvirinamų detalių storį, medžiagą, jos savybes, įrenginio galingumo parametrus, detalių paviršių savybes. Suvirinimo parametrai gali būti kietieji arba minkštieji. Kietojo suvirinimo metu srovė teka gana trumpai, bet jos tankis ( $600 A/mm^2$ ) ir užspaudimo jėga (900 MPa) yra dideli. Šio suvirinimo metu darbo našumas yra didesnis, detalės deformuojasi mažiau, bet reikalingi galingi įrenginiai. Nerūdijančiojo plieno elektrinė varža yra žymiai didesnė negu mažaanglio plieno, todėl kad nesideformuotų nerūdijantysis plienas yra virinamas naudojant pakankamai didelį srovės stiprį [10, 11, 12].

Mokslininkai (Hessamoddin Moshayedi ir Iradj Sttari-Far) tyrė austenitinio nerūdijančiojo plieno 304L kontaktiniu būdu suvirintų plokštelių suvirinimo taško skersmens ir aukščio priklausomybę nuo suvirinimo parametrų. Buvo atlikti kompiuteriniai ir realūs eksperimentai. Suvirinimo laikas buvo keičiamas nuo 8 iki 26 ciklų (1 ciklas yra 1/50 sekundės dalis), srovės stipris nuo 6 kA iki 10 kA, suvirinamų plokštelių storis – 1 mm. Eksperimentiniai ir simuliaciniai rezultatai yra labai panašūs, didžiausia paklaida tarp rezultatų – 13%. Galima daryti išvadas, kad atlikta simuliacija įvertina daug realių faktorių. Tyrimai rodo, kad didinant suvirinimo laiką, suvirinimo temperatūra taip pat didėja. Bet didinant suvirinimo laiką, suvirintų plokštelių išoriniai paviršiai nebūtinai bus pažeisti. Nustatyta, kad taip pat didinant suvirinimo srovės stiprį, didėja suvirinimo taško matmenys. Didinant suvirinimo srovės stiprį, suvirinimo taškas didėja greičiau negu didinant suvirinimo laiką. Srovės stipris turėtų būti parenkamas toks, kad nebūtų pažeidžiami suvirinamų elementų išoriniai paviršiai. Suvirinimo laikas turėtų būti pakankamai trumpas [4].

Mokslininkai (Shinji Fukumoto, Kana Fujiwara, Shin Toji ir Atsushi Yamamoto) tyrė plonų austenitinio plieno lakštų suvirinimą kontaktiniu būdu. Tyrimams buvo naudojami 302, 304, 310S, 316L ir 347 austenitiniai plienai, kurių storiai buvo 0,2 mm - 0,5 mm. Buvo tirta suvirinimo mikrostruktūros ir stiprumo priklausomybė nuo suvirinimo parametrų. Virinimo laikas buvo

keičiamas nuo 1 ms iki 9 ms, suvirinimo srovės stipris nuo 200 A iki 800 A, suvirinimo jėga buvo stabili – 49 N. Mokslininkai nustatė, kad didinant srovės stiprį, didėja suvirinimo taško skersmuo ir plotis. Naudojant tradicinius suvirinimo parametrus buvo gauta vientisa austenitinė mikrostruktūra [5].

Mokslininkai (Vytautas Jurgaitis, Ramūnas Česnavičius, Sigitas Kilikevičius ir Romualdas Dundulis) tyrė taškinio suvirinimo stiprumą tarp plokštelės, pagamintos iš DC01 plieno ir veržlės pagamintos iš C22 plieno. Stiprumo nustatymui buvo keičiamas suvirinimo srovės stipris. Buvo nustatyta, kad stipriausia suvirinta jungtis buvo gauna naudojant 7,5 kA srovės stiprį [18].

## **1.2. Šaltasis lakštinis šampavimas**

Šaltasis lakštinis šampavimas, tai medžiagų deformavimas esant kambario temperatūrai, keičiant elemento formą. Šaltojo šampavimo metu medžiaga yra plastiškai deformuojama. Galima šampuoti iš metalų ir nemetalų lakštų, juostų ar rulonų. Šampavimo metu ruošinio storis beveik nesikeičia, tik formavimo metu medžiaga gali suplonėti iki 30 %. Šaltojo šampavimo būdu šampuojami lakštai iki 10 mm storio. Šaltasis lakštinis šampavimas yra modernus metalo apdirbimo būdas. Šiuo būdu galima gauti puikius detalių matmenis, taupant metalą. Šio apdirbimo būdo darbo našumas yra didelis, o energijos sąnaudos yra pakankamai mažos [9].

Lakštinio šampavimo privalumai:

1. didelis darbo našumas;
2. gaunami tikslūs matmenys ir glotnūs paviršiai;
3. lengva automatizuoti procesą;
4. galima taikyti smulkiaserijinėje ir masinėje gamyboje.

Lakštinio šampavimo operacijų yra gana daug ir įvairių:

1. atskyrimo operacijos (atkirpimas, iškirtimas, pramušimas, įkirtimas, apkirtimas);
2. formos keitimo operacijos (lenkimas, ištempimas, atriėtimas, apspaudimas, formavimas).

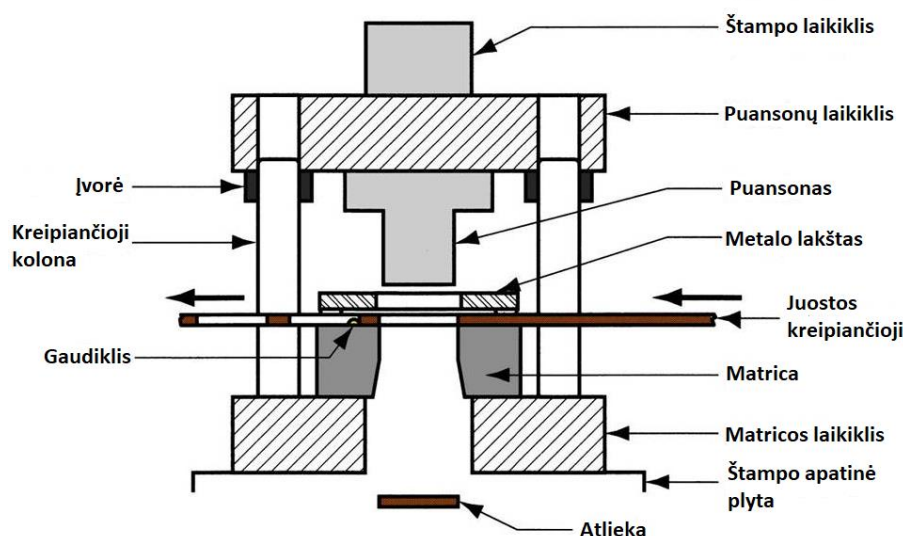
Lakštiniam šampavimui yra naudojami nuoseklaus ar sutapdinto veikimo šampai. Nuoseklaus veikimo šampai naudojami detalėms gaminti, kurios nėra didelių matmenų ar sudėtingos formos. Nuoseklaus veikimo šampe kiekviena operacija atliekama žingsniais – juostą vis perstumiant po kiekvieno žingsnio. Galiausiai detalės yra atidalinamos. Jeigu detalės yra pakankamai mažų matmenų, tokiaė šampe gali būti įrengti keli lizdai, tai reiškia, kad vienu metu pagaminamos kelios detalės. Nuoseklaus veikimo šampus galima naudoti automatinio veikimo presuose. Sutapdinto veikimo šampai skirti sudėtingos formos detalėms, pakankamai didelių gabaritų ar kai yra reikalingas sudėtingas formavimas. Tokiaė šampe yra kelios pozicijos, kuriose atliekamos skirtingos

operacijos. Po kiekvieno paspaudimo detalės išimamos iš tos pozicijos ir perduamos į kitą. Tokie štampai paprastai naudojami hidraulinuose lėtos eigos presuose [8].

Štampai gali būti įvairių dydžių: nuo lengvai rankomis pakeliamų vienos pozicijos iki 3 metrų ilgio žingsninių štampų. Atitinkamai štampą gali sudaryti nuo keliolikos iki kelių šimtų detalių.

Pagrindinės šampo sudedamosios konstrukcinės dalys yra šios:

1. šampo apačia;
2. šampo vidurys;
3. šampo viršus.



1.2 pav. Vienos pozicijos sutapdinto veikimo šampo eskizas

Standartinio šampo (1.2 pav.) apačioje yra pagrindinė didžioji plyta ant kurios tvirtinamos visos kitos detalės. Didžiausias šampo detalių kiekis yra apatinėje plytoje. Pagrinde lenkimo ar kirtimo matricos, kolonų įvorės, tarpinės, pakėlikliai, numėtikliai, gaudikliai, juostos ar rulono kreipiančiosios, sensoriai ir kt. Šampo vidurį sudaro puansonų kreipikliai, kurie juos kreipia į matricas. Kreipikliai tvirtinami prie vidurinės plytos. Šampo viršuje yra viršutinė plyta į kurią yra tvirtinami lenkimo ar kirtimo puansonai, kreipiančiosios kolonos.

Šaltojo šampavimo optimizavimą galima palengvinti naudojant baigtinių elementų skaitinius metodus ir atliekant kompiuterines simuliacijas. Būtent tai mokslininkas (Giuseppe Sala) ir aprašė savo tiriamajame straipsnyje. Naudojant baigtinių elementų skaitinius metodus galima nustatyti kaip elgsis ruošinys formavimo metu, kur galimos silpnos vietos ir medžiagos atspyrūkliavimas. Tačiau šios simuliacijos gali būti tik kaip nuorodos atliekant šampavimo kokybės įvertinimą [22].

Mokslininkai (Tatsuhiko Aizawa, Eiji Iwamura ir Kuniyoshi Itoh) tyrė nano dangų įtaką šaltojo šampavimo elementams. Formavimo ir kirtimo puansonai buvo padengti nano dangomis, tai leido



prailginti įrankio tarnavimo laiką ir sumažinti ruošinio tepimą formavimo metu. Nano danga išlieka net ir po 10000 formavimų [23].

Mokslininkai (Sigitas Kilikevičius, Ramūnas Česnavičius, Povilas Krasauskas ir Andrius Juodsnukis) tyrė šaltojo formavimo procesų kokybę. Buvo sudarytas skaičiavimo modelis, kuris aprašo formavimo procesą, kad būtų galima ištirti kaip formuotos detalės kokybė priklauso nuo ruošinio prispaudimo jėgos, matricos dydžio ir trinties koeficiento. Skaičiuojamasis modelis buvo paremtas baigtinių elementų skaitiniu metodu [24].

### **1.3. Kokybės analizė**

Pagaminto gaminio sugedimas jo garantijos laikotarpiu žymiai sumažina įmonės patikimumą ir padidina bendrovės išlaidas. Gaminio patikimumui užtikrinti yra naudojamas patikimumo gerinimo metodas, tai FMEA analizė. Ši analizė apibūdina gedimo būdą ir jo įtaką. Taip galima išvengti galimų klaidų, kurios turės didelę įtaką įmonės reputacijai. Šį metodą naudoja daugelis įmonių, nes to reikalauja jų klientai [15].

Kokybė yra pagrindinis rodiklis pagal kurį vartotojai vertina produktus. Pagrindinis dėmesys yra skiriamas tam, kad produktas atliktų tai, kam jis buvo pagamintas. Gedimų atsiradimų priežastis dažnai būna žmogus ir jo klaidos, todėl labai svarbus žingsnis yra problemų prevencija ir sprendimų nustatymas [15].

Pagrindiniai klaidų vengimo būdai yra šie [15]:

1. darbuotojų mokymas ir klaidų analizė;
2. buvusių klaidų duomenų bazės kaupimas;
3. komandinis darbas ir glaudūs santykiai tarp tiekėjo ir vartotojo;
4. veiksmų plano sudarymas ir aptarimas.

Didėjančios ekologinės problemos, griežtesni reikalavimai gaminiams yra pagrindiniai aspektai pramonės inžinerijoje. Šiuolaikinėje gamyboje stengiamasi naudoti kuo lengvesnes medžiagas, bet taip pat siekiama gerinti gaminių konstrukcijos kokybę. Naudojamos medžiagos turi būti aukšto stiprumo ir pakankamai plastiškos, todėl dažnai naudojamas nerūdijantysis plienas. Nors dėl nerūdijančiojo plieno kainos ne visos įmonės yra linkusios naudoti šį plieną. Medžiagos kokybę taip pat apibūdina jos atsparumas korozijai, formavimo galimybės, svoris, kaina [16].

Dabartinėje gamyboje labai svarbu kuo anksčiau įvertinti gaminio konstrukciją, sudedamųjų detalių skaičių ir gamybos išlaidas. Taip ankstyvojoje gamybos stadijoje galima priimti tinkamiausius sprendimus ir išvengti nuostolių. Šiems tikslams pasiekti yra taikoma DFMA metodologija. Jos esmė

yra gaminio konstravimo procesų integravimas bei racionalus gamybinių išteklių panaudojimas. Metodas padeda priimti geriausius sprendimus [17].

Norint nustatyti ar gaminys yra pagamintas tinkamai, t.y. atitinka visus jam keliamus kokybės reikalavimus, reikia atlikti daugybę patikrinimų:

1. jeigu gaminį sudaro keli atskiri gaminiai, tai reikia patikrinti jų jungties stiprumą. Jeigu jungtis yra virinta – atliekami nuplėšimo ir nusukimo bandymai. Gautos reikšmės turi būti nemažesnės už vartotojo reikalaujamas.
2. kadangi gaminys bus naudojamas dar didesniame surinkimo mazge, reikalinga patikrinti gautus matmenis. Visi gaminio matmenys turi būti tolerancijų ribose, priešingu atveju gaminio nebus galima surinkti. Paprastai matavimai atliekami naudojant koordinatines arba optines 3D matavimo mašinas. Tokiu būdu galima sužinoti tikslias neatitikčių reikšmes, paskaičiuoti formos ir padėties nuokrypius.
3. esant specifiniams reikalavimams, atliekami švarumo testai.
4. šampuotoms detalėms tikrinamas metalo lakštų storis, patikrinama medžiaga, dažniausiai pagal tiekėjo atsiųstus dokumentus.
5. jeigu gaminys yra padengiamas atliekami padengimo testai ir korozijos testai.
6. atsiradus papildomoms problemoms ar esant nestabilumui atliekami papildomi patikrinimai, pavyzdžiui, mikrostruktūros pjūvis per suvirintas jungtis.

Kokybės užtikrinimui dažnai naudojamos optinės, koordinatinės 3D matavimo mašinos. Pagal parašytą programą gaminys yra pamatuojamas ir nustatoma ar jo matmenys yra tolerancijų ribose, bei kokio dydžio nukrypimai yra. Matavimai atliekami ne tik gaminamiems gaminiams, bet ir technologinei įrangai, formavimo elementams.

Mokslininkai (Chen-Hua She, Chun-Cheng Chang, Yung-Chou Kao ir Hsin-Yu Cheng) naudodami 3D koordinatinę matavimo mašiną tyrė formavimo puansono paviršiaus kokybę. Buvo išmatuoti paviršiaus nukrypimai, sugeneruotas matavimo modelis IGES formatu ir sukurtas šlifavimo technologijos gidas tolimesniam formavimo puansono apdirbimui [19].

Mokslininkai (M. M. Dowling, P. M. Griffin, K.-L. Tsui ir C. Zhou) tyrė atsirandančias problemas atliekant 3D matavimus su koordinatine matavimo mašina. Naudojant 3D matavimą yra gaunama pavienių taškų informacija, o ne viso paviršiaus, todėl sunkiausia yra interpretuoti gautus rezultatus [20].

Tarp matavimo, produktyvumo ir kokybės yra labai glaudus ryšys, norint apibrėžti gaminio kokybę. 3D matavimas tai pateikia išsamiausiai. Tai patvirtino mokslininkai (C. Walrad ir E. Moss), jie savo darbe aprašė matavimo ir gaminių kokybės ryšius [21].

#### **1.4. Literatūros analizės apibendrinimas**

Literatūros analizės dalyje buvo išnagrinėti kontaktinio reljefinio suvirinimo, šaltojo lakštinio šampavimo ir kokybės analizės ypatumai. Išnagrinėti ir išanalizuoti mokslininkų tirti šaltiniai apie kontaktinį suvirinimą, lakštinį šampavimą ir detalių kokybės užtikrinimą. Pagal atliktas mokslines analizes galima teigti, kad naudojant per didelę suvirinimo srovę neleistinai padidėja suvirinimo taško skersmuo ir taip blogėja jungties stiprumas bei pažeidžiami išoriniai detalių paviršiai. Suvirinimo taško kietumui srovės stipris neturi įtakos, nes proceso metu nerūdijantysis plienas neužgrūdinamas. Didinant srovės stiprį jungties stiprumas mažėja dėl atsirandančių mikroįtrūkimų. Pagal atliktą analizę galima teigti, jog šampuotų gaminių kokybė ir stabilumas priklauso nuo naudojamos įrangos kokybės, paviršiaus dangų, matavimo rezultatų, dažnai naudojamos baigtinių elementų kompiuterinės simuliacijos šampavimo procese atsirandantiems sunkumams nustatyti ir spręsti.

Atlikus literatūros analizę buvo nuspręsta tirti šampuoto ir kontaktiniu būdu suvirinto gaminio iš nerūdijančiojo plieno svarbiausius kokybinius parametrus. Buvo pastebėta, kad pasirinkto gaminio matmenys nėra stabilūs, taip pat gaminių sudarančios detalės suvirintos nekokybiškai. Todėl remiantis atliktais kokybinių parametrų tyrimais galima atlikti geresnius savikainos skaičiavimus panašaus sudėtingumo gaminiams, nustatyti silpniausias gamybos vietas, įvertinti ar pagamintas gaminys tenkins užsakovo reikalavimus. Kadangi gaminių sudaro suvirintos jungtys, buvo nuspręsta nustatyti jų stiprumą ir patikrinti ar parinkti suvirinimo parametrai yra teisingi. Ar šampuotas gaminys yra kokybiškas, geriausiai tai apibūdina jo matavimo rezultatai. Todėl buvo nuspręsta fiksuoti, atlikti ir analizuoti gaminio matavimus naudojant koordinatinę 3D matavimo mašiną. Matavimų trukmė: nuo pat pirmos pagamintos detalės iki serijinės gamybos. Taip pat buvo nuspręsta patikrinti ar naudojama įranga pagaminta tinkamai.

## **2. Tyrimų metodologija**

Pasirinktiems tyrimams atlikti bus naudojama ši įranga:

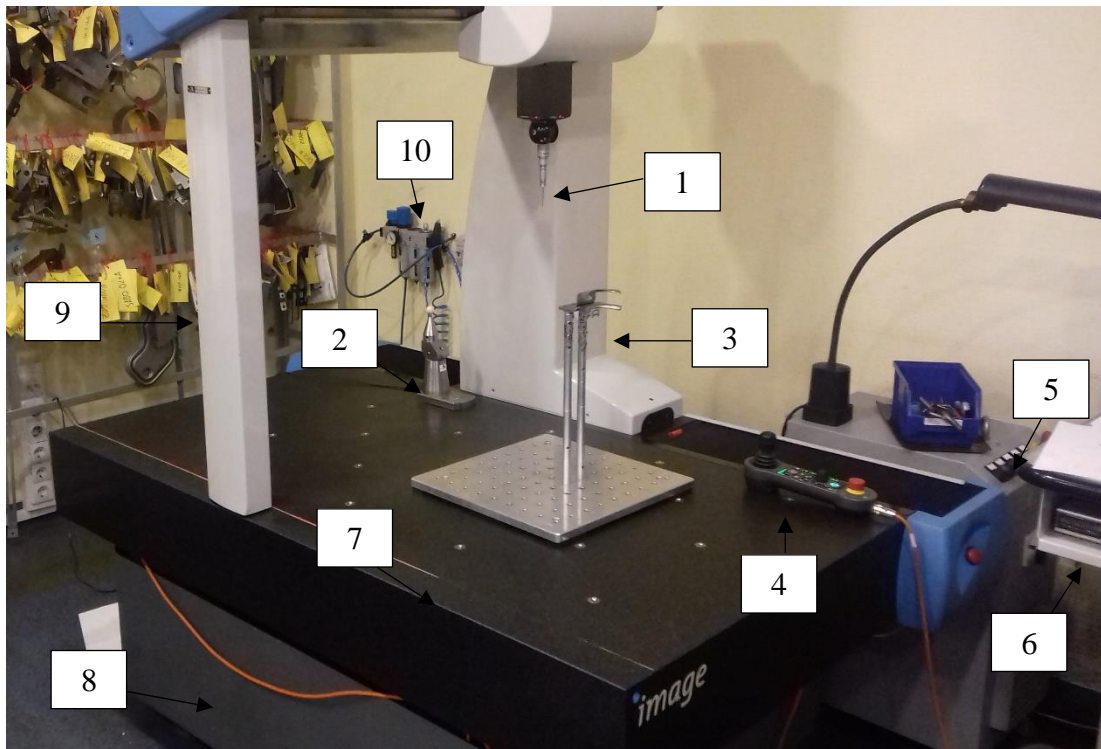
1. gaminio matavimui – koordinatinė 3D matavimo mašina (KMM);
2. detalių suvirinimui – kontaktinio suvirinimo automatas;
3. gaminio stiprumo tyrimui – eksperimentinė bandymo mašina;
4. papildomam gaminio matmenų tikrinimui – tikrinimo įranga (kalibrai).

### **2.1. Koordinatinė 3D matavimo mašina DEA Global**

Koordinatė matavimo mašina (2.1. pav.), tai kompiuterio valdomas įtaisas su liestuku matavimo rezultatams gauti. Dažniausiai matuojami gaminių paviršiai po vieną tašką vienu metu. Liestuko judesiai gali būti valdomi pulteliu arba aprašyti programiškai. Gaminio matavimo programą sudaro tūkstančiai eilučių, kurios aprašo kiekvieną liestuko judesį, judėjimo greitį, bei prisilietimo jėgą. Atliekant šiuolaikinę kokybės patikrą KMM įgijo labai didelį populiarumą dėl savo didelio tikslumo, pritaikomumo ir paprasto automatizavimo. Būtent dėl šių priežasčių detalių kokybinių parametrų nustatymui pasirinkau šį įrenginį. Detalių matavimas tikrinimo kalibru, mikrometru ar aukštimačiu nėra toks tikslus. Taip pat optinių matavimo mašinų tikslumas yra mažesnis negu mašinų naudojančių lietimosi adatėlę. Todėl sudėtingi paviršiai retai matuojami naudojant optines mašinas.

Gaminio programos rašymas užtruko apie 4,5 valandos, vienos detalės pilnas matavimas trunka 20 minučių, naudojant optimalius greičius (2.1 lentelė). Detalių matavimui koordinatinės matavimo mašinos liestuko matmenys buvo pasirinkti 2 mm skersmens ir 40 mm ilgio, galvutės laikiklis PH10MQ, matavimo galvutė TP200. Tokio dydžio adatėlė yra tinkama pamatuoti vidinius gaminio paviršius, kuriuos paprastai sunku pamatuoti naudojant trumpus liestukus.

2.1 pav. pavaizduota koordinatinė matavimo mašina. Ją sudaro: 1 – matavimo galvutė ir liestukas; 2 – kalibravimo įrenginys; 3 – matuojamas gaminys ir stoveliai; 4 – valdymo pultelis; 5 – valdiklio mechanizmas; 6 – skaitmeninis valdiklis; 7 – granitinis darbo stalas; 8 – reguliuojamos stalo kojos; 9 – judėjimo mechanizmas; 10 – suslėgto oro sistema.



2.1 pav. Koordinatinė matavimo mašina

Gaminio matavimui naudoti koordinatinės matavimo mašinos parametrai pateikti 2.1 lentelėje. Visi kiti nepaminėti parametų dydžiai pasirinkti pagal gamintojo nurodymus.

2.1 lentelė. Matavimo parametrai

Matavimo parametrai	
Matavimo greitis, mm/s	5
Pozicionavimo greitis, mm/s	100
Pagreitis, mm/s <sup>2</sup>	10
Atsitraukimo atstumas, mm	2
Termo kompensacijos metodas	Tiesinis

Koordinatinės matavimo mašinos maksimalių leistinų ilgio paklaidų (MPE(EL)) dydžiai 100 mm ilgyje pateikti 2.2 lentelėje. Matuojant didesnės detales paklaidų dydis gali siekti:  $\pm 3,5 \mu\text{m}$  išilgai XYZ ašių ir  $\pm 3,8 \mu\text{m}$  matuojant įstrižai. Maksimalūs darbo zonos matmenys yra 1650x700x660 mm.

