

# Optičko mjerenje geometrije elastično deformabilnih proizvoda

---

Lukačić, Luka

Master's thesis / Diplomski rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:769576>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-02**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)



**SVEUČILIŠTE SJEVER**  
**SVEUČILIŠNI CENTAR VARAŽDIN**  
**Studij STROJARSTVO**



DIPLOMSKI RAD br. 020/STR/2020

**OPTIČKO MJERENJE GEOMETRIJE ELASTIČNO  
DEFORMABILNIH PROIZVODA**

Student:  
Luka Lukačić, 0035194308

Mentor:  
dr. sc. Tomislav Veliki

Varaždin, rujan 2020.



## **Predgovor**

Ovaj diplomski rad rezultat je mog trogodišnjeg iskustva u optičkom mjeriteljstvu. U svakoj grani strojarstva, student koji se prvi put susreće s određenom problematikom kreće od osnova. Moj put u optičko mjeriteljstvo započeo je stručnom praksom u tvrtci Topomatika gdje sam nakon uspješno završene stručne prakse pisao završni rad pod nazivom „Postupak mjerenja odljevka manualnim i automatiziranim 3D optičkim sustavima ATOS“. Nakon uspješne obrane završnog rada, zaposlio sam se u Topomatici gdje sam naredne dvije godine skupljao iskustvo i širio znanje uz nesebičnu pomoć kolega od kojih svakako moram spomenuti direktora Tomislava Hercigonju, dr.sc. Nenada Drvara, Marka Horvata, Josipa Kosa, Danijela Ivšaca te ostale suradnike.

Zahvaljujem se mentoru dr.sc. Tomislavu Velikom na znanstvenoj i stručnoj potpori tijekom rada te što mi je omogućio izradu ovog rada.

Najveće hvala mojoj djevojci Evi, roditeljima i obitelji na konstantnoj potpori, velikom odricanju te stalnom motiviranju tijekom školovanja i izrade ovog rada.

# Prijava diplomskog rada

## Definiranje teme diplomskog rada i povjerenstva

ODJEL Odjel za strojarstvo

STUDIJ diplomski sveučilišni studij Strojarstvo

PRISTUPNIK Luka Lukačić

MATIČNI BROJ 0035194308

DATUM

KOLEGIJ Procesna mjerenja

NASLOV RADA Optičko mjerenje geometrije elastično deformabilnih proizvoda

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU Optical measurement of the geometry of elastically deformable products

MENTOR Doc.dr.sc. Tomislav Veliki

ZVANJE dr. sc.

ČLANOVI POVJERENSTVA

1. Doc.dr.sc. Zlatko Botak, predsjednik povjerenstva
2. Doc.dr.sc. Tomislav Veliki, mentor, član
3. Doc.dr.sc. Matija Bušić, član
4. Izv.prof.dr.sc. Sanja Šolić, zamjenska članica
5. \_\_\_\_\_

## Zadatak diplomskog rada

BROJ 020/STR/2020

OPIS

U sklopu diplomskog rada potrebno je obraditi sljedeće teme:

Teoretski uvod u optičko mjeriteljstvo

Opisati optičko pozicioniranje naprave

Mjerenje deformacije krutih i deformabilnih proizvoda.

Razraditi metodu virtualnog strezanja, te kod deformabilnih proizvoda kompenzirati utjecaj gravitacije

Rezultati mjerenja i zaključak.

ZADATAK URUČEN

POTPIS MENTORA

SVEUČILIŠTE  
SJEVER

## Sažetak

Ovaj rad prikazuje inovativan način mjerenja relativno krutih i deformabilnih proizvoda. Rad se sastoji od uvoda i tri praktična primjera na kojima je prikazana primjena optičkog pozicioniranja, virtualnog stezanja i virtualnog stezanja s kompenzacijom gravitacije.