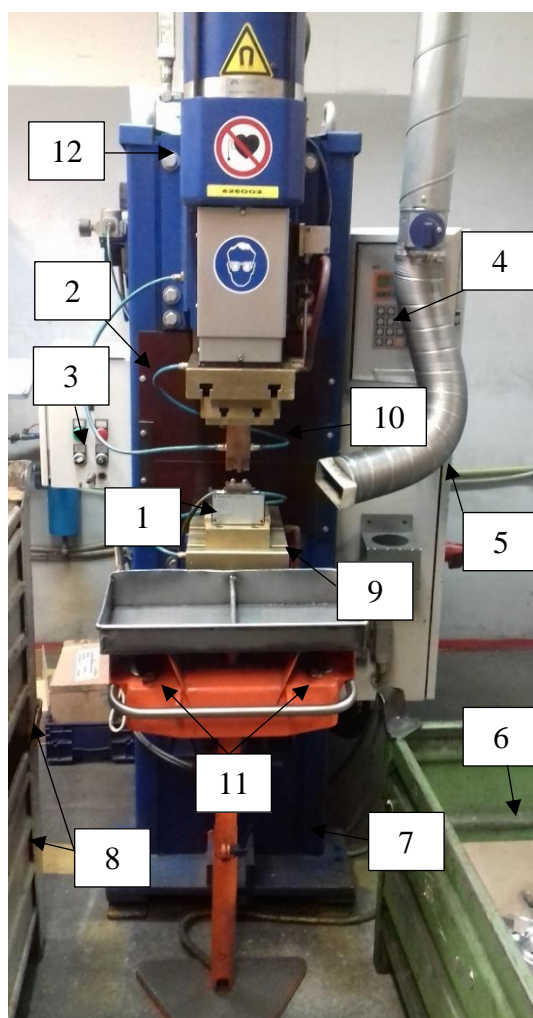
2.2 lentelė. Maksimali leistina ilgio paklaida

Matuojama ašis	Paklaidos dydis
Ilgio matavimas išilgai X ašies	$\pm 2 \mu\text{m}$
Ilgio matavimas išilgai Y ašies	$\pm 2 \mu\text{m}$
Ilgio matavimas išilgai Z ašies	$\pm 2 \mu\text{m}$
Ilgio matavimas įstrižai	$\pm 2 \mu\text{m}$

## 2.2. Kontaktinio suvirinimo automatų DALEX PMS 36-5

Gaminį sudarančių detalių suvirinimui ir veržlių privirinimui buvo naudojamas kontaktinio suvirinimo automatų DALEX PMS 36-5 (2.2 pav.). Šis suvirinimo įtaisas skirtas pramonei gamybai. Galima suvirinti detales kontaktiniu būdu įvairiais režimais. Į automatą yra įstatoma speciali suvirinimo įranga, kurią naudojant detalės suvirinimo metu yra tiksliai pozicionuojamos. Suvirinimo įranga tvirtinama prie įtaiso viršutinės ir apatinės plokštės, kuriose yra T formos grioveliai, į juos įsukami varžtai. Apatinė įtaiso dalis yra nejudama, vertikaliai juda tik viršutinė įtaiso dalis. Apsaugai nuo įrangos perkaitimo yra naudojamas aušinimas oru, bei ventiliacijos sistema, kenksmingoms medžiagoms pašalinti. Įrenginio suvirinimo parametrai yra nustatomi skaitmeniniu valdikliu.

2.2 pav. pavaizduotas kontaktinio suvirinimo automatų DALEX PMS 36-5. Jį sudaro: 1 – detalių suvirinimo įranga; 2 – įrangos aušinimo oru sistema; 3 – įtaiso valdiklis; 4 – suvirinimo režimų nustatymo įtaisas; 5 – ventiliacijos sistema; 6 – suvirintų detalių dėžė; 7 – apatinė įtaiso dalis; 8 – nesuvirintų detalių dėžė; 9 – apatinis elektrodas; 10 – viršutinis elektrodas; 11 – paleidimo jungikliai; 12 – viršutinė įtaiso dalis.



2.2 pav. Kontaktinio suvirinimo automatų DALEX PMS 36-5

2.3 lentelėje pateiktos DALEX PMS 36-5 suvirinimo įtaiso techninės charakteristikos.

2.3 lentelė. DALEX PMS 36-5 įtaiso techninės charakteristikos

Techninė charakteristika	Dydis, matavimo vienetai
Nominali galia	250 kVA
Nominali įtampa	400 V
Nominalus dažnis	50 Hz
Maksimali suvirinimo galia	1280 kVA
Antrinė įtampa	12,5 V
Maksimali suvirinimo srovė	12 kA
Aušinimo vandeniu debitas	16 l/min
Elektrodo suspaudimo jėga	500-3000 daN
Įtaiso svoris	1100 kg

### 2.3. Bandyimo mašina P5

Gaminį sudarančių detalių ir veržlių nuplėšimui buvo naudota bandymo mašina P5. Tai yra elektromechaninė 50kN galingumo tempimo ir gniuždymo mašina, kurios greitis 50 mm/min. Ši mašina yra seno modelio, bet naudojama jėgos, deformacijų ir poslinkio matavimo įranga – naujausia. 2.3 paveiksle parodyta tempimo bandymo metu naudota įranga: 1 – jėgos keitiklis; 2 – programinė įranga ir matavimo įranga HBM SPYDER 8; 3 – matavimo įrangos jutiklis; 4 – parodyta visa bandymo mašina P5, kurią naudojant buvo atliekami nuplėšimo bandymai.



2.3 pav. Bandyimo įranga

## 2.4. Gaminio analizė

### 2.4.1. Gaminio medžiagos specifikacija

Gaminį sudaro dvi kontaktiniu reljefiniu būdu suvirintos detalės ir prie vienos iš jų kontaktiniu būdu privirintos dvi M8x1.20 veržlės. Visos keturios detalės yra iš to paties plieno: nerūdijančiojo plieno X5CrNi18-10, kuris yra austenitinis ir korozijai atsparus plienas. Abiejų detalių storis turi būti vienodas, po 2,5 mm.

2.4 lentelė. Medžiagos X5CrNi18-10 mechaninės savybės

Medžiagos numeris	Tempimo stipris $R_m, N/mm^2$	Takumo riba $R_{p0,2}, N/mm^2$	Trūkstamasis pailgėjimas A, %	Lydymosi temperatūra, T, K	Šiluminis laidumas, $\lambda, \frac{W}{mK}$
1.4301	540-750	230	45	1673	14

2.5 lentelė. Medžiagos X5CrNi18-10 cheminė sudėtis

Maksimali koncentracija, %								
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	N	Fe
0,07	1,0	2,0	0,045	0,015	17,0-19,5	8,0-10,5	0,11	likęs

Medžiagos tankumas yra  $7,9 \text{ kg/dm}^3$ , kietumas 160-190 HB. Dažniausiai toks plienas naudojamas automobilių, chemijos, maisto, statybų pramonėje. Tinka giliajam ištempimui, šaltajam štapavimui, yra lengvai poliruojamas. Kuo pliene daugiau mangano, tuo jis yra stipresnis, bet mažiau plastiškas. Fosforas ir siera yra žalingos priemaišos, jos greitina mikropleišėjimą aukštoje temperatūroje, didina plieno trapumą ir mažina plastiškumą šildant.

Nerūdijantysis austenitinis chromo-nikelio plienas yra atsparus korozijai, taip pat pakankamai lengvai suvirinamas. Tačiau po suvirinimo, tose vietose jis tampa mažiau atsparus tarpkristalitinei korozijai.

Medžiagos tarptautinių standartų palyginimo lentelėje (2.6 lentelė) pateikti šios medžiagos naudojami atitikmenys kituose standartuose.

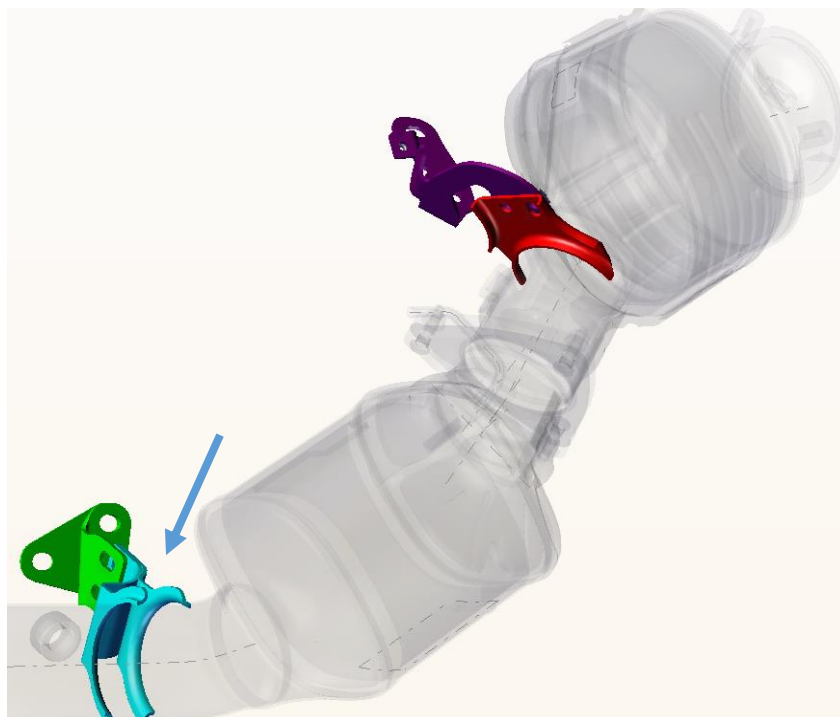
2.6 lentelė. Medžiagos X5CrNi18-10 tarptautinių standartų palyginimas

Vokietija	JAV	J.K.	Prancūzija	Japonija	Švedija	
Standartas						
DIN, DIN EN	Medž. Nr.	AISI/SAE	BS	AFNOR	JIS	SS
X5CrNi18-10	1.4301	304	304 S 17	Z 5 CN 17-08	SUS 304	2332, 2333

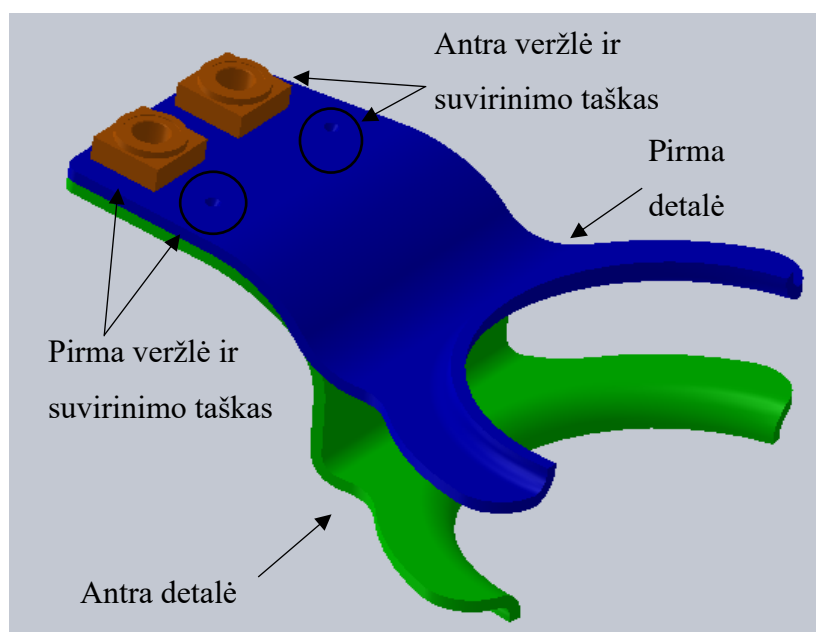


## 2.4.2. Gaminio paskirties analizė

Šis suvirintų detalių gaminys (2.5 pav.) yra naudojamas kaip laikiklis, galimai automobilio išmetimo vamzdžiui. Abi detalės vienu metu turi atlikti tą pačią funkciją ir sudaryti vientisą gaminį, kuris laikytų vamzdį. Detalių galai, kurie liečiasi su vamzdžiu neturi būti aštrūs, gali būti R 2 mm užapvalinimo spindulys. Taip pat tais paviršiais detalė yra privirinama prie vamzdžio. Veržlės naudojamos prisukimui prie kitos detalės. Šis gaminys yra tik vienas iš keleto tą pačią funkciją atliekančių laikiklių (2.4 pav.).



2.4 pav. Gaminio panaudojimas



2.5 pav. Gaminio eskizas

### 2.4.3. Gaminio brėžinio keliami reikalavimai

Gaminio kokybę nusako jo matmenys ir kiti kokybiniai parametrai. Svarbu, kad gaminys atitiktų brėžinyje keliamus reikalavimus (1 priedas). Visų kiaurymių tarpusavio pozicijos turi būti tikslios ir ne didesnės negu 0,5 mm, veržlių ir skylių koncentriškumas ne didesnis negu 1,2 mm, bazinių paviršių plokštumas ne didesnis negu 0,5 mm, paviršiaus formos ir padėties tolerancija tam tikrose zonose siekia net  $\pm 0,2$  mm, išorinių briaunų užapvalinimas iki 0,2 mm, tam pasiekti turi būti atliekamas galtavimas, gaminio paviršius turi būti švarus ir nepadengtas tepalais, paviršiaus įtempimas turi būti didesnis negu 32 mN/m, prie veržlių ir bazinių paviršių negali būti po virinimo likusių pusrų, paviršių nuglemžimai ir įmušimai taip pat nėra leidžiami, tarpelis tarp kontaktiniu būdu suvirintų detalių negali būti didesnis negu 0,5 mm.

### 2.4.4. Detalių virinimui skirti reikalavimai

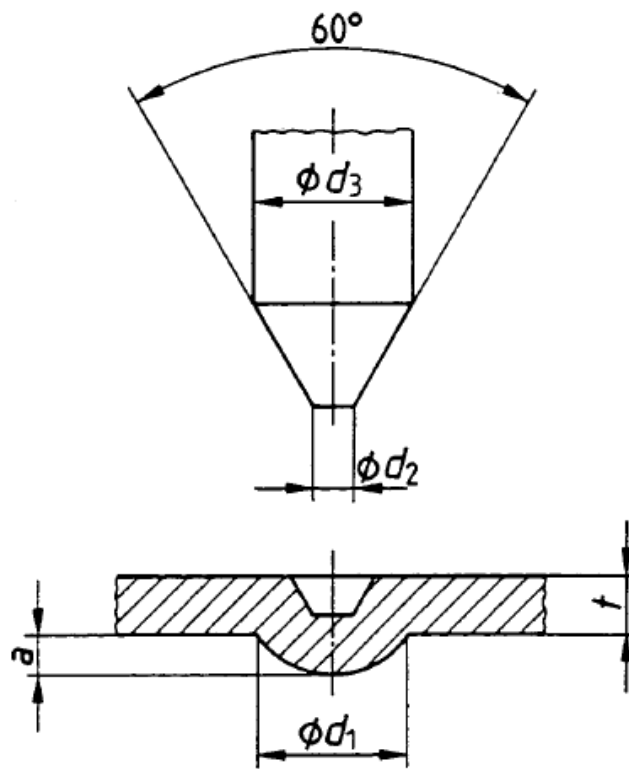
Virinimo reikalavimus aprašo specialiai tam skirta norma DIN EN ISO 10447 (ET-S-1162/00). Joje nurodomi pageidautini detalių atskyrimo būdai, bei kaip turi atrodyti plyšusi suvirinimo vieta. Gaminio silpniausia vieta negali būti suvirinimo vieta, atskiriant detales turi išplyšti detalės, o ne suvirinimo vieta. 2.6 pav. kairėje pusėje pateiktas tinkamo suvirinimo pavyzdys, o dešinėje netinkamo [13].



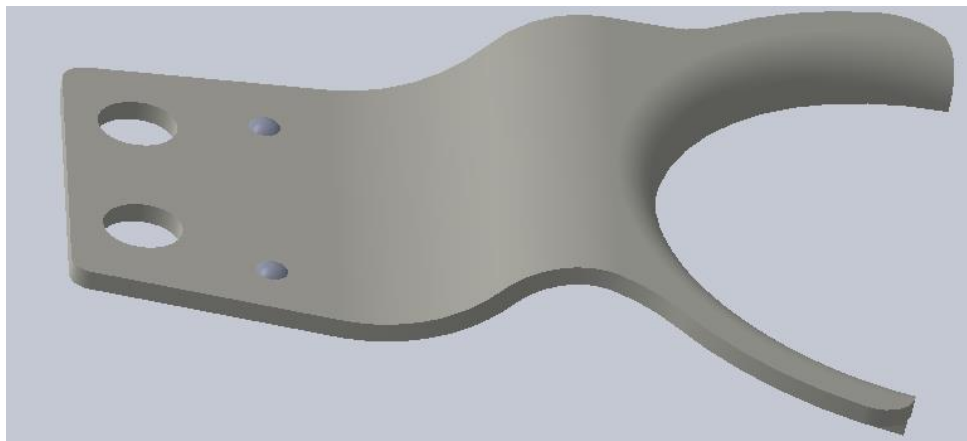
2.6 pav. Suvirintų detalių nuplėšimo bandymo rezultatai [13]

### 2.4.5. Virinimo iškyšoms skirti reikalavimai

Virinimo iškyšų formą apibūdina speciali norma DIN EN 28167. Joje nurodomi įrankio ir iškyšos parametrai priklausomai nuo medžiagos storio. Kadangi medžiagos storis yra  $t = 2,5$  mm, tai pagal reikalavimus, reljefinės iškyšos išorinis skersmuo  $\varnothing d_1 = 4$  mm. Jo galima tolerancija  $4^{+0,4}_{-0,0}$  mm. Vidinis skersmuo turi būti  $\varnothing d_2 = 1,25$  mm, įrankio skersmuo  $\varnothing d_3$  gali būti pasirinktas laisvai, reljefinės iškyšos aukštis turi būti  $a = 1$  mm (2.7 pav.) [14].



2.7 pav. Virinimo iškyšų parametrai [14]



2.8 pav. Detalės su reljefinėmis virinimo iškyšomis eskizas

#### 2.4.6. Gaminio gamybos ir kokybinių parametrų tyrimas

Pirmiausia yra derinami šampų lenkimai ir formavimai, nes juos sunkiausia atlikti, kontūro kirtimo šampai gaminami pačioje pabaigoje, kai detalių lenkimo kampai ir formavimai yra tolerancijų ribose.

Norint iš atskirų detalių gauti galutinį gaminį, reikia atlikti du virinimus, privirinti dvi veržles prie vienos detalės ir suvirinti dvi detales kartu. Tam buvo pasirinkta naudoti dvi skirtingas suvirinimo įrangas. Pirmoji įranga skirta veržlių privirinimui, o antroji abiejų detalių suvirinimui.

## 2.5. Gaminio geometrinių matmenų tikrinimo įranga

Gaminio geometrinių matmenų patikrinimui yra naudojama papildoma įranga. Vizualinei kontrolei naudojama paprasta tikrinimo įranga (2.9 pav.), kuri parodo, kaip surinkimo mazge gaminys atlieka savo funkciją. Uždėjus gaminį ant įrangos galima pamatyti, kokia yra kontūro padėtis, kaip detalės tarpusavyje yra suvirintos ir išsidėsčiusios, taip pat ar tolygūs lenkimo kampai bei formavimai.



2.9 pav. Gaminio formos tikrinimo įranga

Tikslesnei detalių geometrinių matmenų kontrolei yra naudojami kalibrai (2.10 pav.): yra trys atskiri kalibrai, kurie skirti kiekvienai detalei atskirai ir visam gaminiui patikrinti. Kalibruose detalės centruojamos didžiuoju spinduliu  $R\ 37,8\ \text{mm}$ , o orientuojamos viena iš  $\varnothing\ 10\ \text{mm}$  skylių, bazinė plokštuma yra ta vieta, kur privirinamos veržlės ir suvirinamos abi detalės kartu. Kalibruose tikrinama kontūro, plokštumų ir skylių padėtis, bei forma. Taip pat ir plokštumas ( $\square$ ). Kalibrai yra konstruojami taip, kad tarsi imituotų, kokią funkciją turi atlikti gaminys (ar detalės) surinkimo mazge.



2.10 pav. Gaminio matmenų ir formos tikrinimo įranga

Gaminio geometrinių matmenų patikrinimas taip pat atliekamas ir naudojant koordinatinę 3D matavimo mašiną. Šis būdas yra pats tiksliausias, nes galima gauti matavimo reikšmes mikrometrų tikslumu, taip pat galima pamatuoti visas formas, kurių, naudojant kalibrus pamatuoti neįmanoma.

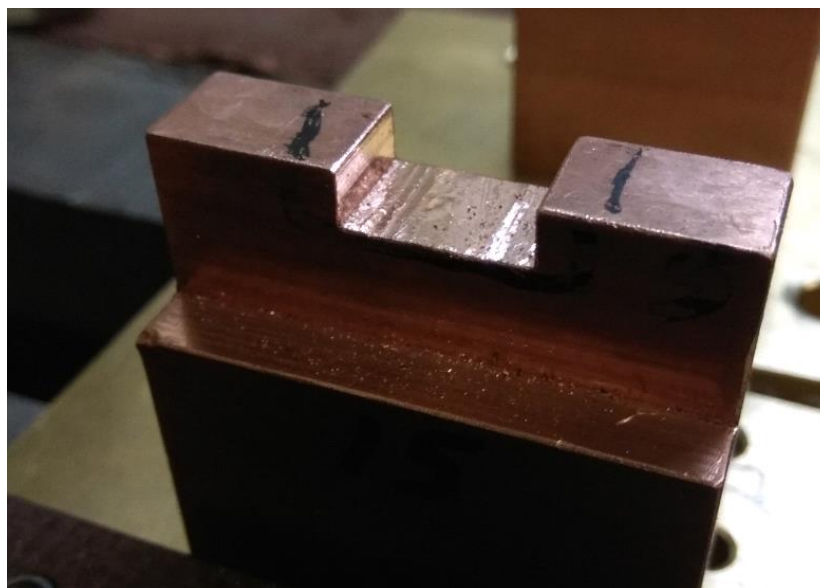
## 2.6. Suvirinimo problemų analizė

Pagrindinė dviejų detalių suvirinimo problema yra ta, kad atsiranda per didelis tarpelis tarp dviejų suvirintų detalių (3.12 ir 3.13 pav.). Tarpelio tolerancija yra  $0^{+0,5} \text{ mm}$ . Vidutiniškai pirmųjų suvirinimų metu buvo pasiekta 0,8-0,9 mm tarpelis tarp detalių.

Buvo nuspręsta, kad šią problemą galimai įtakoja šie veiksniai:

1. per dideli atskirų detalių matmenų nukrypimai;
2. netinkamas detalių bazavimas suvirinimo įrangoje;
3. netinkami suvirinimo režimai;
4. per maža detalių suspaudimo zona;
5. reikalinga papildoma reljefinė suvirinimo iškyša.

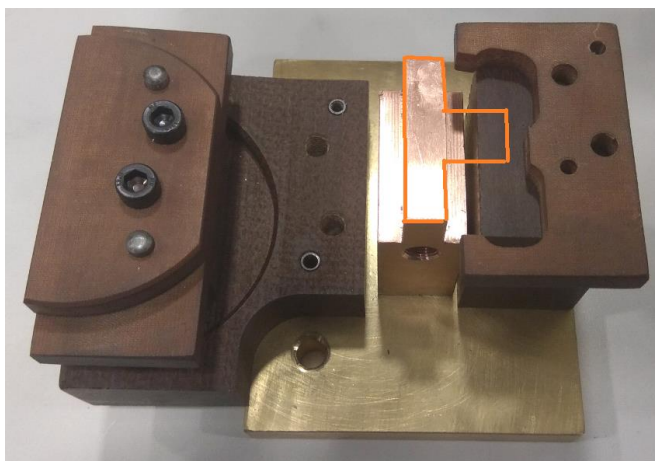
Šioms problemoms pašalinti buvo nuspręsta atlikti suvirinimo įrangos pakeitimus. Pirmiausia, kad sumažinti per didelę srovę, tekančią per detales, buvo sumažintas apatinio elektrodo lietimosi su detale plotas (2.11 pav.). Taip pro detales, suvirinimo metu pratekės mažesnė elektros srovė ir jas mažiau įkaitins.



2.11 pav. Suvirinimo įrangos apatinis elektrodas

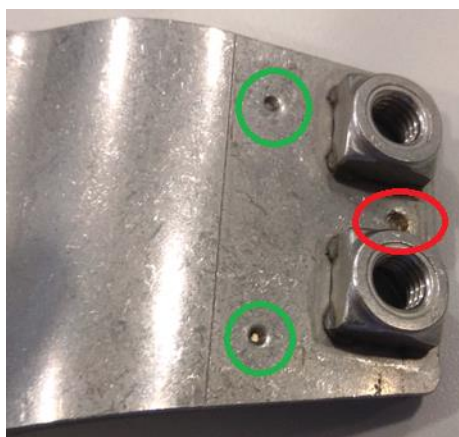
Kitas pakeitimas buvo atliktas, patraukiant apatinio elektrodo atramą arčiau detalės kontūro, nes kaip tik toje vietoje susidaro per didelis tarpelis tarp detalių. Pakeitus suspaudimo plotą, tikimasi gauti mažesnę suvirinimo tarpelį tarp detalių (2.12 pav.).

Pirminis detalių suvirinimo įrangos variantas buvo toks, kad abi detalės būtų orientuojamos kontūru. Kadangi detalių kontūrų pozicijos tolerancija yra  $\pm 0,5 \text{ mm}$ , tai detalės nebus suvirinamos tiksliai. Suvirinimo tikslumui padidinti, detalių centravimas ir orientavimas buvo perkeltas į skylės. Naudojant du cilindrinis pirštus, kurių viršūnės yra kūgiai, kad būtų galima uždėti detalę su veržlėmis. Detalių skylių skersmenys yra kertami  $\varnothing 10 \text{ mm}$ , todėl centravimo ir orientavimo pirštų skersmenys buvo padaryti  $\varnothing 9,95 \text{ mm}$  skersmens. Po vieną detales į suvirinimo įrangą įdėti yra nesunku, bet suvirintą gaminį nuimti nuo suvirinimo įrangos tampa problematiška. Todėl centravimo ir orientavimo pirštų skersmenys buvo sumažinti iki  $\varnothing 9,70 \text{ mm}$  skersmens. Todėl suvirintą gaminį yra nesunku nuimti nuo suvirinimo įrangos. Paprastai lengvesniam detalių nuėmimui yra daromas vienas cilindrinis, kitas kūginis pirštas, bet šiuo atveju to padaryti negalima, nes ant pirštų yra uždedamos dvi detalės su vienodo skersmens skylėmis.



2.12 pav. Detalių suvirinimo įranga

Kadangi naudojant du suvirinimo taškus detalės pilnai nesiliečia atraminiais paviršiais, buvo pasiūlyta pabandyti įvesti papildomą suvirinimo tašką ties detalių galais. Rezultatas gaunamas šiek tiek geresnis, negu naudojant pirminį variantą su dviem suvirinimo taškais, bet galutiniame variante nenaudojama.



2.13 pav. Suvirinimo iškyšų išdėstymas detalės paviršiuje



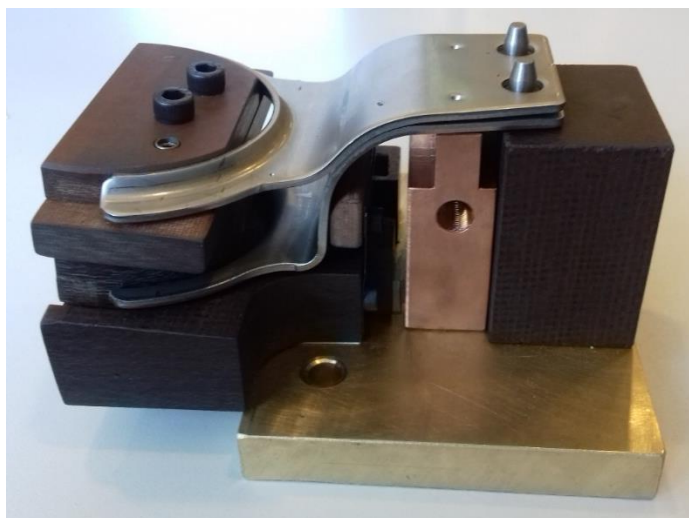
Dar vienas atliktas eksperimentas buvo, suvirinimo metu suspaudžiant detales su replėmis. Taip siekiant sumažinti atsirandantį tarpelį tarp detalių.



2.14 pav. Papildomas suvirinamų detalių suspaudimo vaizdas

Virinant detales, po to jas matuojant su koordinatine 3D matavimo mašina, buvo pastebėta, kad detalių geometriniai matmenys nėra stabilūs. Virinimo metu detalės turi laisvumo ir pilnai neprispaudžiamos prie įrangos centravimo dalies, jas reikia pristumti ranka, kad suvirintas gaminys būtų tikslesnis. Siekiant to išvengti buvo įvesta papildoma atrama, kuri prispaudžia detales ir taip jos visada suvirinamos stabiliai vienodai.

Galutinis dviejų detalių suvirinimo įrangos vaizdas pateiktas 2.15 pav. Galutiniame variante detalės yra užmaunamos ant centravimo ir orientavimo kaiščių, taip jos yra suvirinamos daug tiksliau negu tik orientuojant kontūru. Kaiščių skersmenys yra sumažinti lyginant su pirminiu jų projektavimo variantu, nes taip galima lengviau nuimti suvirintą gaminį.

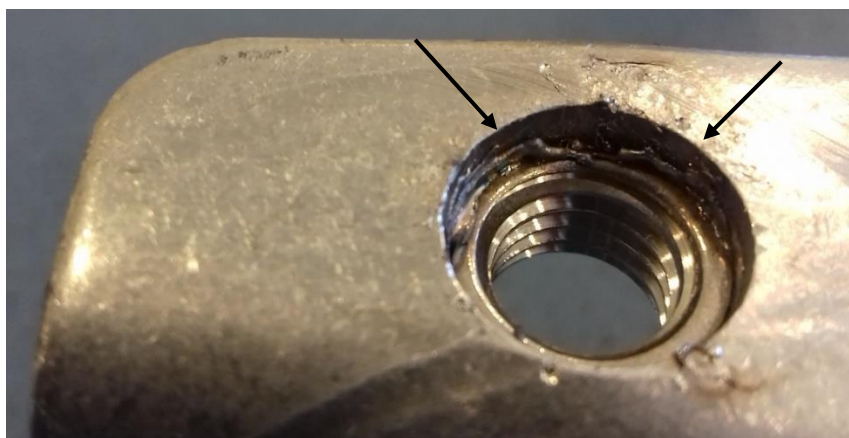


2.15 pav. Galutinis detalių suvirinimo įrangos vaizdas

### 3. Rezultatų analizė

#### 3.1. Veržlių nusukimo bandymas

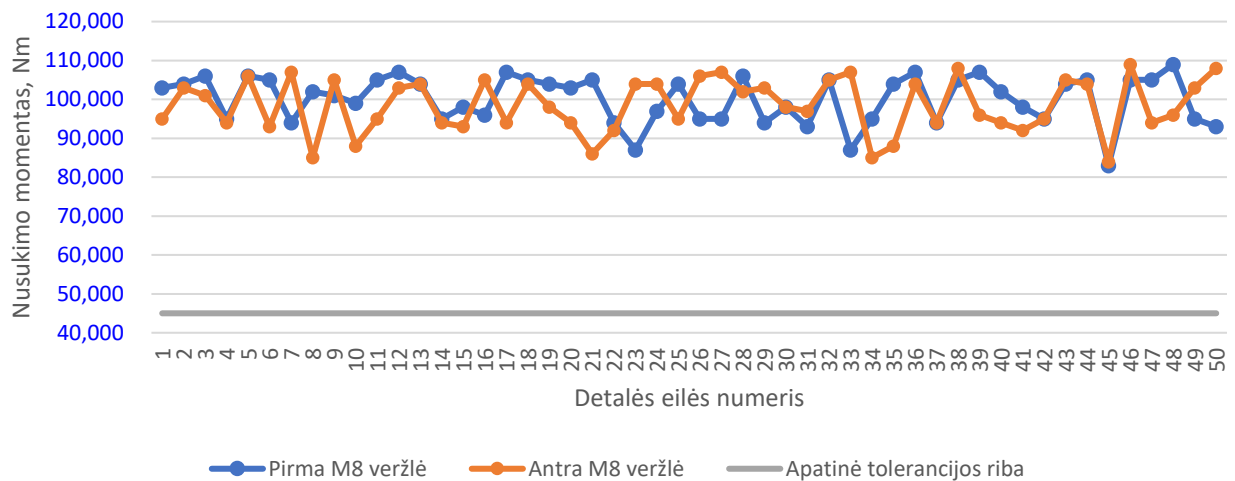
Viena iš veržlių privirinimo problemų yra ta, kad naudojant netinkamus suvirinimo režimus, veržlių išlydyta medžiaga pradeda lysti per šonus ir artėja prie veržlės sriegio. Jeigu ant sriegio bus virinimo pusrslų, jie trukdys įsukti varžtą. Naudojant per mažus virinimo parametrus, veržlės bus per silpnai privirintos. Jos neatlaikys minimalaus užsakovo reikalaujamo veržlių nusukimo momento, kuris yra 45 Nm.



3.1 pav. Veržlės privirinimo pusrslų vaizdas

Pirmasis bandymas buvo atliktas dviejų M8 veržlių nusukimui. Veržlės buvo privirintos naudojant optimalius virinimo parametrus (3.1 lentelė). Bandymui buvo naudojama 50 detalių. Minimalus užsakovo reikalaujamas M8 veržlių nusukimo momentas yra 45 Nm. Kaip matyti iš grafiko (3.2 pav.), abiejų veržlių nusukimo momentas svyruoja apie 96 Nm maždaug  $\pm 13$  Nm ribose, tai rodo, kad veržlės yra privirintos su maždaug 50 Nm atsarga, tai leidžia užtikrinti, kad gaminyje garantuotai atliks savo funkciją. Maksimalus pirmos ir antros veržlės nusukimo momentas yra 109 Nm, minimalus pirmos veržlės nusukimo momentas yra 83 Nm, o antros veržlės – 84 Nm. Rezultatai beveik identiški. Taip pat buvo apskaičiuoti statistiniai kokybės rodikliai  $C_p$  ir  $C_{pk}$ . Pirmosios veržlės  $C_p = 2,804$  ir  $C_{pk} = 2,715$ , antrosios veržlės  $C_p = 2,516$  ir  $C_{pk} = 2,441$ . Norint apskaičiuoti  $C_p$  ir  $C_{pk}$  rodiklius yra reikalinga ir viršutinė tolerancijos riba. Šiuo atveju ji buvo pasirinkta 150 Nm, atsižvelgiant į tai, kad skirtumas tarp viršutinės ir apatinės tolerancijų ribų būtų apie 100 Nm. Šiuo atveju  $C_{pk}$  rodiklis nėra aktualus, nes jis parodo, kaip reikšmės yra arti tolerancijos ribų. Todėl svarbiausias rodiklis yra  $C_p$ , kuris parodo kaip išmatuotos reikšmės tolygiai ir arti viena kitos yra išsidėsčiusios. Statistiniai kokybės rodikliai yra labai aukšti, nes reikšmės yra didesnes negu 1,67, o tai minimali reikalaujama riba serijinei gamybai automobilių pramonėje. Vadinasi, procesas yra tiksliai koncentruotas.





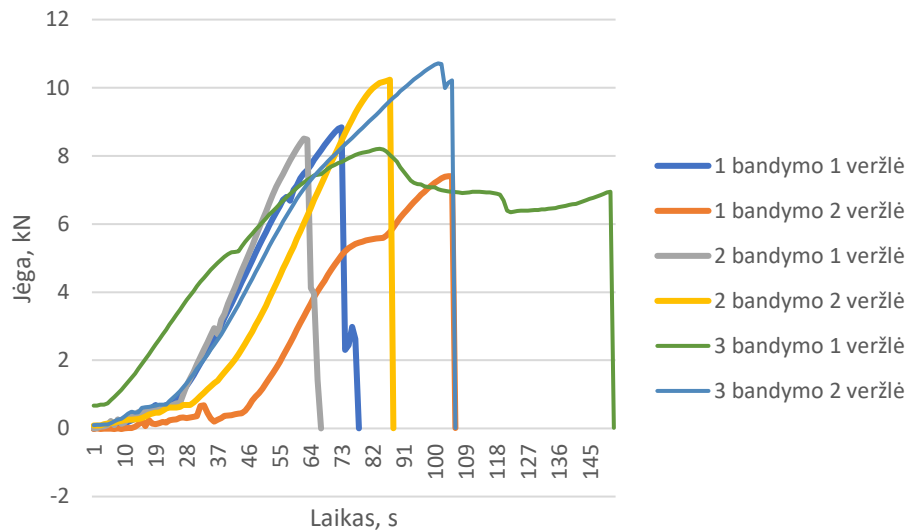
3.2 pav. M8 veržlių nusukimo grafikas

Iš 3.2 pav. grafiko matyti, kad kiekvieno gaminio veržlės nusukimo momentas yra panašus. Tai rodo, kad prie detalės veržlės yra privirinamos stabiliai vienodai. Žinoma, kai kuriais atvejais veržlės yra privirintos nevienodai ir suvirinimo procesas nėra absoliučiai stabilus. Taip gali būti dėl vienu metu per kontaktus tekančio nevienodo dydžio srovės stiprio. Suformuotų reljefinių iškyšų viršūnių paviršių plotai kai kuriais atvejais gali būti nevienodi, todėl skiriasi ir srovės stiprio dydis. Bet gautų nusukimo momento rezultatų dydžiai yra pakankami, kad būtų išlaikyti minimalūs keliami reikalavimai veržlių nusukimui.

### 3.2. Veržlių nuplėšimo bandymas

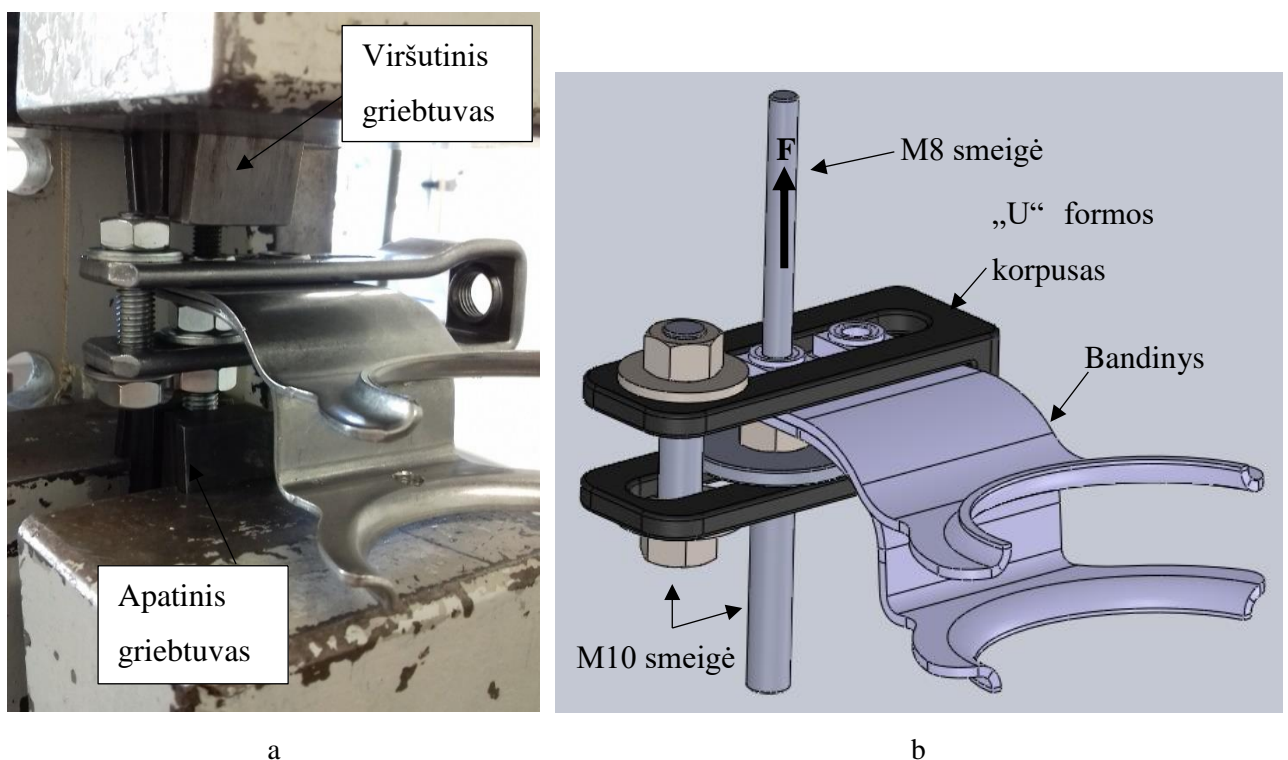
Norint patikrinti privirintų veržlių stiprumą, vien tik nusukimo bandymų neužtenka. Reikalingi ir nuplėšimo bandymai, nes gaminyje veržlės gali būti veikiamos įvairių krypčių jėgomis. Taip pat šiuo bandymu yra patikrinamas ir sriegio stiprumas. Kadangi veikianti tempimo jėga gali deformuoti ir sriegį, taip įsuktas varžtas nesilaikys, nors veržlė nebus nutraukta.

Atliekant veržlių nuplėšimą, buvo naudojami trys gaminiai, prie kiekvieno iš jų buvo privirintos dvi M8 veržlės. Iš grafikų (3.3 pav.) galima matyti, jog kiekvieno gaminio veržlės nuplėšiamos esant skirtingo dydžio jėgoms. Toks pat rezultatas buvo gautas ir atliekant veržlių nusukimą ir matuojant nusukimo momentą (3.2 pav.). Maksimali nuplėšimo jėga buvo gauta nuplėšiant 3 bandymo 2 veržlę, jėga lygi 10,716 kN, o minimali jėga gauta nuplėšiant 1 bandymo 2 veržlę, jėga lygi 7,404 kN. Bandymų rezultatų maksimalios ir minimalios reikšmių skirtumas yra 3,312 kN. 3 bandymo 1 veržlės nuplėšimo grafikas skiriasi nuo kitų, nes buvo skirtingai įtvirtintas gaminyje: įranga buvo užveržta jau naudojant pradinę 0,9 kN jėgą, taip pat veržlė nenutrūko iškart, pirmiausia apie 82 sekundę buvo nutraukti du veržlės privirinimo kontaktai, ties 150 sekunde likusieji du, taip pat bandymo metu tvirtinimo įranga buvo lenkiama šiek tiek mažiau nei kituose bandymuose.



3.3 pav. M8 veržlių nuplėšimo grafikas

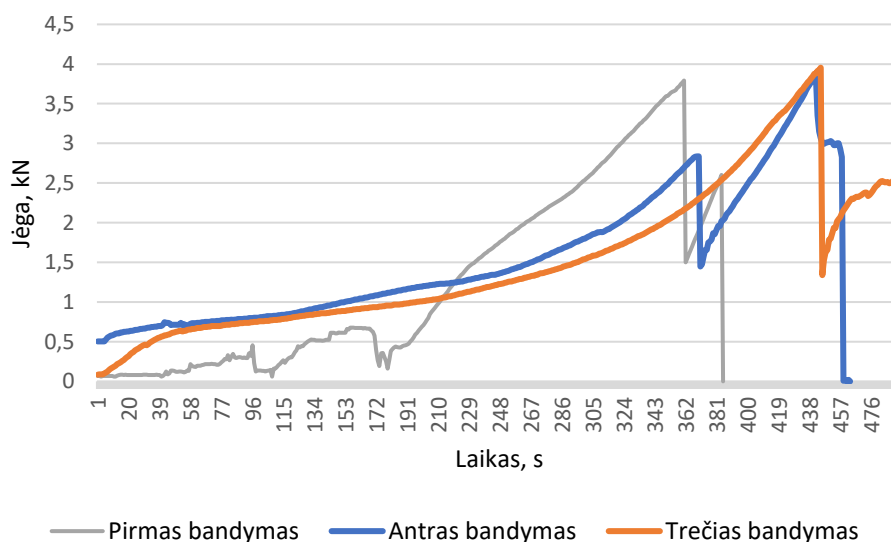
Norint atlikti veržlių nuplėšimą nuo gaminio, viską reikia įtvirtinti. Kadangi į nuplėšimo įrangos griebtuvus nebuvo galima įstatyti bandinio, buvo suprojektuota pagalbinė įranga (3.4 b pav.). Į „U“ formos korpusinę detalę yra įstatomas gaminys, prie korpuso apačios yra prisukama M10 smeigė, jos kita pusė yra įstatoma į nuplėšimo įrenginio apatinį griebtuvą. Korpusas sutvirtinamas papildoma M10 smeige, kad veikiant jėgai neatsilenktų. Į veržlę yra įsukama M8 smeigė, jos kita pusė yra įstatoma į viršutinį nuplėšimo įrangos griebtuvą. Naudojant šią (3.4 pav.) papildomą nuplėšimo įrangą, buvo nuplėštos M8 veržlės. 3.4 pav. pavaizduota veržlių nuplėšimui skirta įranga: a – reali panaudota įranga; b – suprojektuotas įrangos 3D modelis.



3.4 pav. Veržlių nuplėšimui skirta įranga

### 3.3. Detalių nuplėšimo bandymas

Buvo atliktas gaminį sudarančių dviejų detalių nuplėšimo bandymas. Bandymui naudojami trys gaminiai. Dvi detalės suvirintos dviem kontaktais, grafike (3.5 pav.) galima matyti kiekvieno iš jų nutrūkimą. Maksimali reikalinga jėga detalių nuplėšimui yra 3,954 kN. Minimali reikalinga jėga detalių nuplėšimui yra 3,792 kN. Iš grafiko matyti, kad visų bandymų nuplėšimo jėga yra panaši. Abu kontaktai vienu metu nenutrūkdavo todėl, kad jie tuo pačiu metu buvo veikiami nevienodo dydžio jėga. Taip pat pirmo ir antro kontaktų stiprumas nėra vienodas. Vienuose gaminiuose stipresnis pirmas kontaktas, o kituose – antras. Tai rodo, kad suvirinimo metu kontaktus veikia nevienodo dydžio suvirinimo parametrai. Nuo 1 iki 250 bandymo sekundės, detalės buvo atlenkiamos ir suvirinimo kontaktai veikiami nedidele jėga. Tik po to, kai detalės būdavo atlenktos, suvirinimo kontaktus tiesiogiai veikdavo jėga. Pirmojo bandymo grafikas šiek tiek skiriasi nuo kitų, nes buvo naudojama kitokia įranga, kuri skirtingai veikė reikšmių išsidėstymą grafiko pradžioje.



3.5 pav. Gaminį sudarančių detalių nuplėšimo grafikas

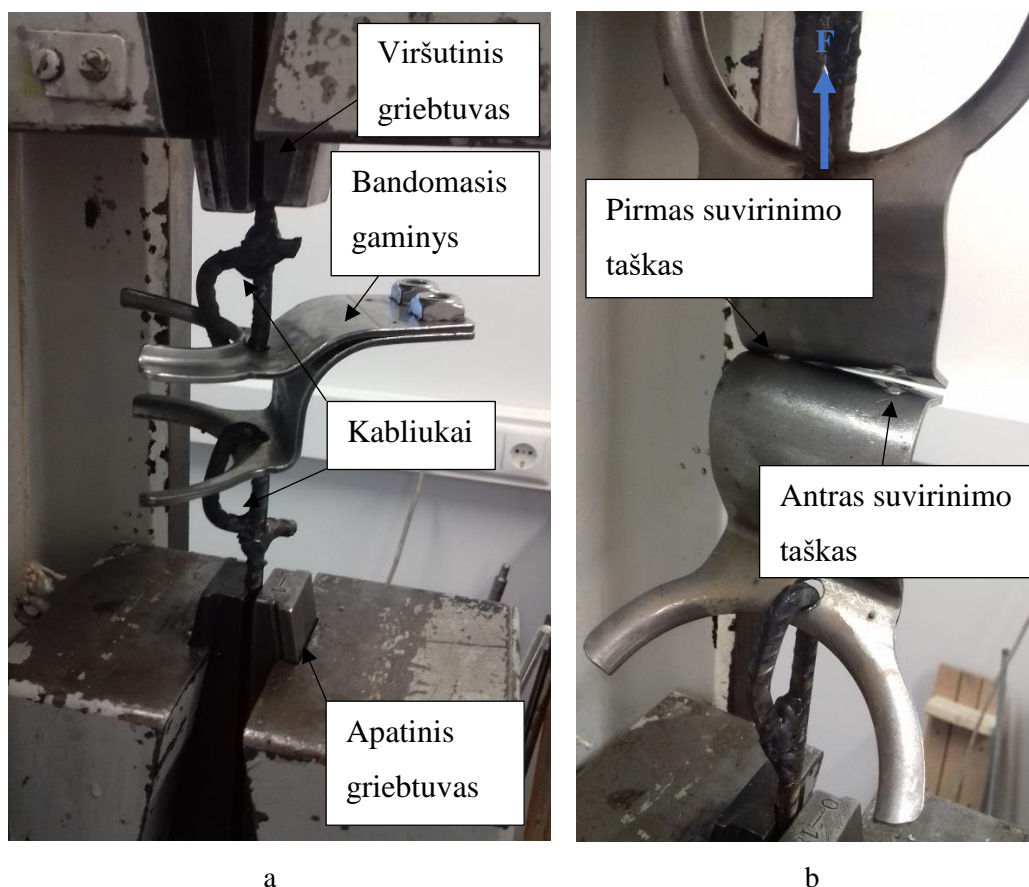
Dviejų detalių, sudarančių gaminį, nuplėšimui buvo atliktas pasiruošimas bei pagaminta įranga (3.6 pav.). Pirmiausia kiekvienoje detalėje buvo išgręžtos 10 mm skersmens kiaurymės. Jos buvo panaudotos savadarbių kabliukų užkabinimui. Kabliukai pagaminti iš 6 mm skersmens armatūros strypo. Kad detalės ant kabliukų laikytųsi tvirtai ir tempimo metu neatsilenktų, jie buvo užlenkti ir suvirinti. Visi šie sprendimai atlikti ir nustatyti bandymo metodais.