Na početku rada napravljen je uvod u optičko mjeriteljstvo. Prikazani su osnovni podaci za ATOS 5 optički 3D skener, automatiziranu ćeliju ScanBox 5120 i PlusBox koji su korišteni u praktičnom dijelu rada. Navedena su područja primjene rezultata 3D skeniranja kao i osnovni principi rada ATOS 3D skenera.

Prvi praktični dio prikazuje optičko pozicioniranje naprave za 3D skeniranje. Cilj je smanjiti odstupanja stvarne naprave od idealnog CAD modela. Optičko pozicioniranje koristi se za preciznu montažu komponenti u prostoru. Praćenjem pozicije komponente u odnosu na referencu moguće je uživo vidjeti odstupanja u mapi boja kao i odstupanje normala točaka čije odstupanje želimo namjestiti u definiranu tolerancijsku zonu.

Drugi dio praktičnog rada prikazuje mjerenje proizvoda od čeličnog lima u napravi za 3D skeniranje. Pretpostavka je da na geometriju proizvoda nema značajnog utjecaja temperature ili gravitacije zbog debljine čeličnog lima i geometrije proizvoda. Postupkom virtualnog stezanja odstupanje normale stezne točke, u RPS poravnanju, simulacijom se dovodi unutar tolerancijske zone stezne točke. Simulacijom je dobivena sila stezanja te je za kontrolu simulacije sila stezanja primjenjena na čelični lim pomoću opružnog dinamometra.

Treći dio praktičnog rada bavi se problematikom mjerenja deformabilnih proizvoda. Relativno veliki i tanki limovi te polimerni proizvodi prilikom mjerenja se oslanjaju na napravu za mjerenje ili kontrolnik. Sila gravitacije uzrokuje deformaciju takvih proizvoda. Virtualnim stezanjem s kompenzacijom gravitacije proizvod se mjeri u slobodnom stanju. Zatim se simulacijom oduzima utjecaj gravitacije. Potom se proizvod translacija u montažnu poziciju te se dodaje utjecaj gravitacije. Na poslijetku se simulacijom odstupanje steznih točaka dovodi u nominalno stanje.

Ključne riječi: 3D skeniranje, ATOS, optičko pozicioniranje, virtualno stezanje, kompenzacija gravitacije, naprava za 3D skeniranje, kontrolnik, mjerenje deformabilnih proizvoda, simulacija

## Abstract

This paper shows innovative way of measuring rigid and deformable products. It consists of introduction and three practical examples. Practical part shows workflow for optical positioning, virtual clamping and virtual clamping with gravity compensation.

Introduction into optical metrology informs reader about basic working principles of ATOS 3D scanner and other measuring systems that were used in practical part of this paper.

First practical part shows optical positioning of fixture used for 3D scanning. The goal of optical positioning is reducing deviation of real fixture compared with CAD data. Optical positioning is used for precise assembly of the parts in space. Tracking position of component in respect to reference, in live view, deviation of the real part in respect to nominal data can be visualised in a color plot. Also, deviation of surface points is shown in real time so position of each component can be adjusted according to nominal data.

Second practical part shows measuring rigid sheet metal part in 3D scanning fixture. Main assumption in this part is that temperature and gravity does not have significant influence on geometrie of the part. Procedure called virtual clamping is used to reduce deviation of clamping point to zero using FEM simulation. Holding points are defined as RPS points of the part. Result of the simulation is deviation of clamping point inside iteration tolerance and clamping force. To verify results of virtual clamping, clamping force was applied on the sheet metal and the part was measured to compare virtually and mechanically clamped part.

Third practical part shows solution from GOM for measuring deformable parts. Relatively large and thin sheet metal parts, as well as plastic parts, are usually measured on fixtures for measuring or gauges. While part is being measured, influence of gravity can cause deformation of the part. Using procedure called virtual clamping with gravity compensation, part is measured in the free state. After measuring in free state, influence of gravity is removed using FEM simulations. Next step is translating the part into RPS alignment and adding influence of gravity in assembly situation. Final step is virtual clamping using predefined clamping points and reducing deviation of clamping points inside iteration tolerance zone.