Visi sprendimai, kurie nepavyko:

1. naudotos 6 mm skersmens smeigės. Bandymo metu nukirptos;
2. naudotos 8 mm skersmens smeigės. Bandymo metu nukirptos;
3. naudotos 10 mm skersmens smeigės. Bandymo metu nukirptos;
4. naudoti 4 mm skersmens kabliukai. Bandymo metu atlenkti ir/ar nukirpti;
5. naudoti 6 mm skersmens kabliukai. Bandymo metu atlenkti.

Bandymams buvo naudojami realūs detalių gaminiai, o ne tuo pačiu būdu suvirintos bandomosios plokštelės. Šio pasirinkimo tikslas imituoti realią gaminio panaudojimo situaciją, antroji priežastis – specialių gaminių gamybos kaštai yra per dideli.

3.6 pav. pavaizduotas gaminių sudarančių detalių nuplėšimas: a – gaminys paruoštas nuplėšimui; b – bandymo metu nuplyšęs vienas iš suvirinimo taškų.



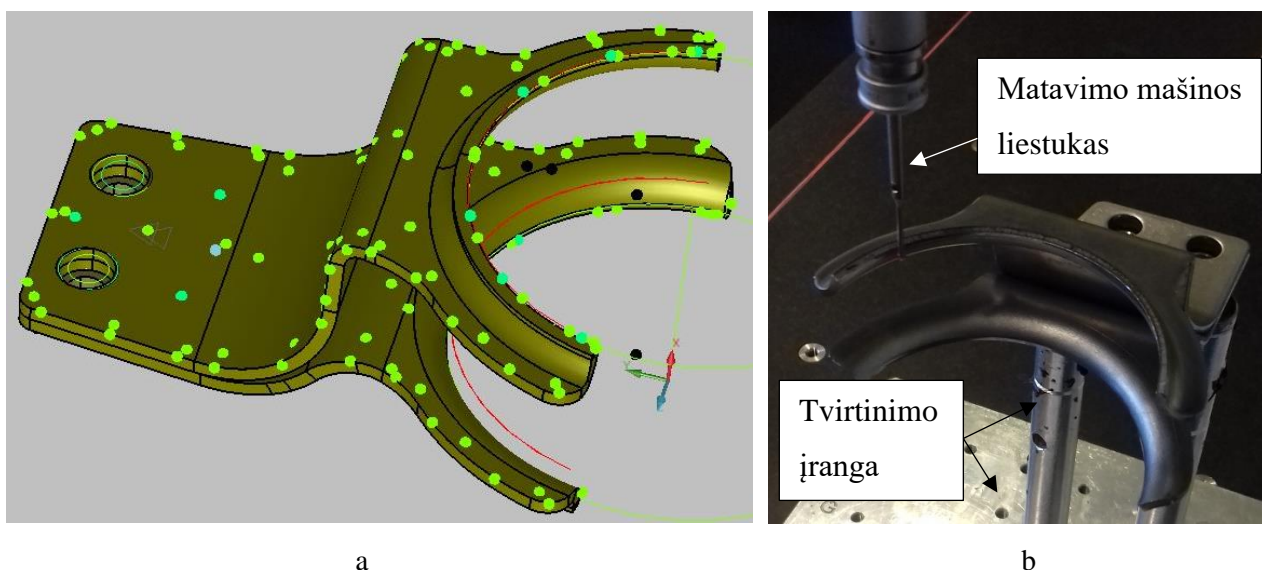
3.6 pav. Gaminį sudarančių detalių nuplėšimas

### 3.4. Gaminio matmenų patikrinimas

Viso gaminio gamybos proceso metu buvo stebimi jo statistiniai matmenys, kaip jie keičiasi atliekant štampos ir įrangos korekcijas bei pakeitimus. Ar gaminys atitinka jam keliamus matmenų reikalavimus yra patikrinama atliekant koordinatinį 3D matavimą. Nominalios matmenų vertės yra imamos iš 3D

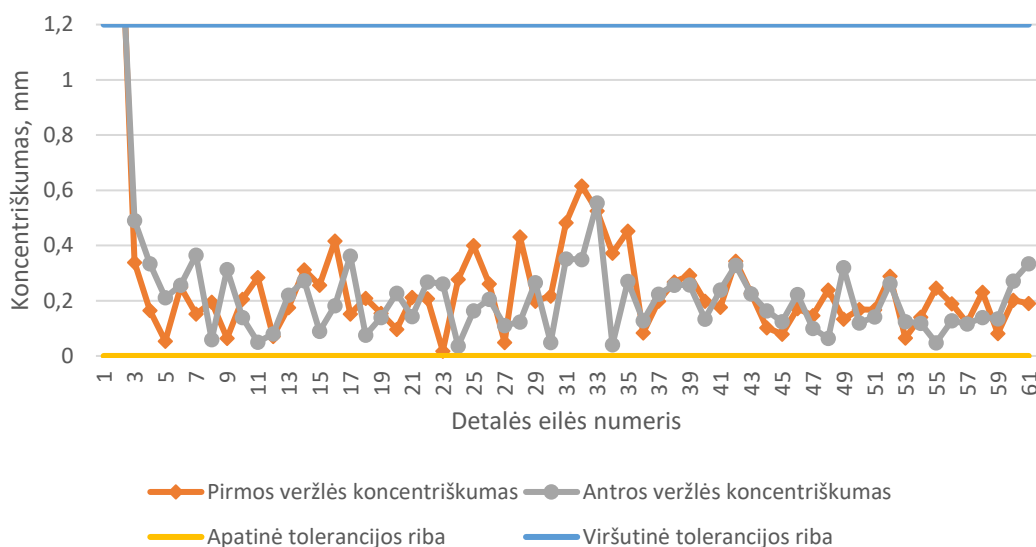
modelio ir darbo brėžinio. Galutinis gaminys privalo atitikti jam keliamus matmenų reikalavimus, priešingu atveju jo nebus galima įstatyti į surinkimo mazgą ir/arba jis neatitiks jam keliamų standumo reikalavimų, ar pažeis kitas jungtis surinkimo mazge.

3.7 b pav. pavaizduotas gaminio matavimas, naudojant koordinatinę 3D matavimo mašiną. 3.7 a pav. žali taškai, tai vietos, kurios matuojamos detalėje. Iš pamatuotų taškų yra kuriami kiti elementai, kuriuos naudojant galima nustatyti reikalaujamų matmenų reikšmes. Taškų spalva nėra atsitiktinė, žalia spalva rodo, jog išmatuota reikšmė yra tolerancijų ribose, o raudona – virš tolerancijų ribų. Atitinkami atspalviai leidžia orientuotis kaip arti viršutinės ar apatinės tolerancijos ribos yra išmatuota reikšmė. Pilna gaminio matavimo ataskaita pateikta 3-iame priede.



3.7 pav. Koordinatinis gaminio matavimas

3.7 pav. pavaizduotas koordinatinis gaminio matavimas: a – matuojamų taškų debesis ir 3D modelis; b – gaminio matavimas naudojant 3D koordinatinę matavimo mašiną. Viso gaminio įvedimo į gamybos procesą metu buvo matuojami atitinkami kiekiai detalių, pagal kuriuos galima spręsti kaip keičiasi gaminio kokybiniai parametrai atliekant vienokius ar kitokius pakeitimus. Viso buvo matuota 61 gaminys. Kaip matyti iš 3.8 pav. pačioje gamybos pradžioje veržlės būdavo privirinamos nekongcentriškai skylėms. Nukrypimai būdavo net 1,4-1,6 mm skersmeniui. Keičiant įrangą ir detalių bazavimą joje koncentriškumas buvo sumažintas iki 0,4 mm. Norint patikrinti ar surivavimo įranga gerai pagaminta, buvo atliekami ir jos matavimai, bei pakeitimai pagal gautus rezultatus. Po galutinių pakeitimų veržlių privirinimo koncentriškumas sumažintas iki 0,3 mm. Abejoms veržlėms jis yra apylygis, nors veržlės privirinamos vienu kartu, pasitaikydavo ir atveju, kai koncentriškumas būdavo išmatuojamas nevienodas. Veržlių koncentriškumas gaunamas stabilus atlikus 38-40 detalių matavimų.

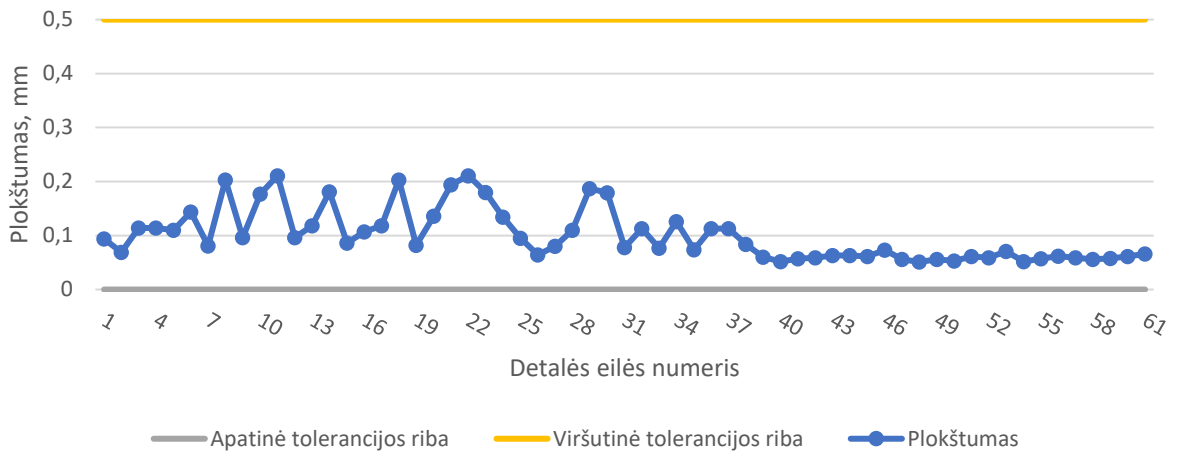


3.8 pav. M8 veržlių ir kiaurymių koncentriškumo grafikas

Viso detalių gamybos proceso metu buvo stebimas ir galutinio gaminio bazinės plokštumos plokštumas. Kadangi detalės plokštuma matavimo metu yra priimama kaip bazinė ir nuo jos atliekami visi tolimesni matavimai. Vadinasi ji turi būti lygi, nes esant net ir nedideliems nukrypimams tolimiausioje gaminio vietoje gaunami pakankamai dideli nukrypimai ir taip iškraipomi visi matavimo rezultatai. Iš nevienodame aukštyje išsidėsčiusių taškų sukurta plokštuma gaunama pasvirusi kampų, nors ji teoriškai turi būti horizontali, todėl programiškai yra paverčiama ir visa matuojama detalė. Dėl to matavimo rezultatai yra iškraipomi.

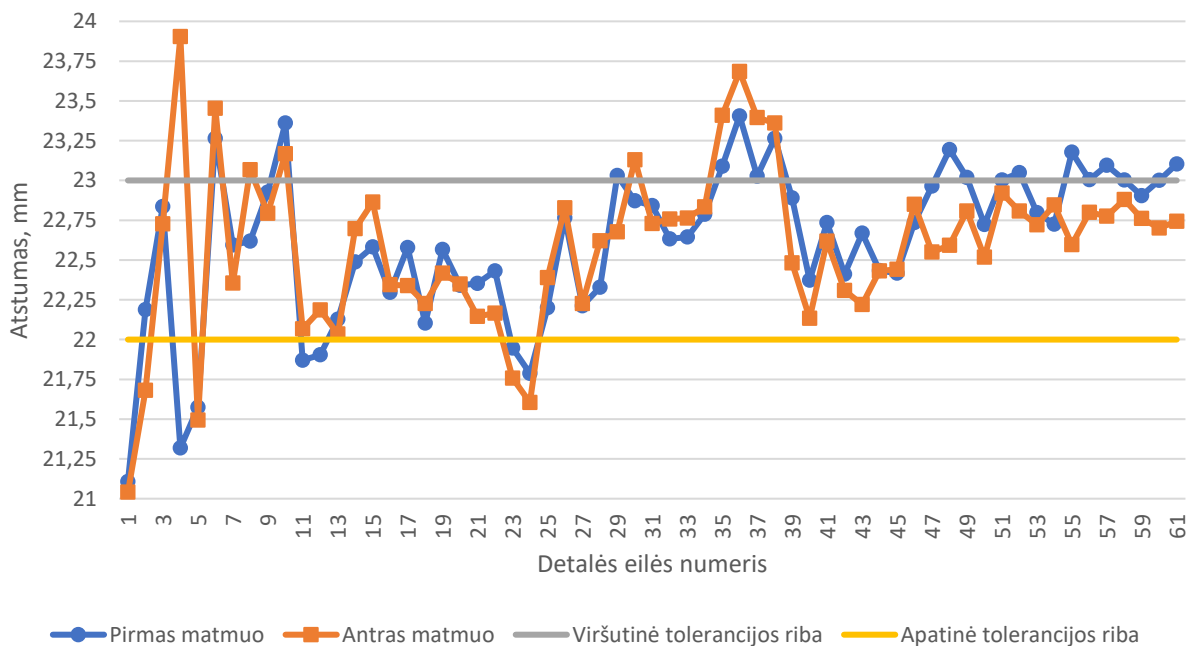
Iš 3.9 pav. matyti kaip pačioje gamybos pradžioje detalė buvo nelygi, jos plokštumos banguotos. Nukrypimai siekė 0,25 mm, tai neviršijo tolerancijos ribos, bet pats procesas buvo labai nestabilus. Vienos detalės buvo gaunamos plokščios, kitos su didesniais nukrypimais. Po 37 matavimų detalių gamybos procesas tampa stabilus, nukrypimai neviršija 0,1 mm, tai labai geras rezultatas. Jis buvo pasiektas atliekant štampos pakeitimus: buvo didinamas lenkimo kampas, kad individualios detalės būtų kuo geresnės, taip pat didinamas suleidimas, kad labiau išformuoti detalių plokštumas. Tarpelio tarp detalių sumažinimui buvo pakeista suvirinimo įrangos atrama, ji padidinta, taip pat padidinta ir suspaudimo jėga virinant.





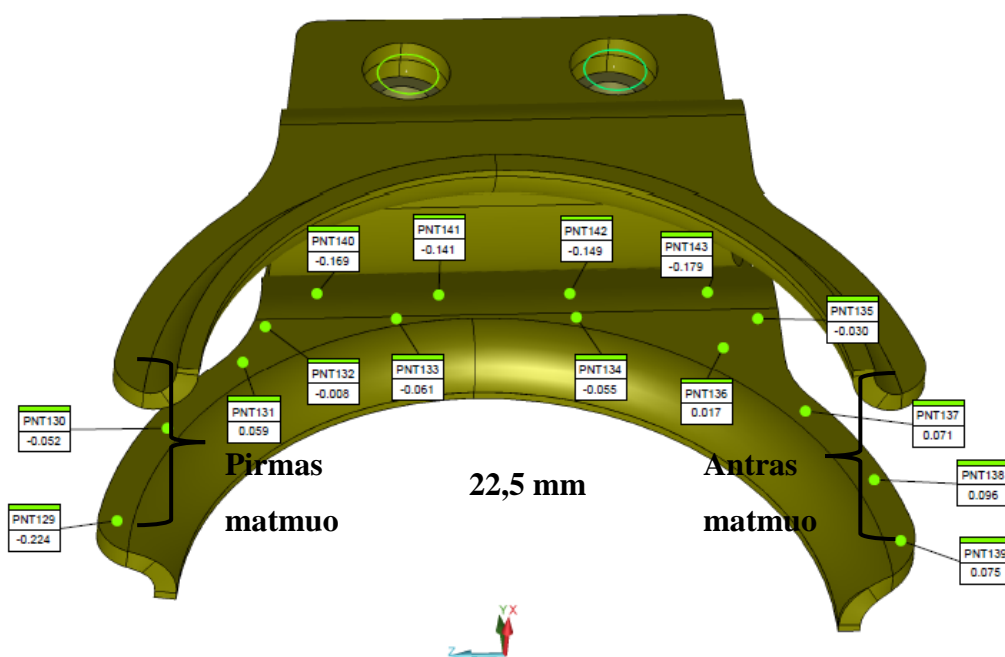
3.9 pav. Gaminio bazinės plokštumos plokštumo grafikas

Kitas labai svarbus gaminio kokybinis parametras yra atstumas (22,5 mm) tarp dviejų suvirintų detalių plokštumų (3.11 pav.), kurios atlieka laikiklio funkciją transporto priemonėje. Šis atstumas buvo matuotas dviejuose tolimiausiuose detalės taškuose, norint įsitikinti ar detalės nėra pasvirusios, kreivai suvirintos ar sulankstytos. Kaip matyti iš grafiko (3.10 pav.) pirmieji 40 matavimų nėra vienodi, tai rodo, kad procesas nėra stabilus. Išmatuoti matmenys tame pačiame gaminyje taip pat nėra vienodi, kai kurios detalės suvirintos kreivai arba sulankstytos po virinimo, dedant jas į kontenerius. Dauguma išmatuotų atstumų yra virš tolerancijų ribų, bet atstumas tarp plokštumų centrų yra tolerancijų ribose, vadinasi detalė yra tinkama surinkimo mazge. Šis 22,5 mm matmuo yra glaudžiai susijęs su tarpeliu tarp detalių bazinių plokštumų, kuo jis didesnis, tuo 22,5 mm matmuo yra labiau nukrypęs nuo nominalios vertės.



3.10 pav. Matmens 22,5 mm grafikas

3.11 pav. pateiktas 22,5 mm matmens matavimo eskizas, matmuo matuojamas dviejuose tolimiausiose gaminio vietose. Tai yra atstumas tarp dviejų taškų. Bendras atstumas sukuriamas iš visų taškų, esančių tose plokštumose. Eskize pavaizduoti pirmosios detalės plokštumos taškai.



3.11 pav. Matmens 22,5 mm matavimo eskizas

Kaip matyti iš visų atliktų kokybinių matavimų, visi matuoti matmenys tarpusavyje yra susiję. Bazinės plokštumos nelygumai turi įtakos visiems detalės matavimams, taip pat virinamų veržlių koncentriškumui, 22,5 mm matmuo tarp detalės plokštumų atliekančių laikiklio funkciją ypač priklauso nuo tarpelio tarp detalių bazinių plokštumų.

### 3.5. Gaminio geometrinės formos analizė

Pirmosios suvirintos detalės turėjo pakankamai didelius geometrinių matmenų nukrypimus, kurie atsiranda dėl prastos įrangos kokybės, netinkamų individualių, nesuvirintų detalių matmenų, netinkamai parinktų suvirinimo režimų (3.12 pav.).



3.12 pav. Tarpelio tarp suvirintų detalių vaizdas





3.13 pav. Tarpelio tarp suvirintų detalių vaizdas

Galutinis rezultatas (3.13 pav.) – naudojant geriausiai reikalavimus atitinkančią suvirinimo įrangą ir suvirinimo parametrus, gaunamos detalės, su geometriniais nukrypimais, kurie yra tolerancijų ribose.

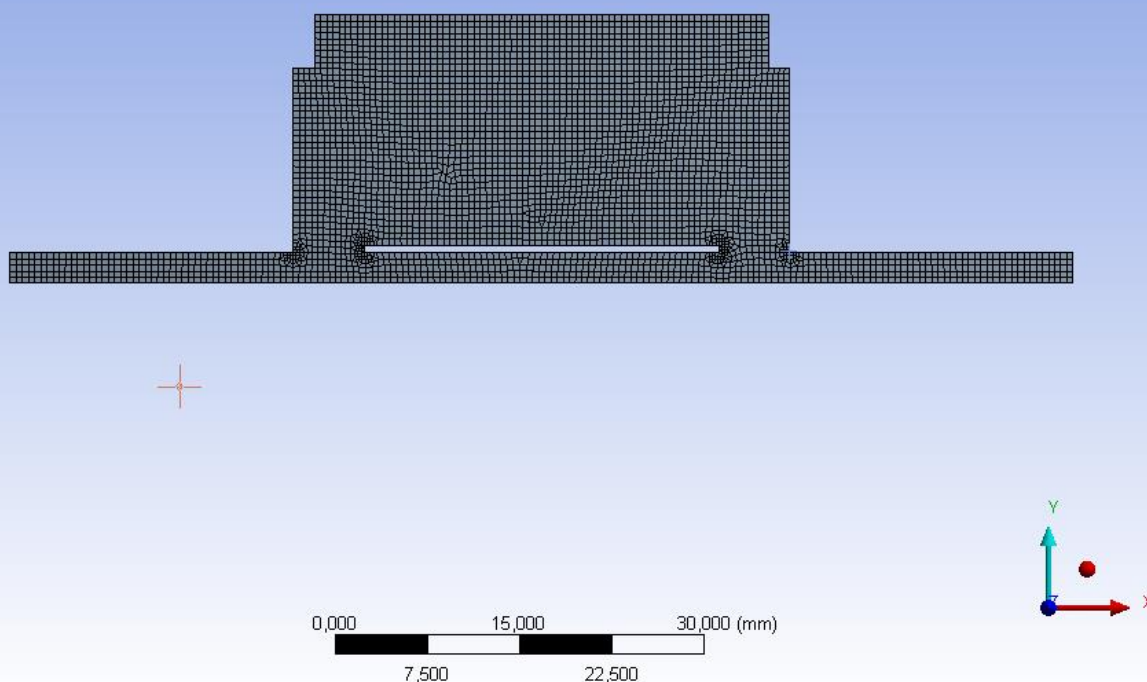
Naudojami optimalūs suvirinimo parametrai pateikti 3.1 lentelėje. Jie buvo parinkti atliekant nemažai bandymų. Keičiant vienus parametrus, o kitų nekeičiant buvo tikrinama suvirinimo kokybė.

3.1 lentelė. Optimalūs suvirinimo parametrai

Kas virinama	Veržlės	Abi detalės	Teorinės reikšmės [13]
Įtaiso galia	250 KVA	250 KVA	-
Srovės stipris	36 % (9 kA)	25 % (6 kA)	6-12 kA
Prispaudimo laikas prieš suvirinimą	35 ms	40 ms	-
Impulsai	1	1	1
Virinimo laikas	4 ms	15 ms	2-20 ms
Suspaudimo laikas po suvirinimo	15 ms	15 ms	10 ms
Prispaudimo jėga	4 kN	4 kN	<5,6 kN

### 3.6. Skaitinis modeliavimas

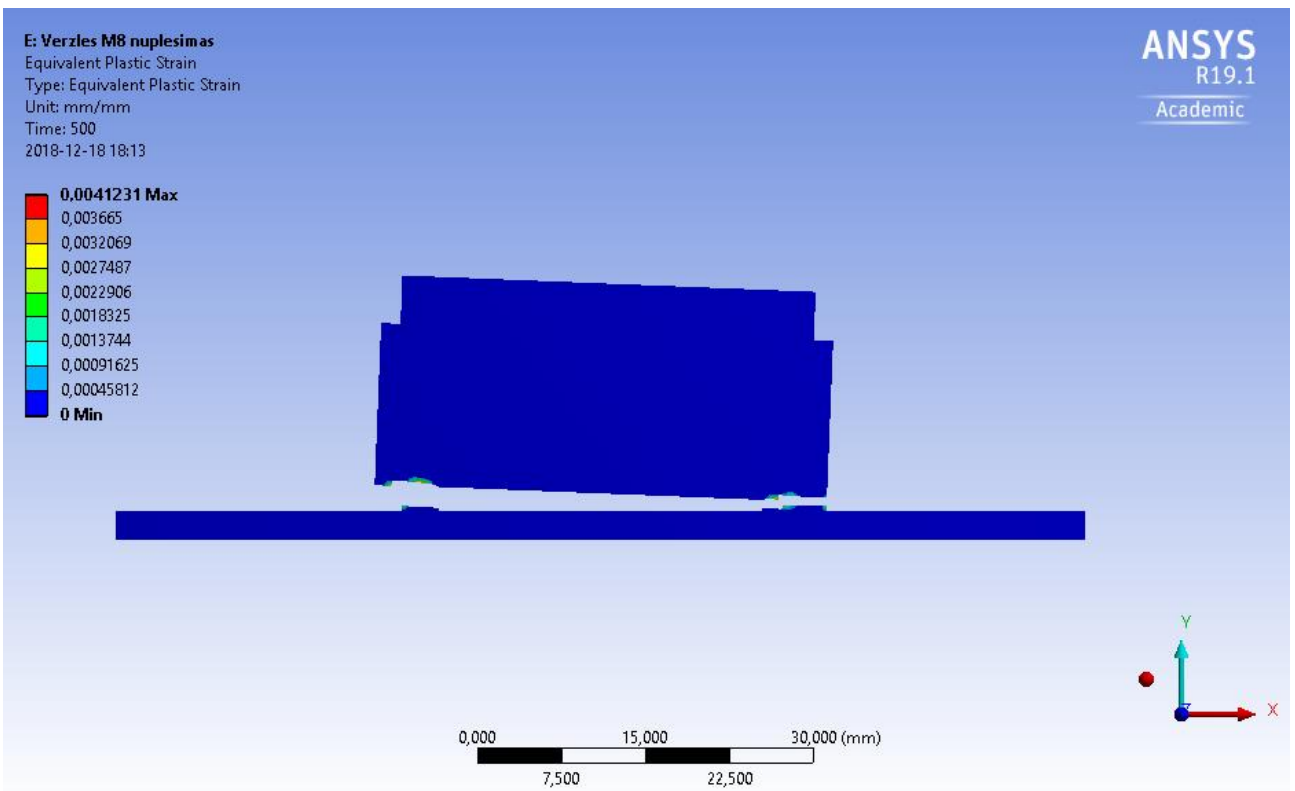
Baigtinių elementų metodas, tai skaitinis modeliavimas inžinerinėms ir matematinėms problemoms spręsti, paprastai tai mechaninės, šiluminės, hidraulinės, elektromagnetinės ar fizikinės sistemos uždaviniai. Simuliacijos metu atliekami diferencialinių lygčių dalinių išvestinių skaičiavimai. Skaičiavimo metu didelė sistema yra padalinama į mažesnes sistemas, baigtinius elementus. Taip sudaroma didelė skaičiuojamoji lygčių sistema. Privirtos veržlės nuplėšimo bandymas buvo atliktas naudojant inžinerinės simuliacijos programinę įrangą ANSYS/Static Structural. Skaičiavimai baigtinių elementų metodu atlikti naudojant tokį patį 3D modelį kaip ir realių bandymų metu. Skaičiuojamajame modelyje baigtinių elementų tinklelis (3.14 pav.) buvo parinktas toks, kad sudarytų elementų kiekis neviršytų 32 000 elementų, tai yra maksimalus leidžiamas kiekis akademinėje versijoje. Tankesnis tinklelis parinktas kontaktų vietose.



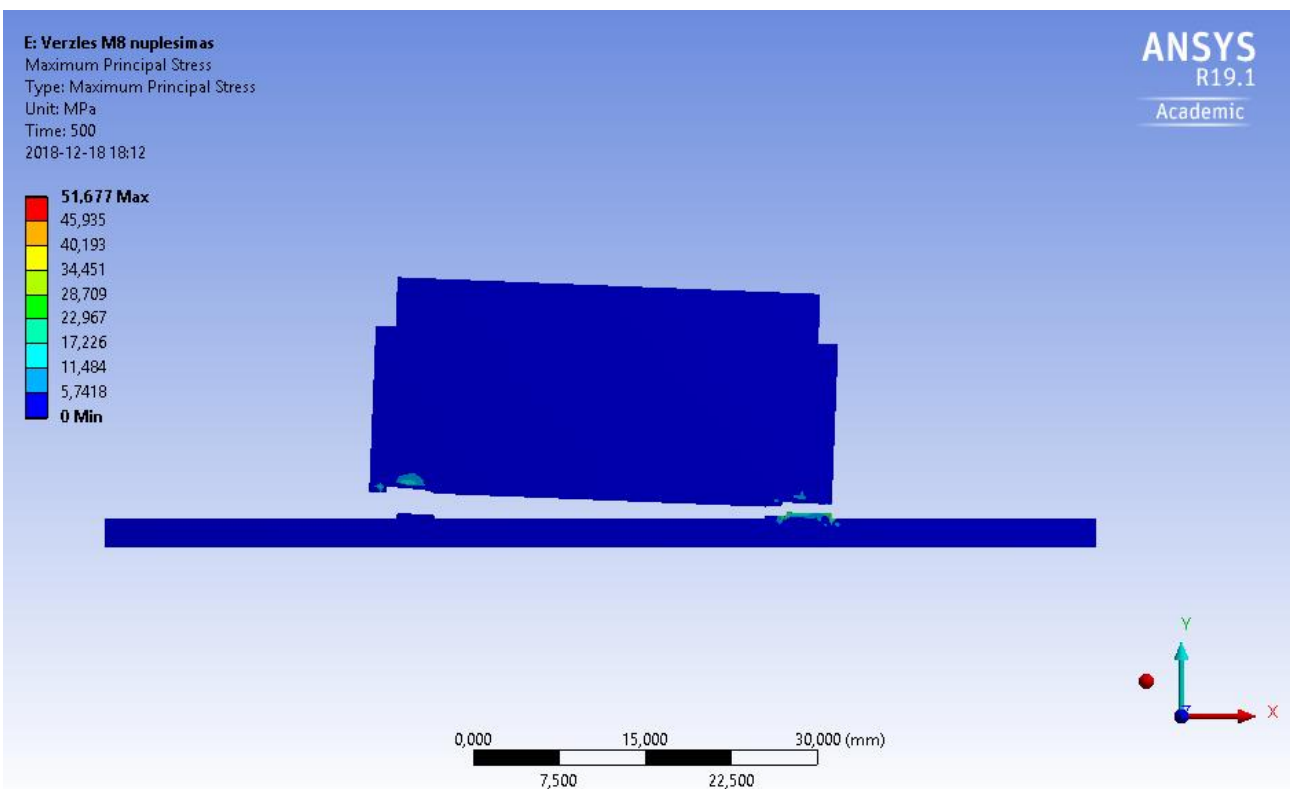
3.14 pav. Baigtinių elementų tinklelis

Skaičiuojamajame modelyje naudoti du 3D kūnai, tai pagrindo plokštelė (imituojanti gaminių sudarančią detalę) ir prie jos privirinta M8 veržlė. Šiuos du modelius jungia 4 taškinio suvirinimo kontaktai. Nejudantis įtvirtinimas parinktas pagrindo plokštelė, o apkrova veikia veržlę, šiuo atveju apkrova buvo nurodyta kaip veržlės poslinkis. Skaičiuojamasis modelis yra supaprastintas dėl akademinės versijos limitų. Modelis padalintas pusiau ir nurodyta simetrinė apkrova, kadangi veržlė yra simetriška. Norint atlikti veržlės nuplėšimą nėra būtina naudoti „Explicit Dynamics“ aplinką, tai galima padaryti ir „Static Structural“ aplinkoje. Tam reikia naudoti APDL komandą „ekill“. Ši komanda pašalina elementus iš skaičiuojamojo modelio, kurie pasiekia trūkimo kriterijų ir skaičiavimai tęsiasi toliau. Skaičiavimo laikas buvo pasirinktas 500 sekundžių, nes po kiekvienos skaičiavimo sekundės elementai, kurie viršija stiprumo ribą yra eliminuojami iš skaičiuojamojo modelio ir toliau skaičiuojama kita simuliacijos sekundė.

Po atlikto veržlės nuplėšimo bandymo plastinių deformacijų ir maksimalių įtempių rezultatai pateikti 3.15 ir 3.16 paveiksluose, bei 2-ame priede, juose nurodytas pjūvis per taškinio suvirinimo kontaktų vietas. Kaip matyti plastinė deformacija nėra didelė, nes veržlė nutraukiama pakankamai greitai.

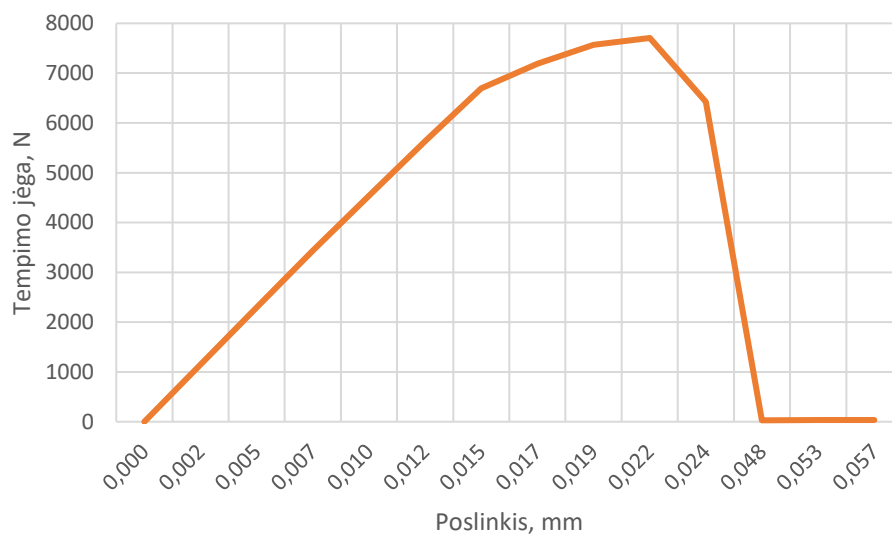


3.15 pav. Gaminio plastinė deformacija po nuplėšimo



3.16 pav. Gaminio maksimalūs įtempiai po nuplėšimo

Atlikto skaitinio modeliavimo tempimo jėgos nuo poslinkio grafikas pateiktas 3.17 paveiksle. Iš grafiko matyti, kad maksimali tempimo jėga gauta 7706,6 N, o poslinkis 0,05 mm. Simuliacijoje gautos jėgos dydis yra labai panašus į atliktų nuplėšimo bandymų rezultatus. Skaičiavimų tikslumą mažina: per mažas naudotų baigtinių elementų kiekis; netiksliai apibrėžtas kontaktų plotas ir neįvertinti galimi medžiagos savybių pasikeitimai juose.



3.17 pav. Tempimo jėgos nuo poslinkio grafikas

## Išvados

1. 3D matavimams buvo pasirinkti trys pagrindiniai detalės matmenys: veržlių koncentriškumas, bazės plokštumas ir atstumas tarp detalių plokštumų. Atlikus seriją matavimų, buvo nustatyta, kad po 40 bandymų (7 mėnesių bandymų) detalių matmenys tampa stabilūs bei tolerancijų ribose. Tai buvo pasiekta tobulinant šampus ir suvirinimo įrangas, padengiant formavimo elementus, keičiant suvirinimo parametrus.
2. Buvo suprojektuota ir sukonstruota speciali nuplėšimo bandymams skirta įranga. Bei atlikti privirintų M8 veržlių nusukimo ir nuplėšimo bandymai. Nustatyta, kad nuplėšimo jėga svyruoja nuo 7,4 kN iki 10,7 kN. Nusukimo momentas svyruoja nuo 83 Nm iki 109 Nm. Gauti rezultatai apie du kartus didesni negu minimalūs keliami reikalavimai. Atsižvelgiant į tai patikrinta parinktų veržlių privirinimo parametrų kokybė, atlikus analizę nustatyta, kad veržlės privirinamos naudojant per aukštą virinimo srovės stiprį ( $I=9$  kA). Todėl suvirintos jungtys daug tvirtesnės negu iš tiesų reikėtų ir iššvaistoma daugiau elektros energijos išteklių.
3. Buvo atlikti suvirintų detalių nuplėšimo bandymai. Nustatyta, kad nuplėšimo jėga yra pakankamai stabili ir svyruoja nuo 3,8 kN iki 3,95 kN. Taip pat atlikti suvirinimo įrangos matavimai ir pasiūlyti jos pakeitimai: pasiūlyta pridėti papildomą atramą, aušinimą oru, didesnę bazinę atramą, sumažinti bazinių kaiščių skersmenis.
4. Buvo atlikta privirintos M8 veržlės skaitinė nuplėšimo simuliacija, nubraižytas jėgos nuo poslinkio grafikas. Gauta maksimali nuplėšimo jėga 7,7 kN. Simuliacijos rezultatai labai panašūs į nuplėšimo bandymo rezultatus, kurių metu gautų jėgų dydis svyruoja nuo 7,4 kN iki 10,7 kN. Skaičiavimų tikslumą mažina: per mažas naudotų baigtinių elementų kiekis; netiksliai apibrėžtas kontaktų plotas ir neįvertinti galimi medžiagos savybių pasikeitimai juose.

## Literatūros sąrašas

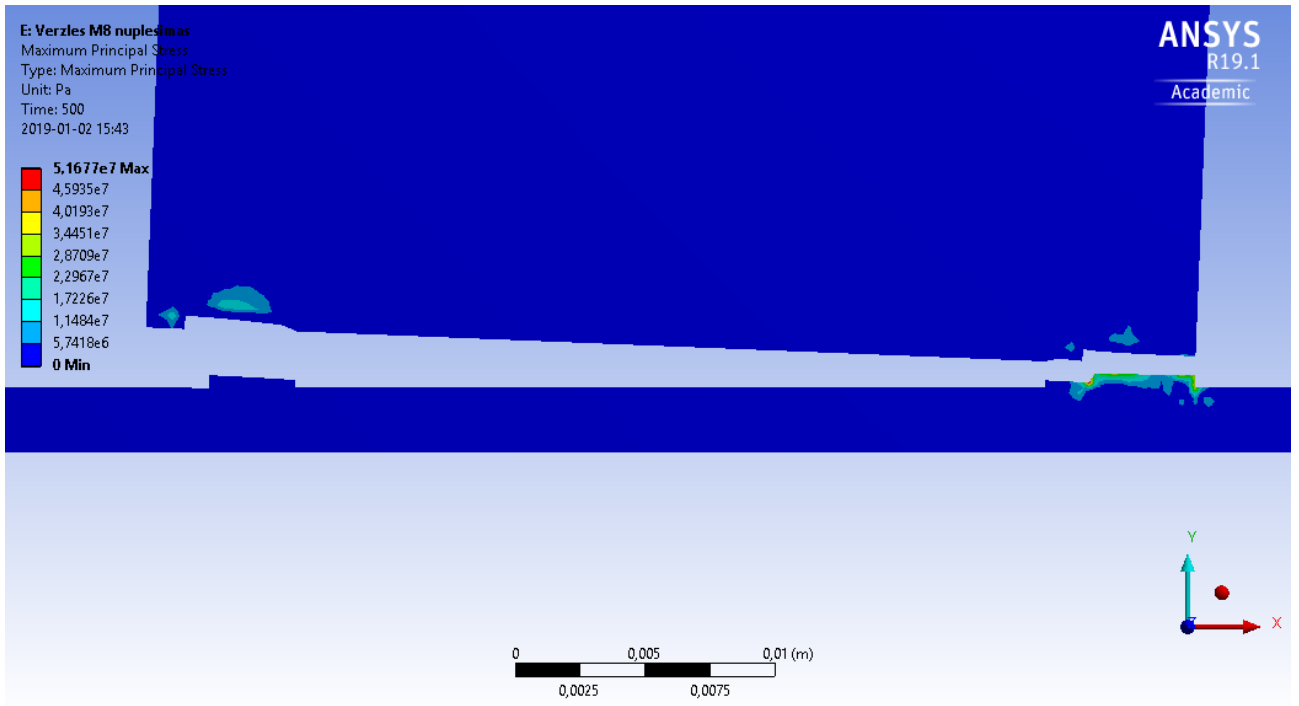
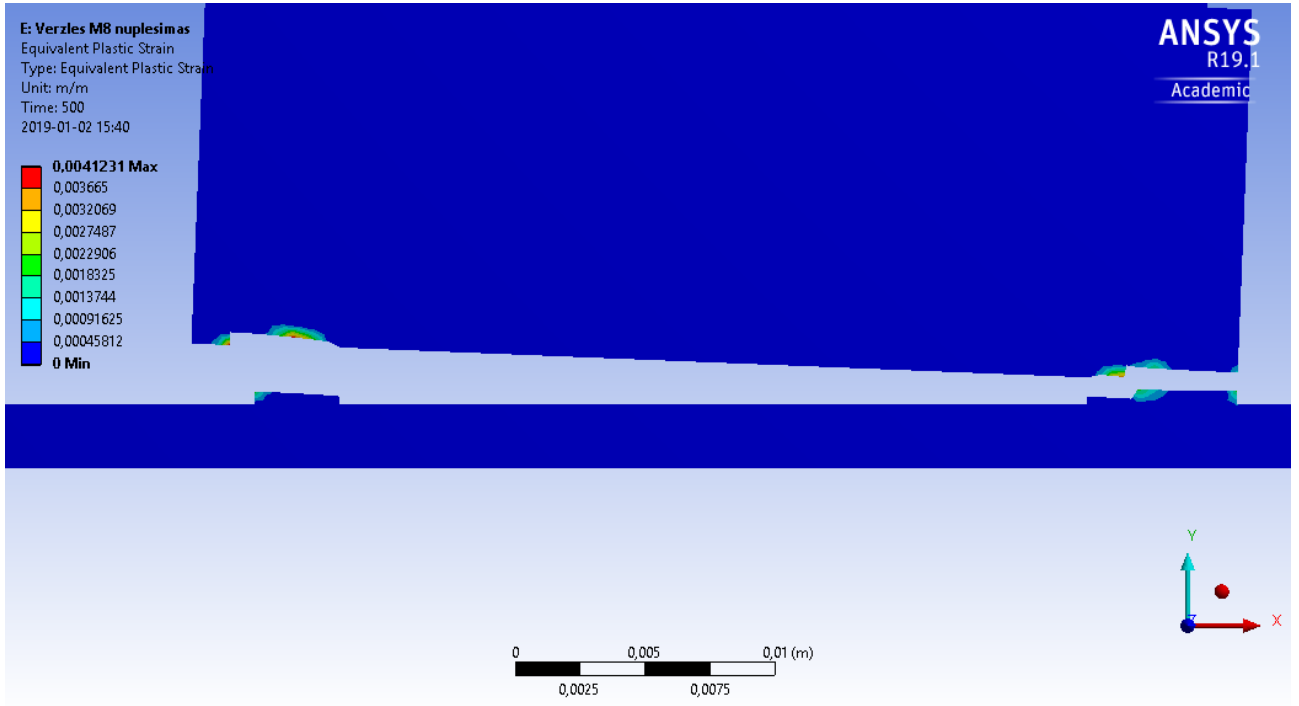
1. Shamsul, J.B., Hisyam, M. M. Study Of Spot Welding Of Austenitic Steel Type 304. Journal of Applied Sciences Research. 2007, 3(11), p. 1494-1499.
2. Ozyurek, D. An effect of weld current and weld atmosphere on the resistance spot weldability of 304L austenitic stainless steel. Materials and Design. 2008, 29, p. 597-603.
3. Martin, O., Tiedra, P. D., Lopez, M., San-Juan, M., Garcia, C., Martin, F., Blanco, Y. Quality prediction of resistance spot welding joints of 304 austenitic stainless steel. Materials and Design. 2009, 30, p. 68-77.
4. Moshayedi, H., Sttari-Far, I. Numerical and experimental study of nugget size growth in resistance spot welding of austenitic stainless steels. Journal of Metarials Processing Technology. 2012, 212, p. 347-354.
5. Fukumoto, S., Fujiwara, K., Toji, S., Yamamoto, A. Small-scale resistance spot welding of austenitic stainless steels. Materials Science and Engineering. 2008, A 492, p. 243-249.
6. Vural, M., Akkus, A. On the resistance spot weldability of galvanized interstitial free steel sheets with austenitic stainless steel sheets. Journal of Materials Processing Technology. 2004, 153-154, p. 1-6.
7. Stamatis, D. H. Failure Mode and Effect Analysis. Second edition. USA: New York, 2003. 300 p. ISBN-13: 978-0873895989.
8. Surender, K. Technology of Metal Forming Processes. Kindle edition, USA: Philadelphia, 2008. 376 p. ISBN-13: 978-8120334250.
9. Šniulis, R. Medžiagų inžinerija. Pirmas leidimas. Lietuva: Vilnius, 2014. 196 p.
10. Kontaktinis reljefinis suvirinimas. [Žiūrėta 2018-05-20]. Prieiga per internetą <https://www.thefabricator.com/article/arcwelding/projection-welding-101>.
11. Kontaktinis reljefinis suvirinimas. [Žiūrėta 2018-05-20]. Prieiga per internetą <http://demoscience.org/what-is-projection-welding/>.
12. Naruškevičius, J., Petrovičėvas, V. Suvirinimas. Pirmas leidimas. Lietuva: Kaunas, 2010. 236 p.
13. DIN EN ISO 10447 (ET-S-1162/00). Resistance welding – Testing of welds – Peel and chisel testing of resistance spot and projection welds.
14. DIN EN 28167. Projections for resistance welding.
15. Estorilio, C., Posso, P. K. The reduction of irregularities in the use of „process FMEA“. International Journal of Quality and Reliability Manegement. 2010, Vol. 27 Issue: 6, p. 721-733.
16. Kleiner, M., Geiger, M., Klaus, A. Manufacturing of Lightweight Components by Metal Forming. Chair of Forming Technology. 2003, Volume 52, Issue 2, p. 521-542.
17. Aurimas Česnulevičius, Danas Garuckas, „Konstruktorinis ir technologinis gamybos rengimas“, „Technologija“, 2008, 96 p.

18. Jurgaitis, V., Česnavičius, R., Kilikevičius, S., Dundulis, R. Strength and Microstructure Analysis of Spot Welded Joints between a Sheet and a Nut of Different Steels. *Mechanika*. 2018, p. 305-310.
19. She, C., Chang, C., Kao, Y., Cheng, H. A study on the computer-aided measuring integration system for the sheet metal stamping die. *Journal of Materials processing Technology*. 2006, 177, p. 138-141.
20. Dowling, M. M., Griffin, P. M., Tsui K.-L., Zhou, C. Statistical Issues in Geometric Feature Inspection Using Coordinate Measuring Machines. *Technometrics*. 2012, p. 3-17.
21. Walrad, C., Moss, E. Measurement: The key to application development quality. *IBM Systems Journal*. 1993, Volume 32, Issue 3, p. 445-460.
22. Sala, G. A numerical and experimental approach to optimise sheet stamping technologies. *Materials and Design*. 2000, Volume 22, Issue 4, p. 285-298.
23. Aizawa, T., Iwamura E., Itoh, K. Nano-lamination in amorphous carbon for tailored coating in micro-dry stamping of AISI-304 stainless steel sheets. *Surface and Coatings Technology*. 2008, 203, p. 794-798.
24. Kilikevičius, S., Česnavičius, R., Krasauskas, P., Juodsnukis, A. Analysis of the cold forming process. 2018, paper ref: 7219.