Keywords: 3D scanning, ATOS, optical positioning, virtual clamping, gravity compensation, fixture, gauge, measuring of deformable parts, FEM simulation

## Popis korištenih kratica

<b>3D</b>	Trodimenzonalni prikaz
<b>GOM</b>	Društvo za optičko mjeriteljstvo njem. Gesellschaft für optische messtechnik
<b>ATOS</b>	Napredni topometrički senzor eng. Advanced TOPometric Sensor
<b>CMM</b>	Koordinatni mjerni uređaj engl. Coordinate measuring machine
<b>CAD</b>	dizajn potpomognut računalom engl. Computer Aided Design
<b>GD&amp;T</b>	Tolerancija oblika i položaja engl. Geometric Dimensioning and Tolerancing
<b>RPS</b>	Sustav referentnih točaka engl. Reference Point System
<b>PMI</b>	Informacije o procesu proizvodnje integrirane u CAD model engl. Process Manufacturing Information
<b>MSA</b>	Analiza greške mjernog sustava i mjeritelja engl. Measurement System Analysis



# Sadržaj

1.	Uvod u optičko mjeriteljstvo .....	1
1.1.	Bezkontaktna mjerna metoda .....	1
1.2.	ATOS optički 3D skener .....	4
1.2.1.	3D skener ATOS 5 .....	5
1.2.2.	Tritop CMM .....	6
1.2.3.	ATOS ScanBox mjerna ćelija .....	7
2.	Optičko pozicioniranje naprave .....	8
2.1.	Naprava za 3D skeniranje lima .....	9
2.2.	Priprema dijelova naprave za optičko pozicioniranje .....	11
2.3.	Praktični dio .....	12
2.3.1.	Pozicioniranje pravokutne baze .....	12
2.3.2.	Pozicioniranje stupova naprave .....	14
2.3.3.	Pozicioniranje pokrova profila .....	14
2.3.4.	Pozicioniranje magnetnih sfera.....	15
2.3.5.	Rezultat optičkog pozicioniranja.....	16
3.	Mjerenje geometrije krutih proizvoda .....	17
3.1.	Virtualno stezanje limenog proizvoda.....	18
3.1.1.	Mjerenje u napravi za 3D skeniranje .....	19
3.1.2.	Virtualno stezanje.....	20
3.1.3.	Kontrola simulacije .....	21
4.	Mjerenje geometrije deformabilnih proizvoda .....	23
4.1.	Virtualno stezanje s kompenzacijom gravitacije.....	23
4.1.1.	Mjerenje u horizontalnom položaju .....	24
4.1.2.	Oduzimanje utjecaja gravitacije .....	26
4.1.3.	Translacija u montažno stanje i dodavanje utjecaja gravitacije.....	28
4.1.4.	Virtualno stezanje u montažnom stanju.....	29
5.	Zaključak.....	30