## **Priedai**









Zchnng-Nr:

Kunde:

Prüfer: Sigita\_Mikalajūnas

Änd.St.: 2018-06-11

Artikel:

Prüfdatum: 13 spalio 2018

Bezeichnung: Assembly Maincat Chairconsole

Bemerkung: Teil 10

⊕	MM	1.1 IR 4.0 - YZ							
AX	NOMINAL	MEAS	+TOL	-TOL	DEV	OUTTOL	BONUS		
X	-6.493	-6.516			-0.022				
Y	99.814	99.477			-0.337				
Z	0.700	0.671			-0.029				
DF	10.000	10.007	0.500	0.500	0.007	0.000	0.507		
D1					RFS				
D2	75.600	75.425	0.300	0.300	MMC		0.475		
TP	MMC	0.671	0.500		0.671	0.000	0.983		
⊕	MM	1.2 IR 3.0 - CIR3							
AX	NOMINAL	MEAS	+TOL	-TOL	DEV	OUTTOL	BONUS		
X	-6.493	-6.503			-0.010				
Y	99.814	99.359			-0.454				
Z	-23.000	-23.000			0.000				
DF	10.000	10.000	0.500	0.500	0.000	0.000	0.500		
D1					RFS				
D2	75.600	75.425	0.300	0.300	MMC		0.475		
D3	10.000	10.007	0.500	0.500	MMC		1.007		
TP	MMC	0.904	0.500		0.904	0.000	0.975		
⊕	MM	2.100 - YZ							
AX	NOMINAL	MEAS	+TOL	-TOL	MAX	MIN	DEV	OUTTOL	
X	-6.493	-6.555	0.150	0.150	-6.636	-7.464	-0.061	0.000	
⊕	MM	2.200 - CIR3							
AX	NOMINAL	MEAS	+TOL	-TOL	MAX	MIN	DEV	OUTTOL	
X	-6.493	-6.542	0.150	0.150	-6.650	-7.443	-0.049	0.000	
⊙	MM	5.000 - CIR3 TO CIR5 M8							
AX	NOMINAL	MEAS	+TOL	-TOL	MAX	MIN	DEV	OUTTOL	
M	0.000	0.190	1.200	0.000	0.095	0.000	0.190	0.000	
⊙	MM	6.000 - YZ TO CIR4 M8							
AX	NOMINAL	MEAS	+TOL	-TOL	MAX	MIN	DEV	OUTTOL	
M	0.000	0.233	1.200	0.000	0.117	0.000	0.233	0.000	
▧	MM	7.000 - PLN2							
AX	NOMINAL	MEAS	+TOL	-TOL	MAX	MIN	DEV	OUTTOL	
M	0.000	0.066	0.500	0.000	0.035	-0.031	0.066	0.000	
⤿	MM	8.000 - SCN1 FORMANDLOCATION							
AX	NOMINAL	MEAS	+TOL	-TOL	MAX	MIN	DEV	OUTTOL	
M	0.000	0.497	0.500	0.500	0.497	0.422	0.497	0.000	

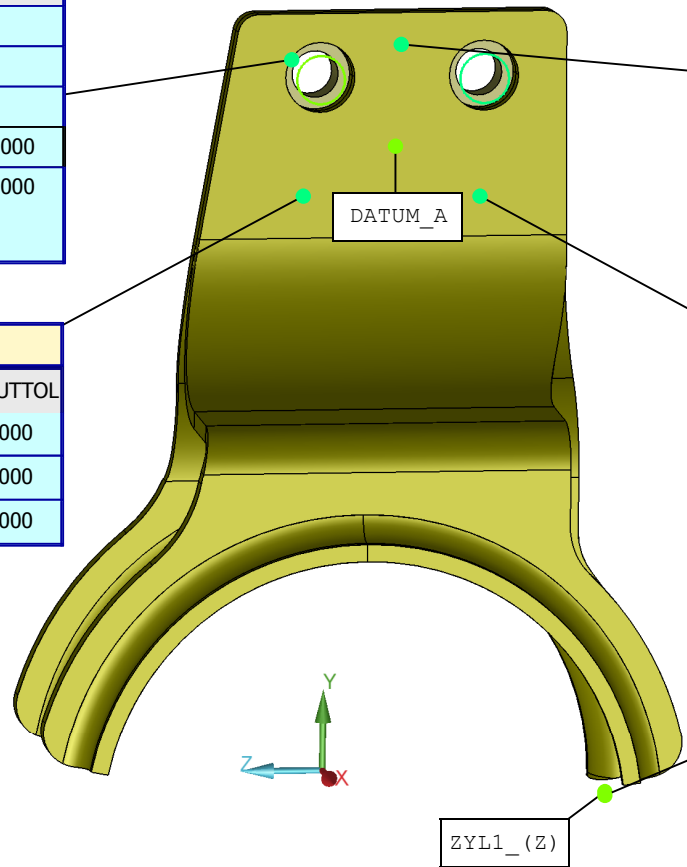
⤴	MM	9.000 - SCN4 FORMANDLOCATION						
AX	NOMINAL	MEAS	+TOL	-TOL	MAX	MIN	DEV	OUTTOL
M	0.000	0.474	0.500	0.500	0.474	0.087	0.474	0.000
⤴	MM	10.100 - SCN3 FORMANDLOCATION						
AX	NOMINAL	MEAS	+TOL	-TOL	MAX	MIN	DEV	OUTTOL
M	0.000	0.128	0.200	0.200	0.122	-0.005	0.128	0.000
⤴	MM	10.200 - SCN6 FORMANDLOCATION						
AX	NOMINAL	MEAS	+TOL	-TOL	MAX	MIN	DEV	OUTTOL
M	0.000	0.193	0.200	0.200	0.193	0.078	0.193	0.000
⤴	MM	11.100 - SCN2 FORMANDLOCATION						
AX	NOMINAL	MEAS	+TOL	-TOL	MAX	MIN	DEV	OUTTOL
M	0.000	0.229	0.300	0.300	0.229	0.126	0.229	0.000
⤴	MM	11.200 - SCN5 FORMANDLOCATION						
AX	NOMINAL	MEAS	+TOL	-TOL	MAX	MIN	DEV	OUTTOL
M	0.000	0.315	0.300	0.300	0.106	-0.209	0.315	0.000

⊕	MM	ISST1_8 - YZ				
AX	NOMINAL	MEAS	+TOL	-TOL	DEV	BONUS OUTTOL
X	-6.493	-6.555			-0.061	
Y	99.814	99.429			-0.385	
Z	0.700	0.671			-0.029	
DF	10.000	10.007	0.300	0.300	0.007	0.307 0.000
TP	MMC	0.758	0.500		0.758	0.307 0.000

⊕	MM	ISST1_5 - X1				
AX	NOMINAL	MEAS	+TOL	-TOL	DEV	OUTTOL
X	-6.948	-6.948	0.050	0.050	0.000	0.000
Y	105.009	104.511	0.500	0.500	-0.498	0.000
Z	-11.011	-11.016	0.500	0.500	-0.004	0.000

⊕	MM	ISST1_3 - X2				
AX	NOMINAL	MEAS	+TOL	-TOL	DEV	OUTTOL
X	-5.053	-5.053	0.050	0.050	0.000	0.000
Y	83.347	82.848	0.500	0.500	-0.498	0.000
Z	3.165	3.162	0.500	0.500	-0.003	0.000

⊕	MM	ISST1_4 - X3				
AX	NOMINAL	MEAS	+TOL	-TOL	DEV	OUTTOL
X	-5.023	-5.023	0.050	0.050	0.000	0.000
Y	83.004	82.506	0.500	0.500	-0.498	0.000
Z	-22.537	-22.537	0.500	0.500	0.000	0.000



⊕	MM	ISST1_6 - ZYL1_(Z)				
AX	NOMINAL	MEAS	+TOL	-TOL	DEV	BONUS OUTTOL
X	21.501	22.005			0.505	
Y	-0.001	-0.001			0.000	
Z	-0.001	-0.001			0.000	
DF	75.600	75.425	0.300	0.300	-0.175	0.000 0.000
TP	RFS	0.003	0.400		0.003	0.000 0.000

Bezeichnung: Assembly Maincat Chairconsole

Bemerkung:

Prüfer: Sigitas\_Mikalajūnas

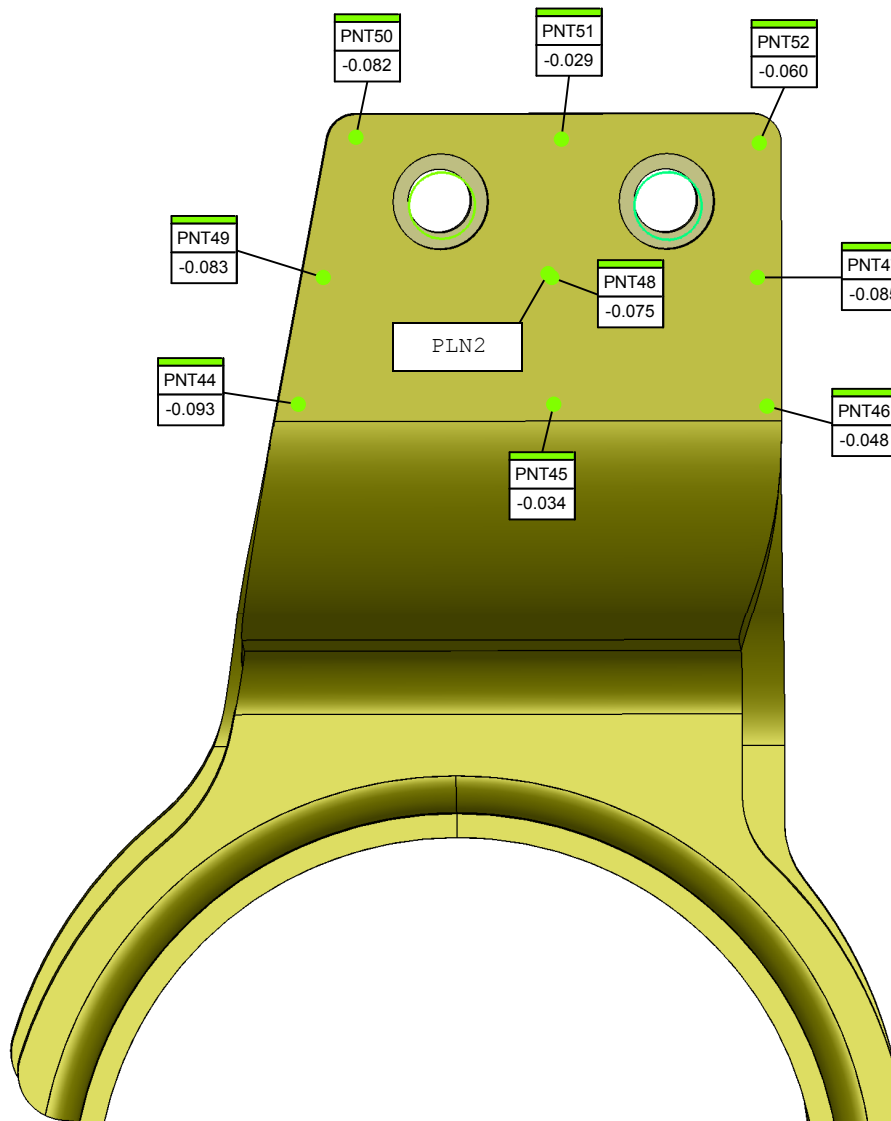
Zchnng-Nr:

Teil 10

Prüfdatum: 13 10 2018

Änd.St.: 2018-06-11

Messmaschine: DEA Global



Fläche Bereich 1 Toleranz  $\pm 0.2$

Bezeichnung: Assembly Maincat Chairconsole

Bemerkung:

Prüfer: Sigitas\_Mikalajūnas

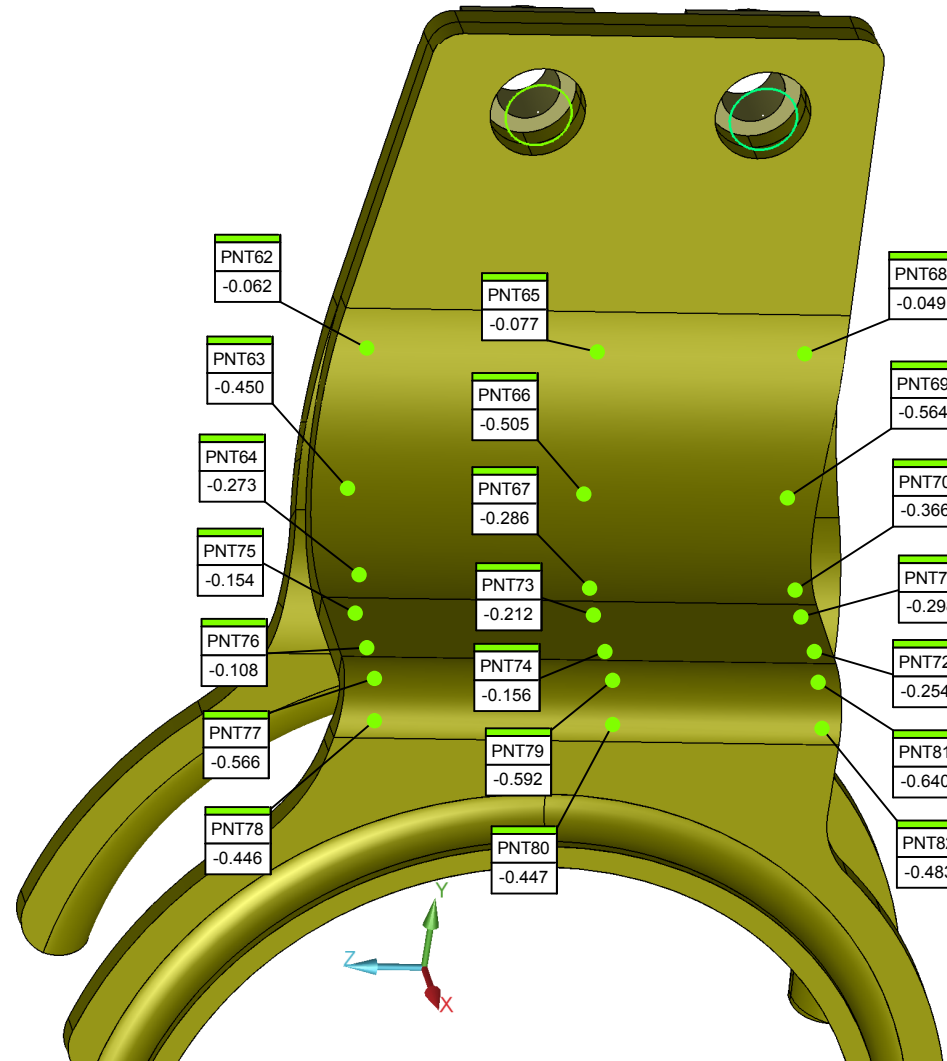
Zchnng-Nr:

Teil 10

Prüfdatum: 13 10 2018

Änd.St.: 2018-06-11

Messmaschine: DEA Global



Fläche Bereich 2 Toleranz  $\pm 1.0$

Bezeichnung: Assembly Maincat Chairconsole

Bemerkung:

Prüfer: Sigitas\_Mikalajūnas

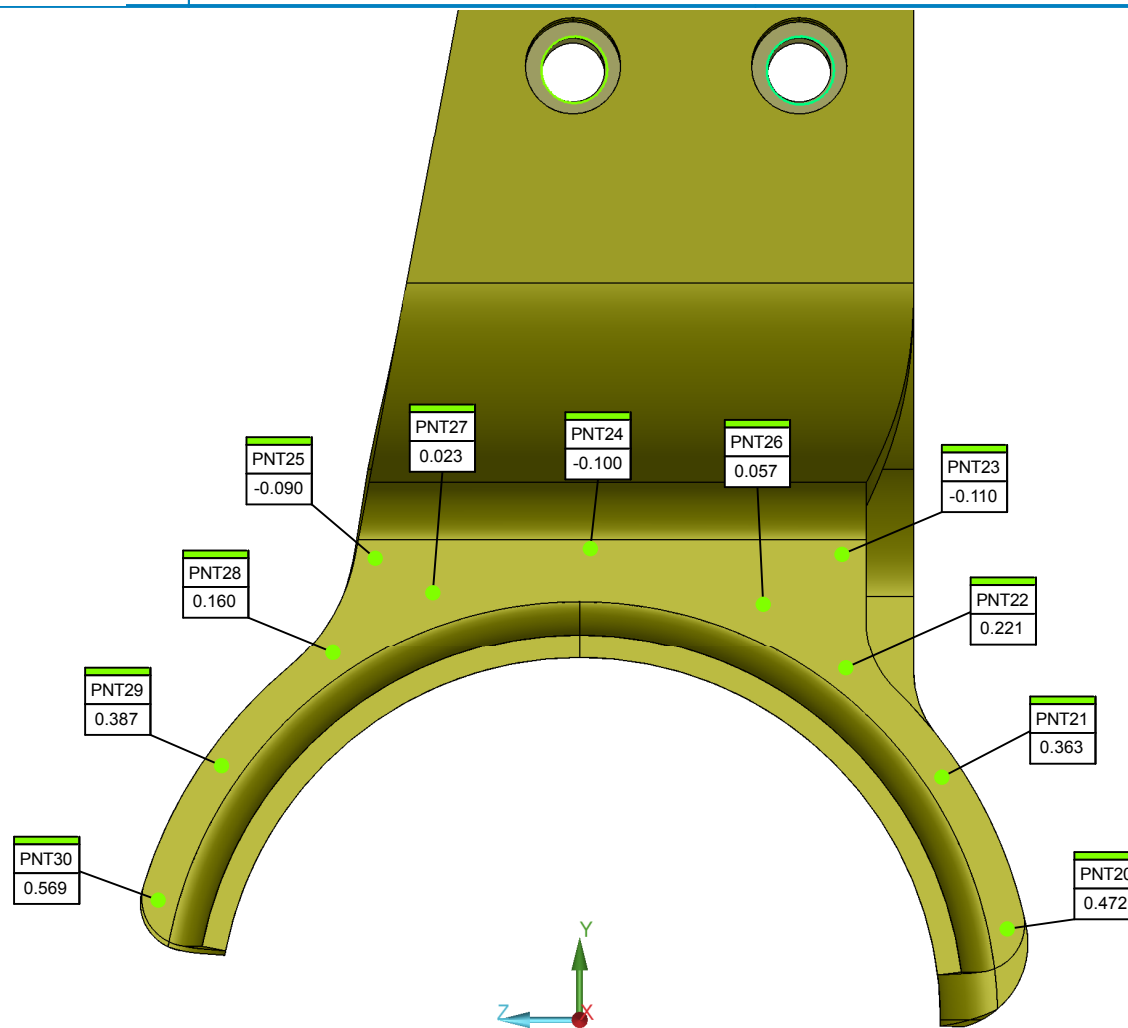
Zchnng-Nr:

Teil 10

Prüfdatum: 13 10 2018

Änd.St.: 2018-06-11

Messmaschine: DEA Global



Fläche Bereich 3 Toleranz  $\pm 1.0$

Bezeichnung: Assembly Maincat Chairconsole

Bemerkung:

Prüfer: Sigitas\_Mikalajūnas

Zchnng-Nr:

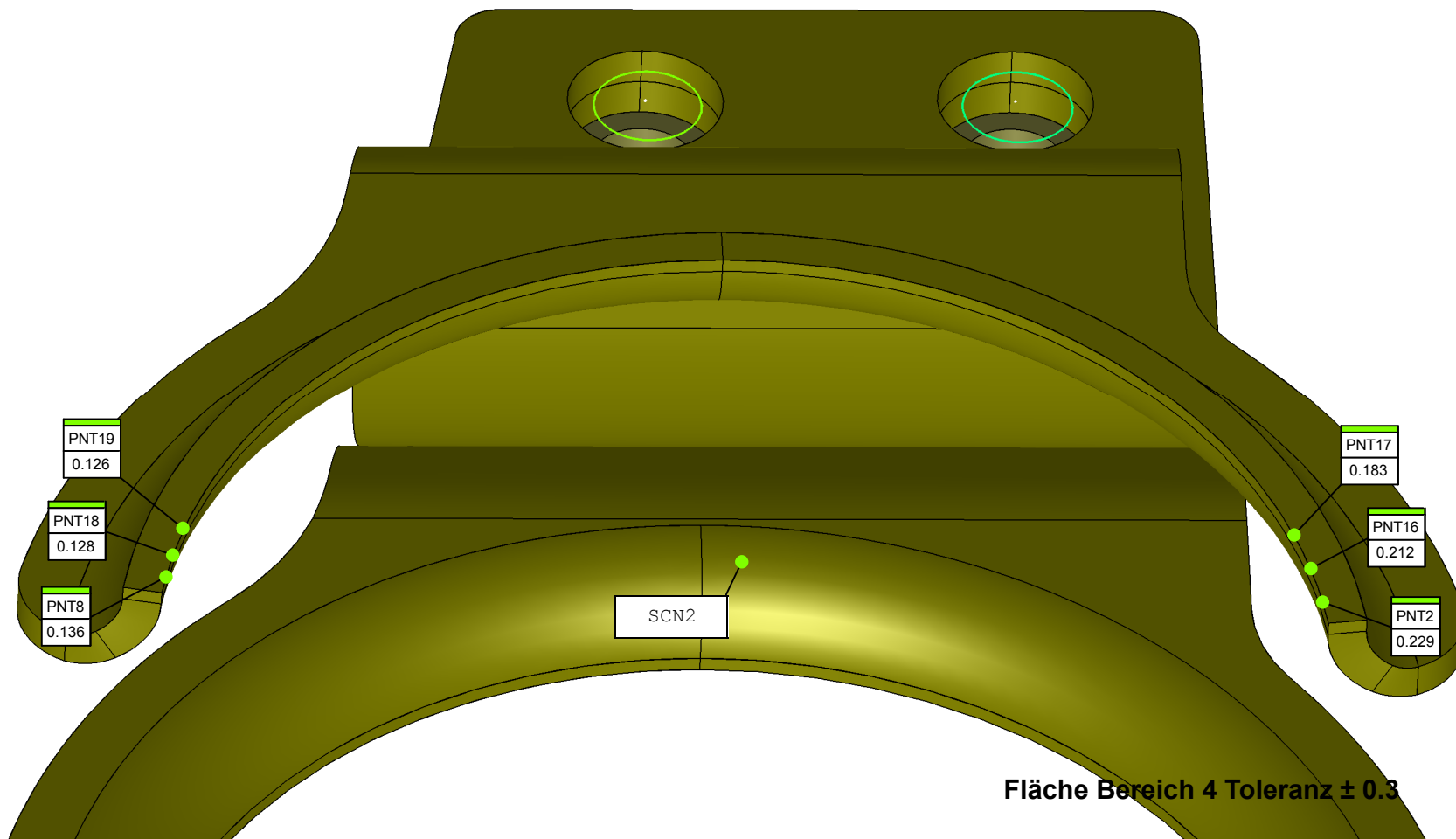
Teil 10

Prüfdatum: 13 10 2018

Änd.St.: 2018-06-11

Messmaschine: DEA Global





Bezeichnung: Assembly Maincat Chairconsole

Bemerkung:

Prüfer: Sigitas\_Mikalajūnas

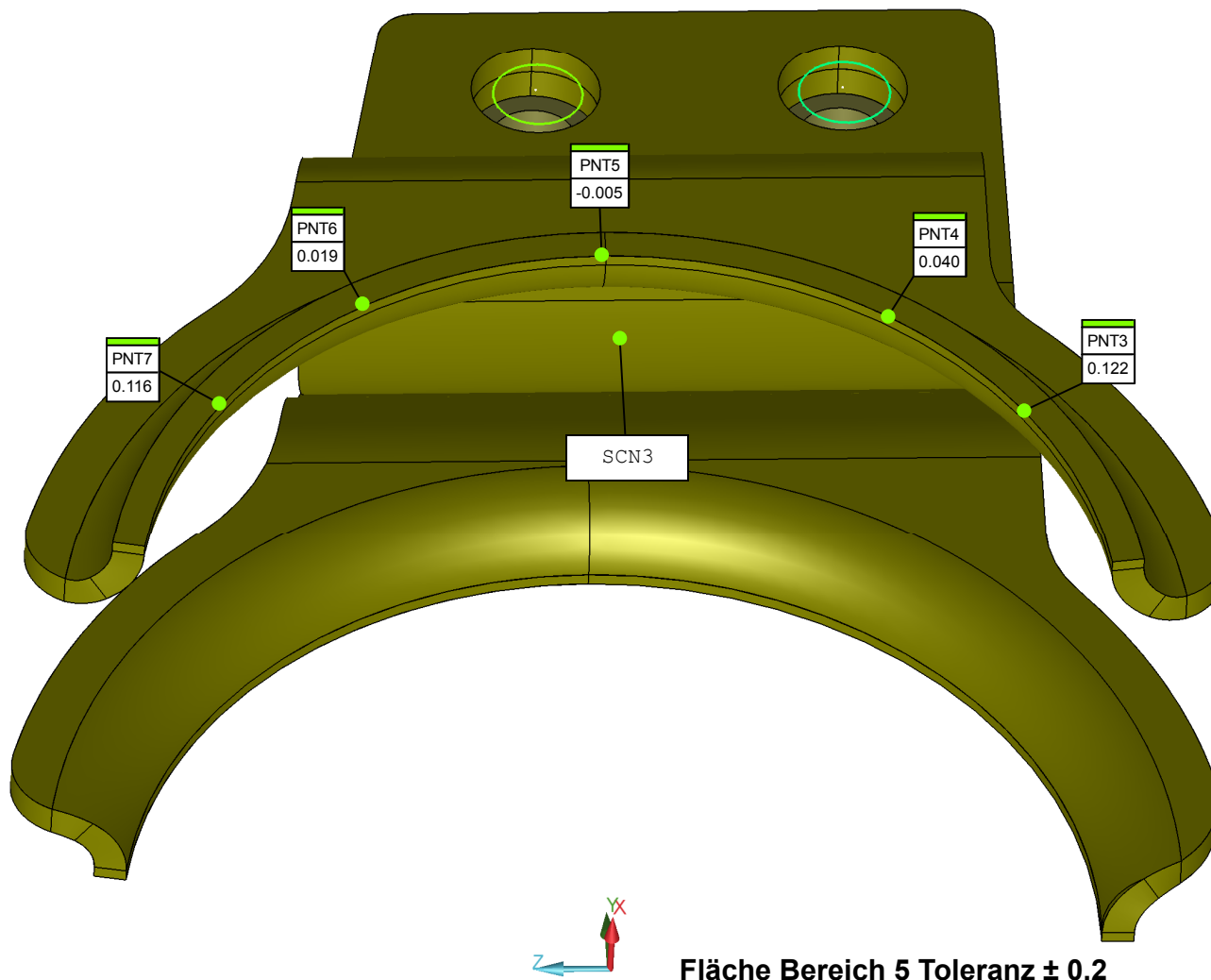
Zchnng-Nr:

Teil 10

Prüfdatum: 13 10 2018

Änd.St.: 2018-06-11

Messmaschine: DEA Global



Bezeichnung: Assembly Maincat Chairconsole

Bemerkung:

Prüfer: Sigitas\_Mikalajūnas

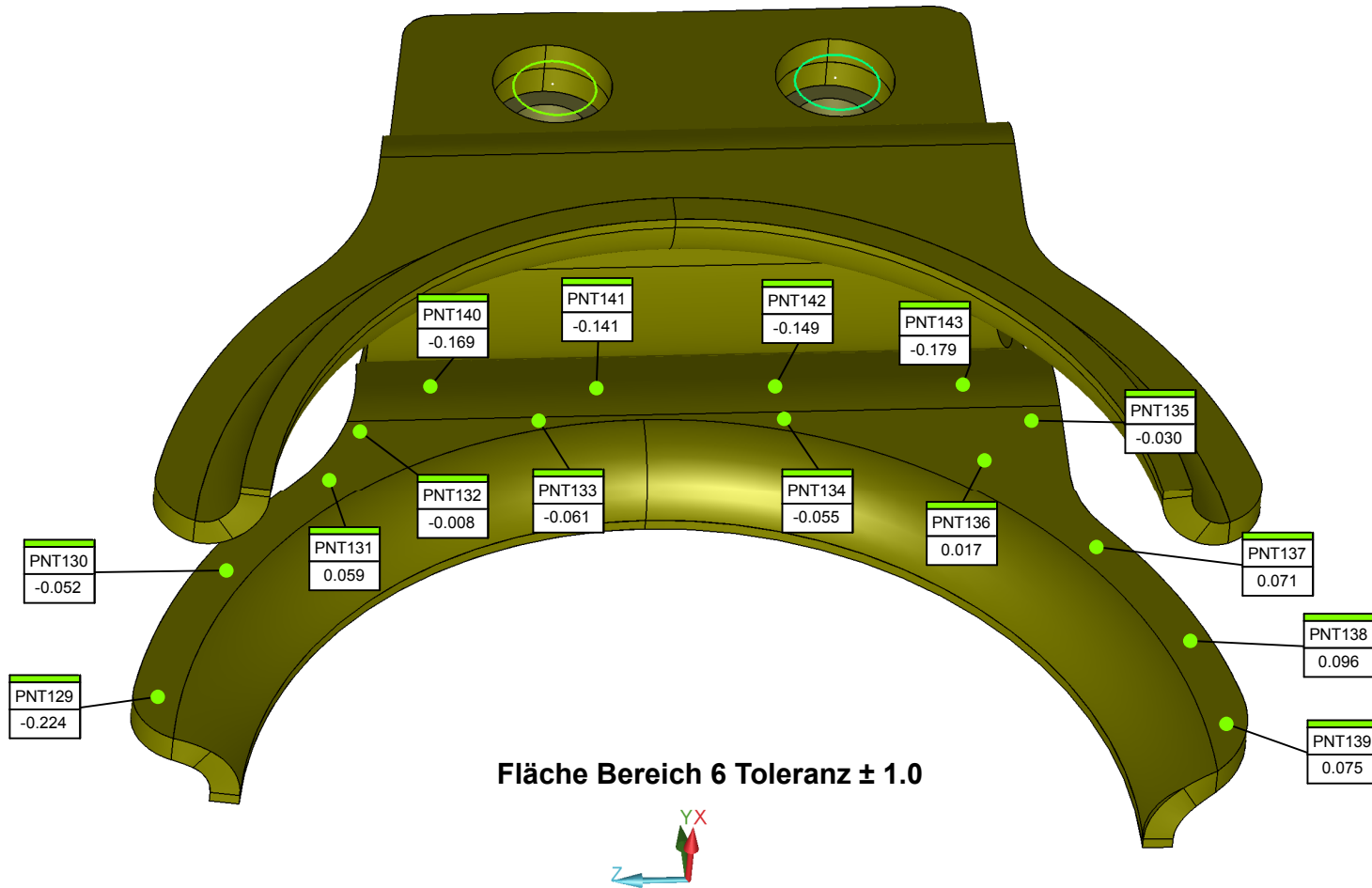
Zchnng-Nr:

Teil 10

Prüfdatum: 13 10 2018

Änd.St.: 2018-06-11

Messmaschine: DEA Global



Bezeichnung: Assembly Maincat Chairconsole

Bemerkung:

Prüfer: Sigitas\_Mikalajūnas

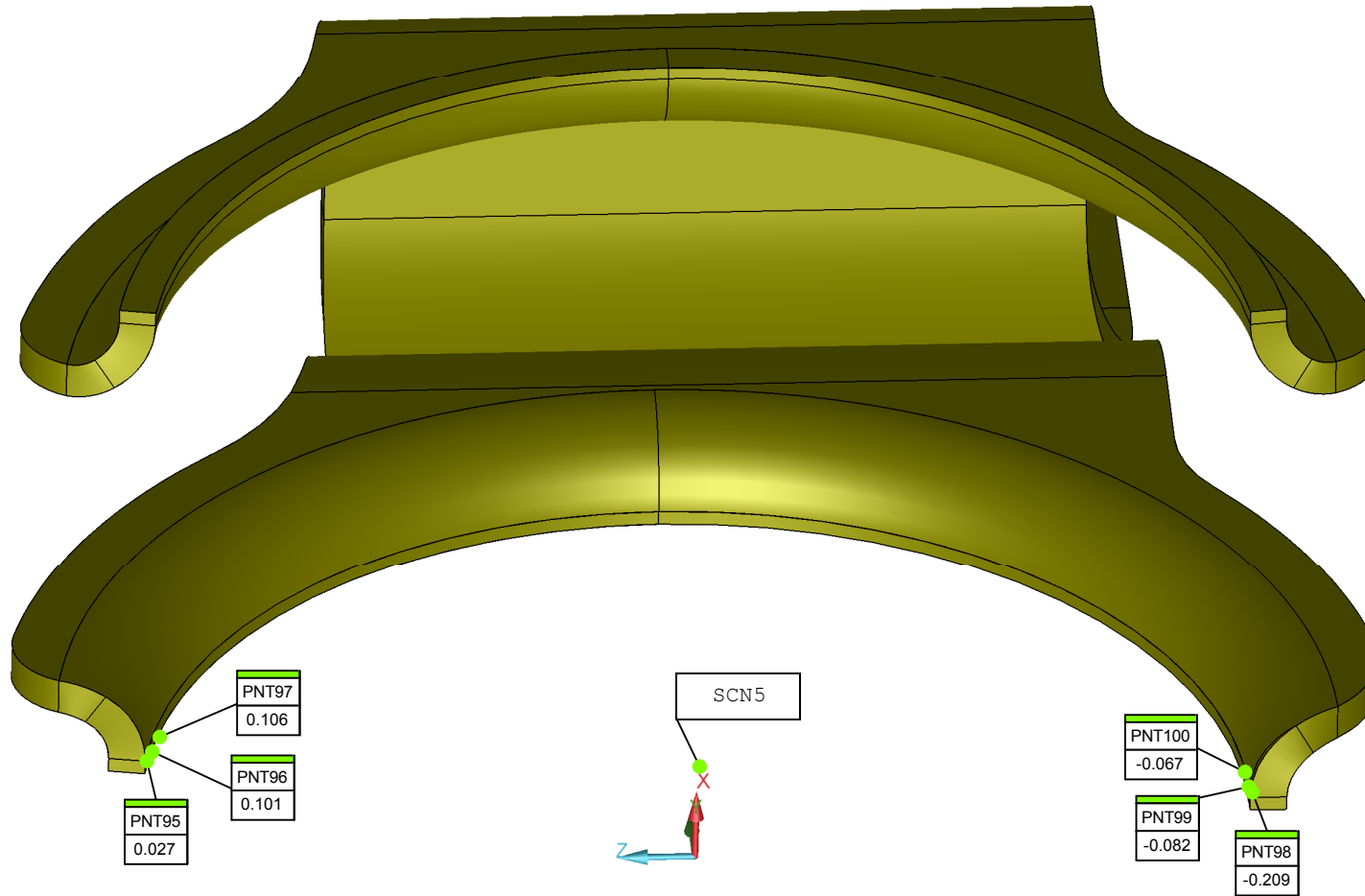
Zchnng-Nr:

Teil 10

Prüfdatum: 13 10 2018

Änd.St.: 2018-06-11

Messmaschine: DEA Global



Fläche Bereich 7 Toleranz  $\pm 0.3$

Bezeichnung: Assembly Maincat Chairconsole

Bemerkung:

Prüfer: Sigitas\_Mikalajūnas

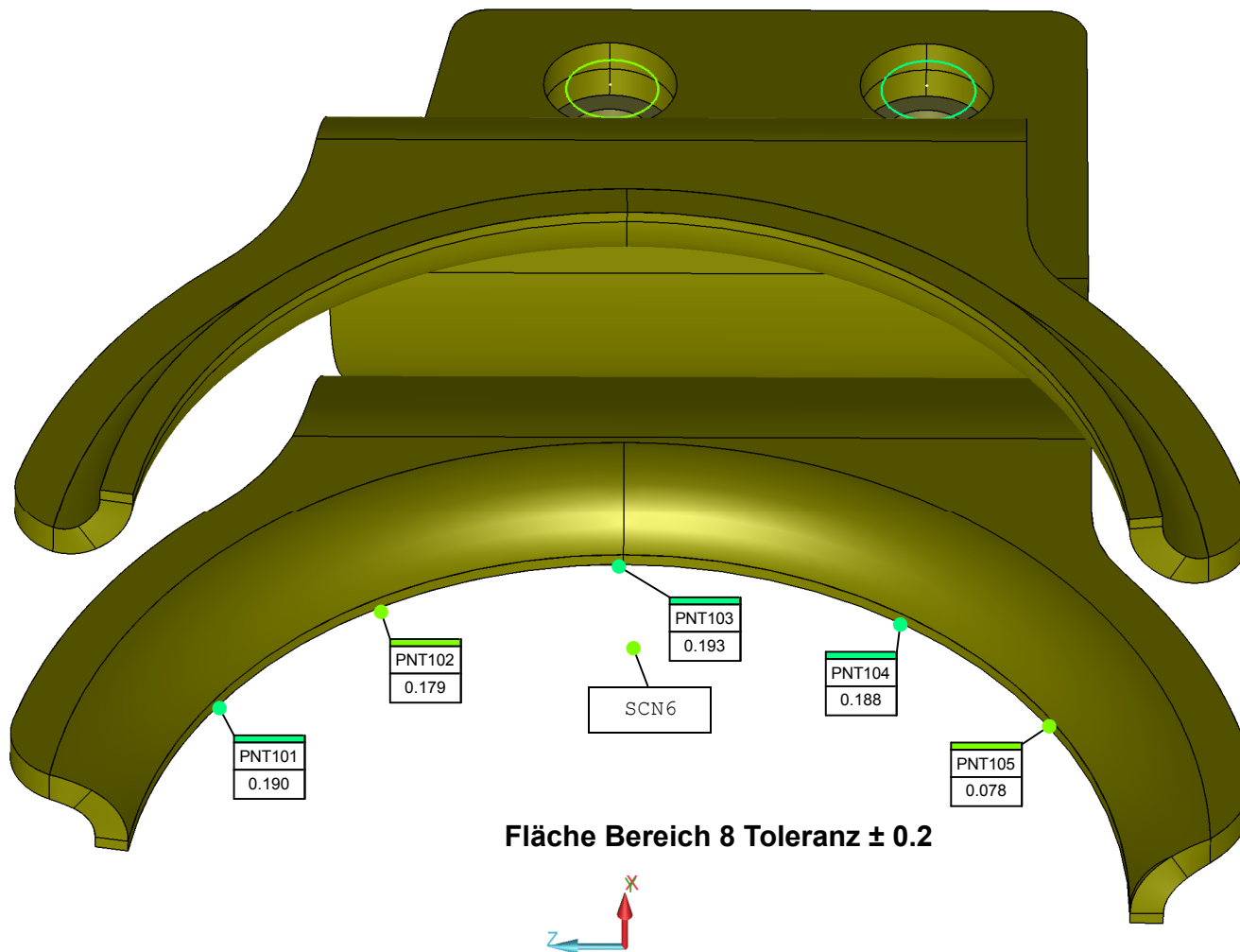
Zchnng-Nr:

Teil 10

Prüfdatum: 13 10 2018

Änd.St.: 2018-06-11

Messmaschine: DEA Global



Bezeichnung: Assembly Maincat Chairconsole

Bemerkung:

Prüfer: Sigitas\_Mikalajūnas

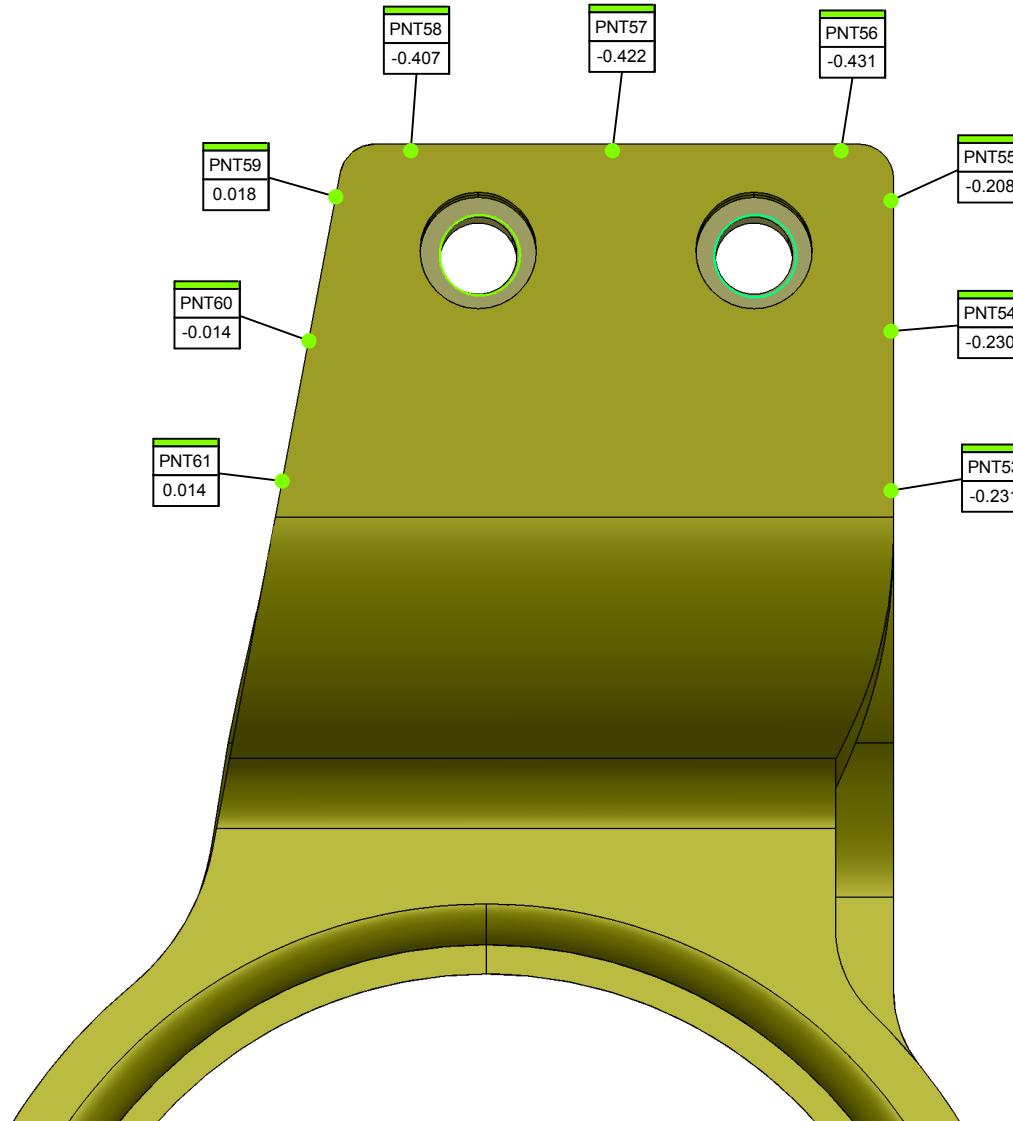
Zchnng-Nr:

Teil 10

Prüfdatum: 13 10 2018

Änd.St.: 2018-06-11

Messmaschine: DEA Global



Beschnitt Bereich 1 Toleranz  $\pm 1.0$

Bezeichnung: Assembly Maincat Chairconsole

Bemerkung:

Prüfer: Sigitas\_Mikalajūnas

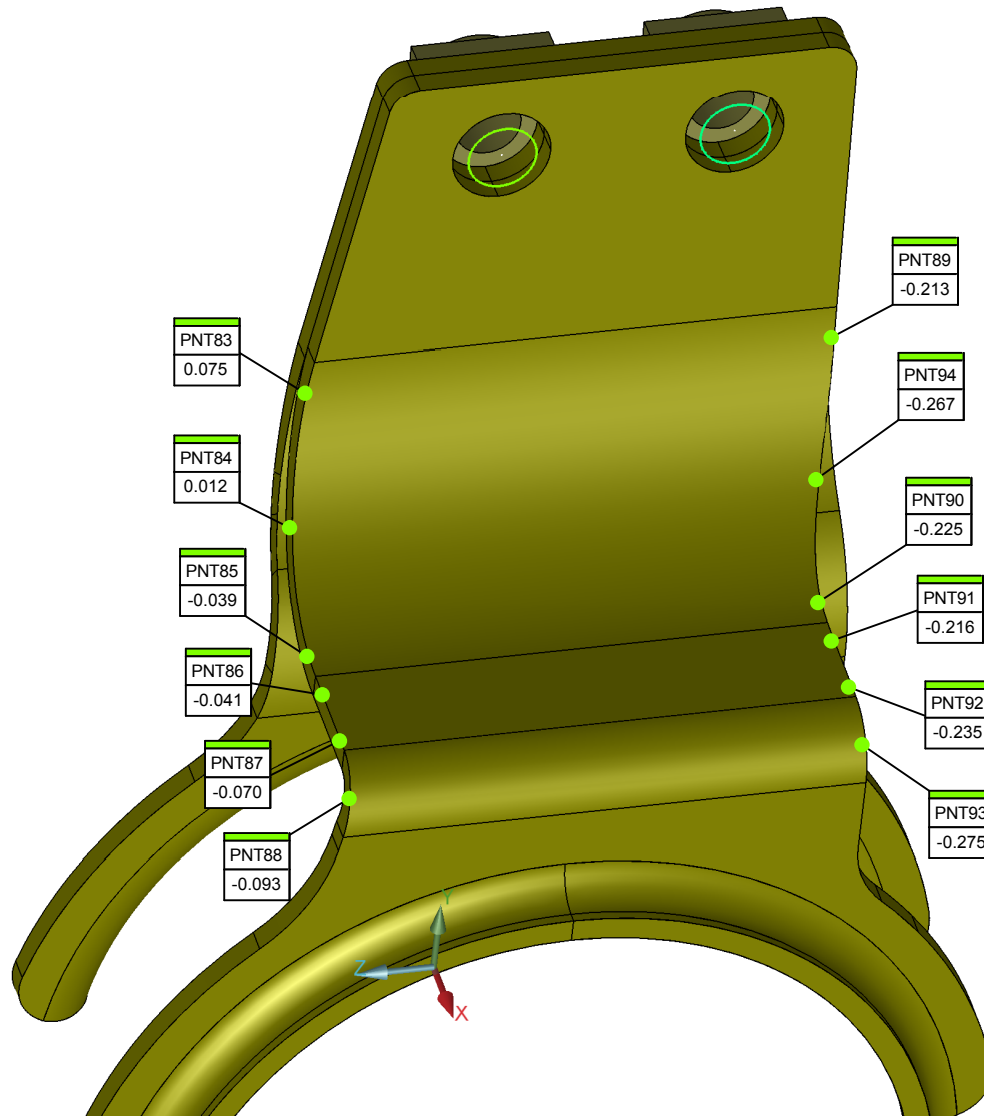
Zchnng-Nr:

Teil 10

Prüfdatum: 13 10 2018

Änd.St.: 2018-06-11

Messmaschine: DEA Global



Beschnitt Bereich 2 Toleranz  $\pm 1.0$

Bezeichnung: Assembly Maincat Chairconsole

Bemerkung:

Prüfer: Sigitas\_Mikalajūnas

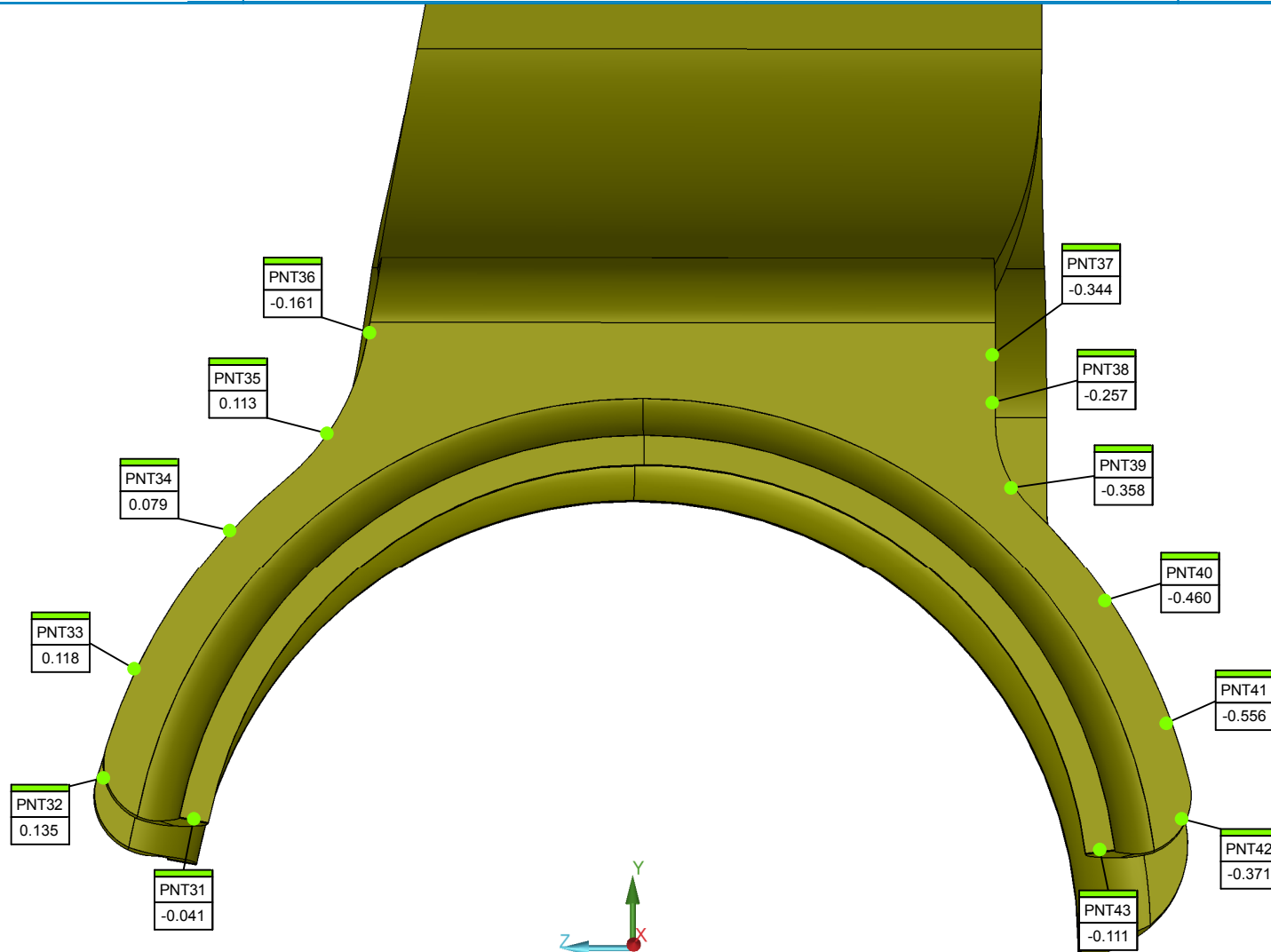
Zchnng-Nr:

Teil 10

Prüfdatum: 13 10 2018

Änd.St.: 2018-06-11

Messmaschine: DEA Global



**Beschnitt Bereich 3 Toleranz  $\pm 1.0$**

Bezeichnung: Assembly Maincat Chairconsole

Bemerkung:

Prüfer: Sigitas\_Mikalajūnas

Zchnng-Nr:

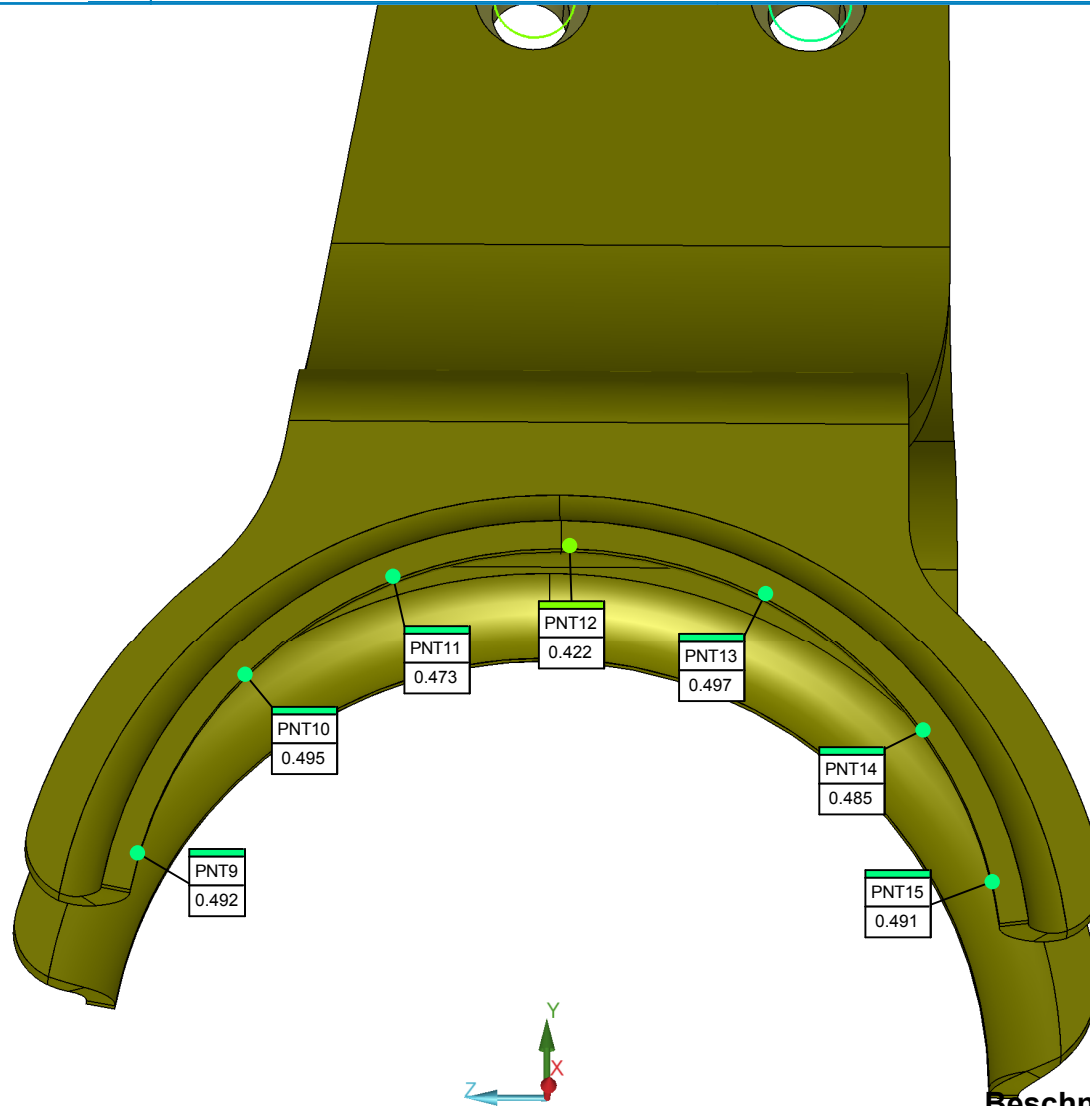
Teil 10

Prüfdatum: 13 10 2018

Änd.St.: 2018-06-11

Messmaschine: DEA Global





Beschnitt Bereich 4 Toleranz  $\pm 0.5$

Bezeichnung: Assembly Maincat Chairconsole

Bemerkung:

Prüfer: Sigitas\_Mikalajūnas

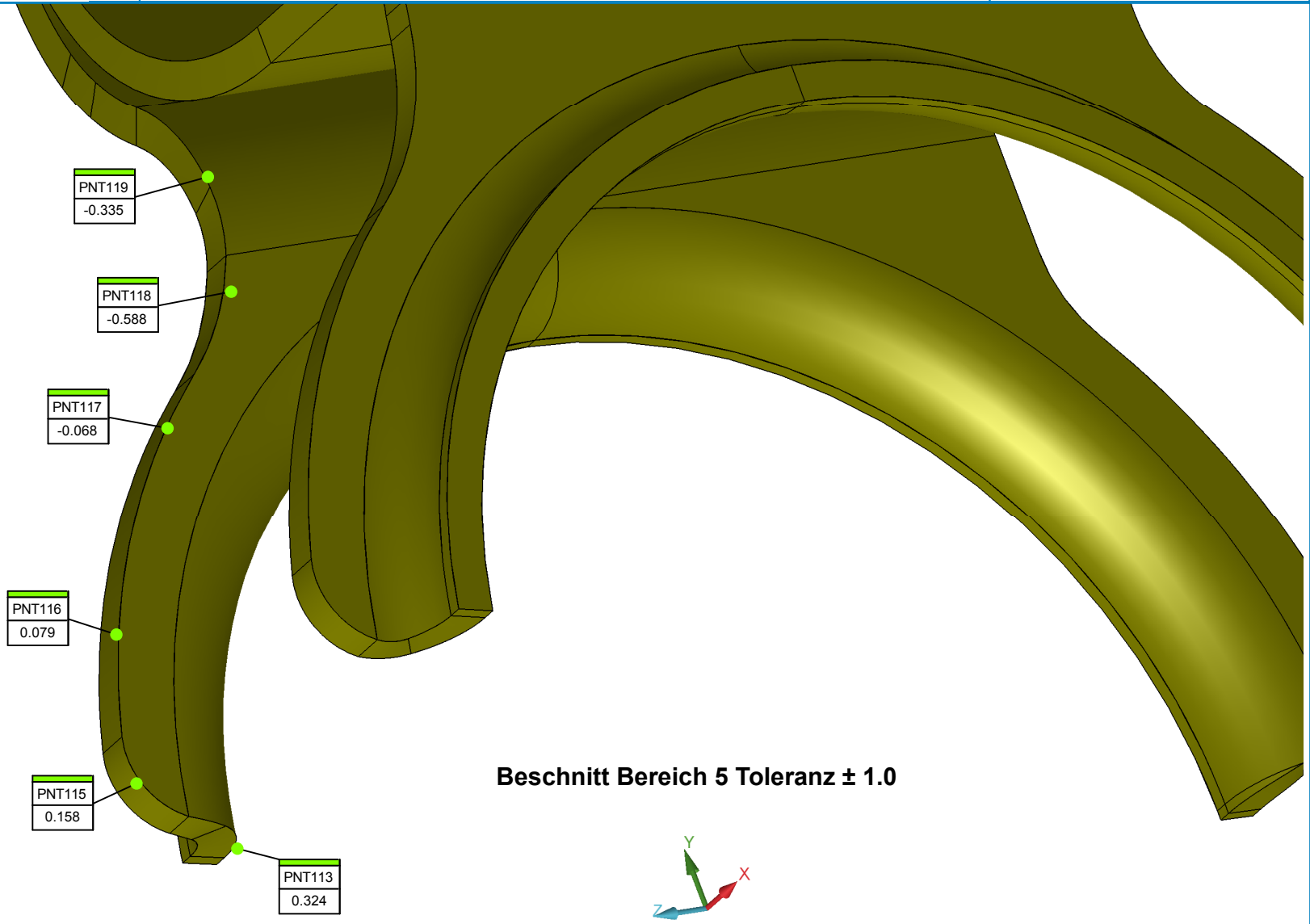
Zchnng-Nr:

Teil 10

Prüfdatum: 13 10 2018

Änd.St.: 2018-06-11

Messmaschine: DEA Global



Bezeichnung: Assembly Maincat Chairconsole

Bemerkung:

Prüfer: Sigitas\_Mikalajūnas

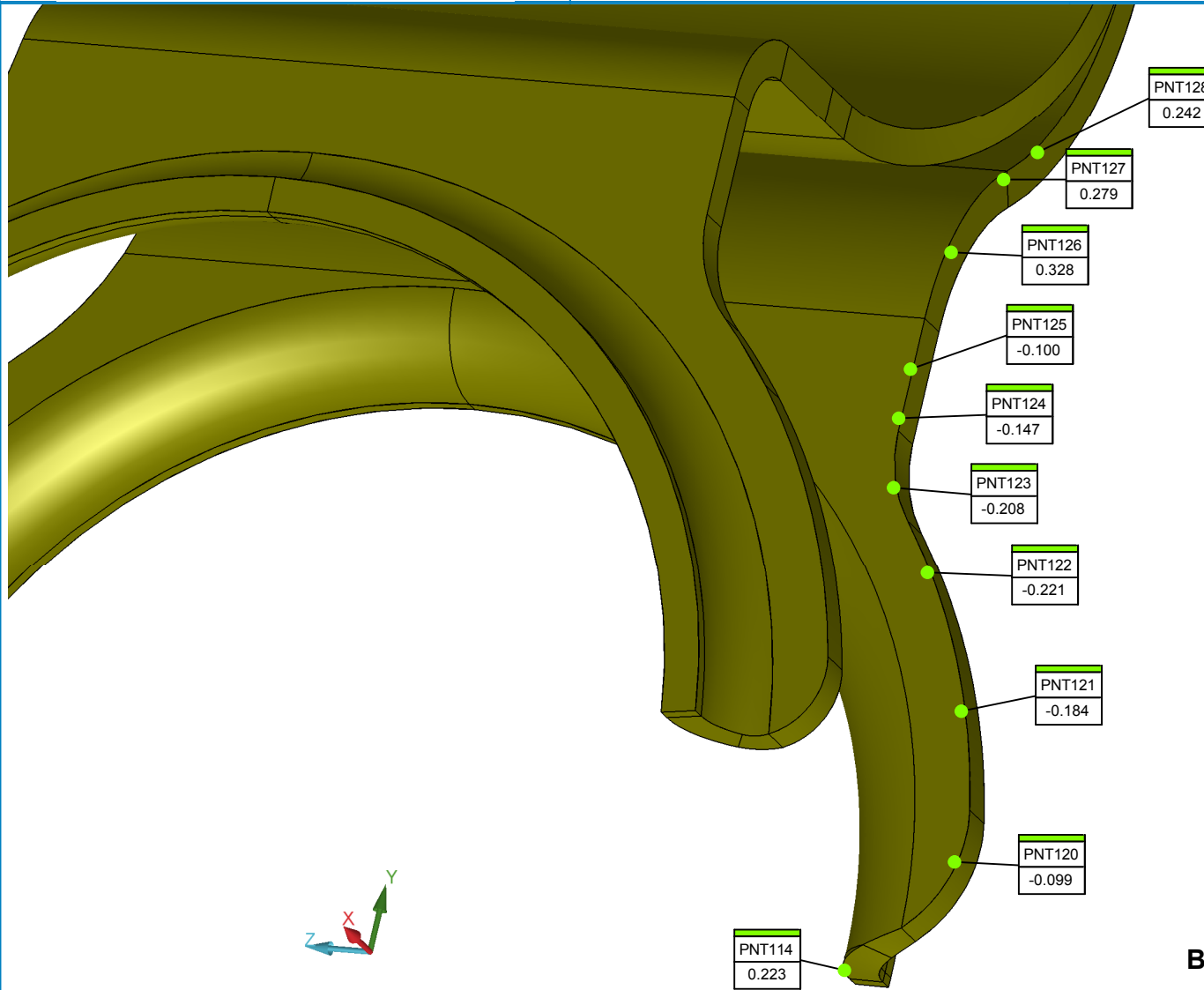
Zchnng-Nr:

Teil 10

Prüfdatum: 13 10 2018

Änd.St.: 2018-06-11

Messmaschine: DEA Global



**Beschnitt Bereich 6 Toleranz  $\pm 1.0$**

Bezeichnung: Assembly Maincat Chairconsole

Bemerkung:

Prüfer: Sigitas\_Mikalajūnas

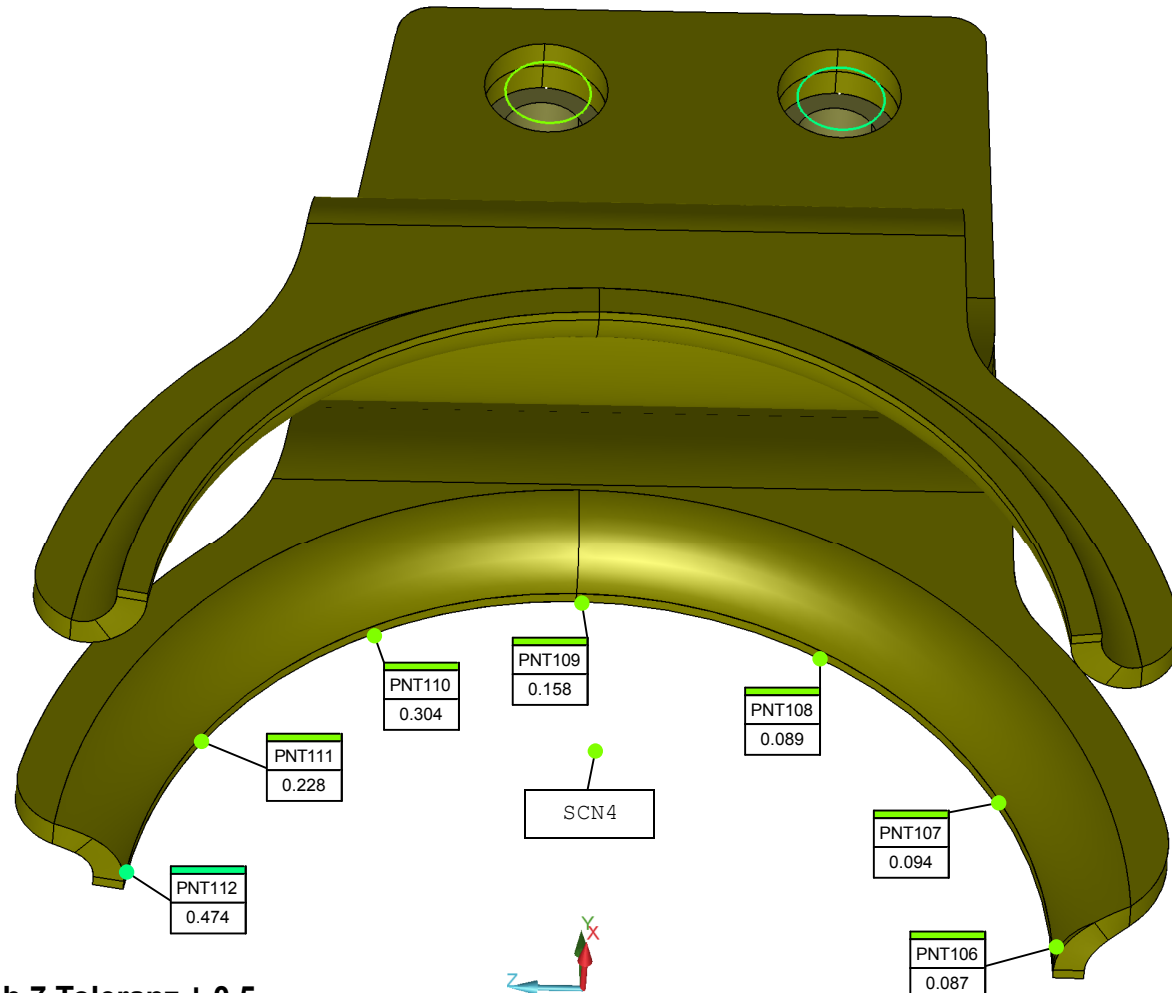
Zchnng-Nr:

Teil 10

Prüfdatum: 13 10 2018

Änd.St.: 2018-06-11

Messmaschine: DEA Global



Beschnitt Bereich 7 Toleranz  $\pm 0.5$

Bezeichnung: Assembly Maincat Chairconsole

Bemerkung:

Prüfer: Sigitas\_Mikalajūnas

Zchnng-Nr:

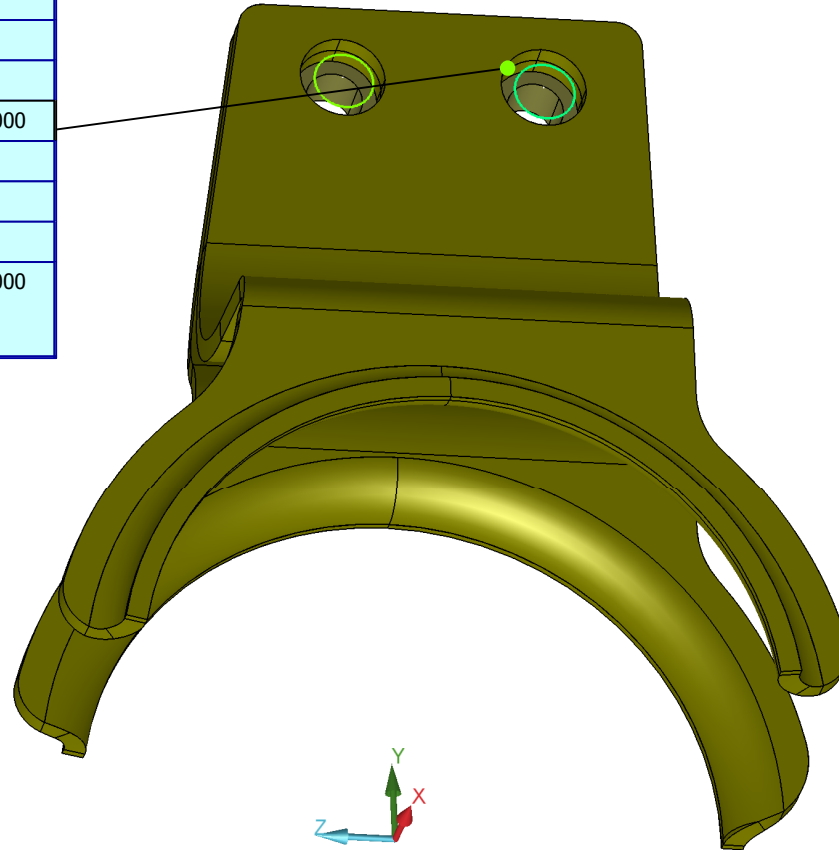
Teil 10

Prüfdatum: 13 10 2018

Änd.St.: 2018-06-11

Messmaschine: DEA Global

⊕	MM	SK1_1 - CIR3					
AX	NOMINAL	MEAS	+TOL	-TOL	DEV	BONUS	OUTTOL
X	-6.493	-6.503			-0.010		
Y	99.814	99.359			-0.454		
Z	-23.000	-23.000			0.000		
DF	10.000	10.000	0.500	0.500	0.000	0.500	0.000
D1					RFS		
D2	75.600	75.425	0.300	0.300	MMC	0.475	
D3	10.000	10.007	0.500	0.500	MMC	1.007	
TP	MMC	0.904	0.500		0.904	0.975	0.000



Bezeichnung: Assembly Maincat Chairconsole

Bemerkung:

Prüfer: Sigitas\_Mikalajūnas

Zchnng-Nr:

Teil 10

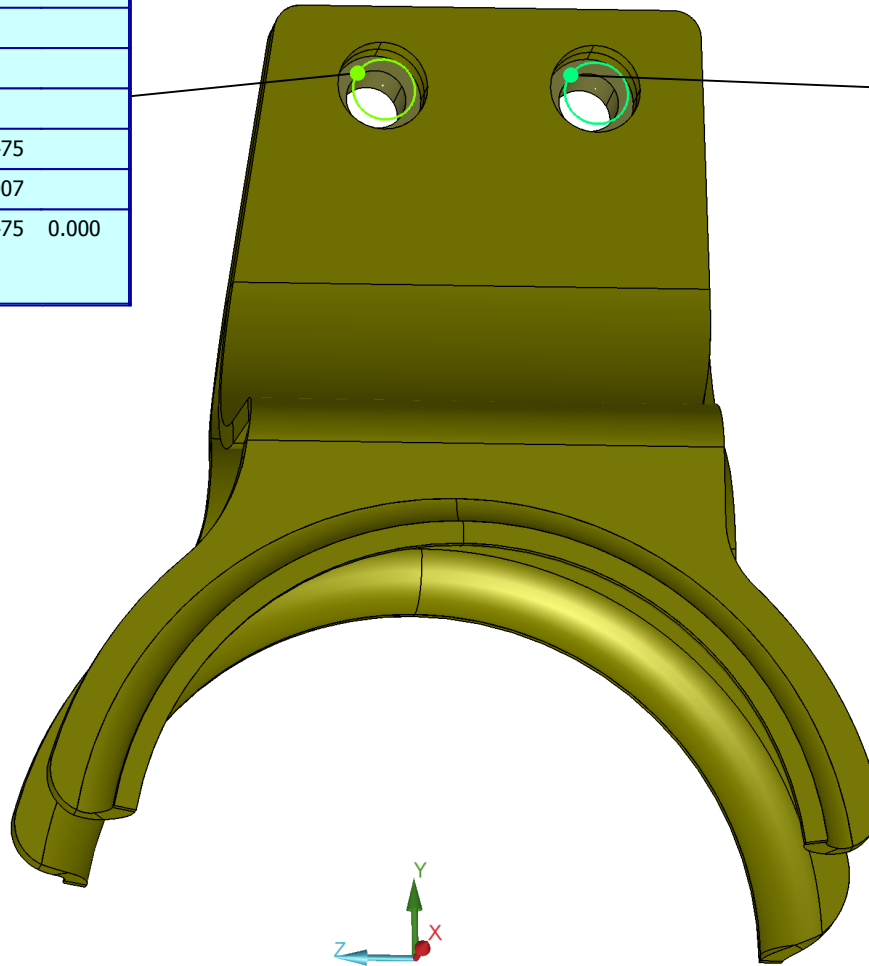
Prüfdatum: 13 10 2018

Änd.St.: 2018-06-11

Messmaschine: DEA Global

⊕	MM	SK2_1 - CIR4 M8					
AX	NOMINAL	MEAS	+TOL	-TOL	DEV	BONUS	OUTTOL
X	-6.493	-6.518			-0.024		
Y	99.814	99.450			-0.364		
Z	0.700	0.584			-0.116		
D1					RFS		
D2	75.600	75.425	0.300	0.300	MMC	0.475	
D3	10.000	10.007	0.500	0.500	MMC	1.007	
TP MMC		0.757	0.500		0.757	0.475	0.000

⊕	MM	SK2_2 - CIR5 M8					
AX	NOMINAL	MEAS	+TOL	-TOL	DEV	BONUS	OUTTOL
X	-6.493	-6.501			-0.008		
Y	99.814	99.380			-0.434		
Z	-23.000	-23.093			-0.093		
D1					RFS		
D2	75.600	75.425	0.300	0.300	MMC	0.475	
D3	10.000	10.007	0.500	0.500	MMC	1.007	
TP MMC		0.883	0.500		0.883	0.475	0.000



Bezeichnung: Assembly Maincat Chairconsole

Bemerkung:

Prüfer: Sigitas\_Mikalajūnas

Zchnng-Nr:

Teil 10

Prüfdatum: 13 10 2018

Änd.St.: 2018-06-11

Messmaschine: DEA Global