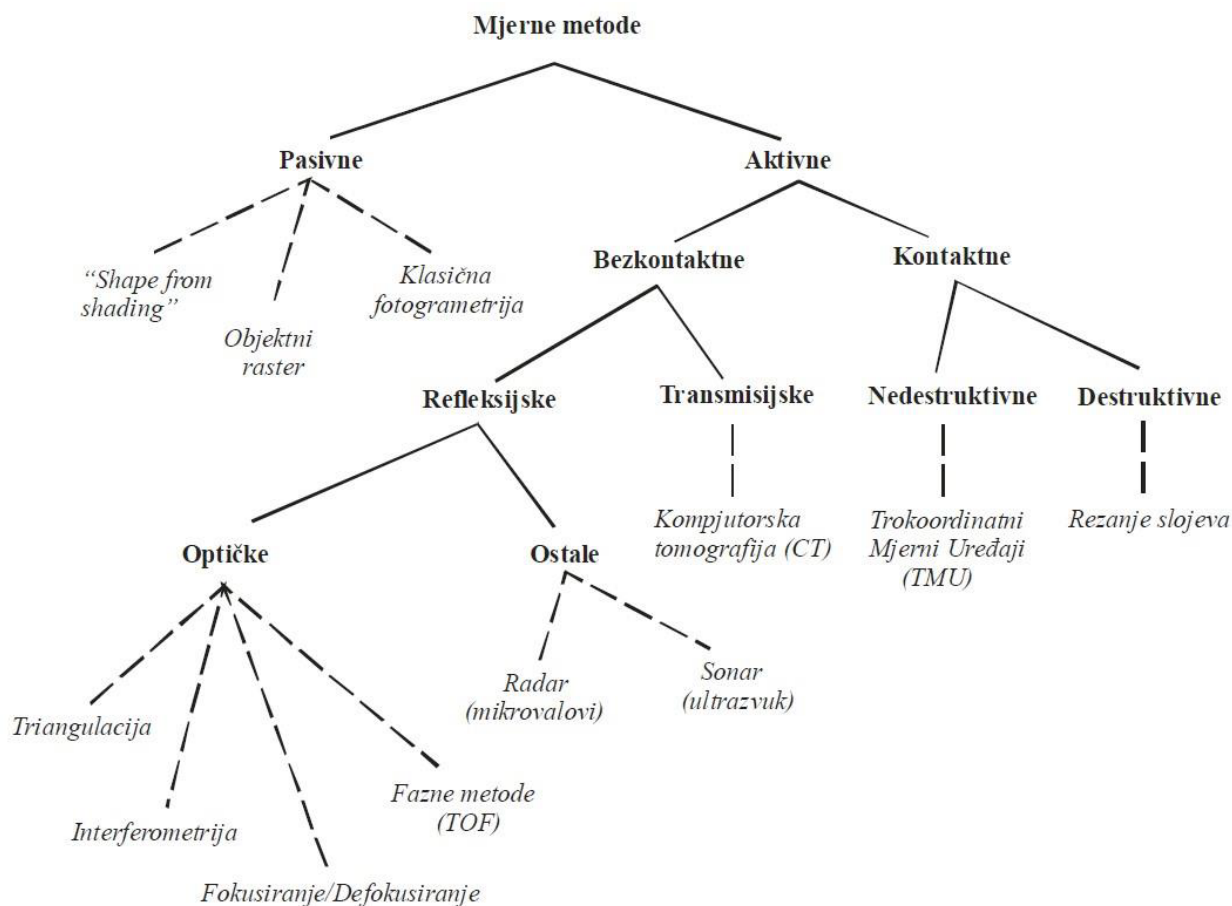
# 1. Uvod u optičko mjeriteljstvo

Razvoj računalne i digitalne tehnologije omogućio je korištenje principa fotogrametrije u svrhu digitalizacije opipljivih predmeta. Digitalizacija, odnosno 3D skeniranje, je postupak pretvaranja geometrije mjerenog predmeta u računalni zapis. Računalni zapis dobiven skeniranjem u strojarstvu se koristi za kontrolu kvalitete, reverzno inženjerstvo, brzu izradu prototipa proizvoda, glodanje i izradu alata te digitalno modeliranje i montažu.

## 1.1. Bezkontaktna mjerna metoda

Mjerne metode moguće je podijeliti na aktivne i pasivne (Slika 1-1). Aktivne mjerne metode moguće je podijeliti na kontaktne i bezkontaktne. Kod kontaktnih metoda dolazi do kontakta mjernog alata i predmeta mjerenja. Npr. kod trokoordinatnih mjernih uređaja dolazi do kontakta mjernog ticala s površinom mjerenog predmeta.

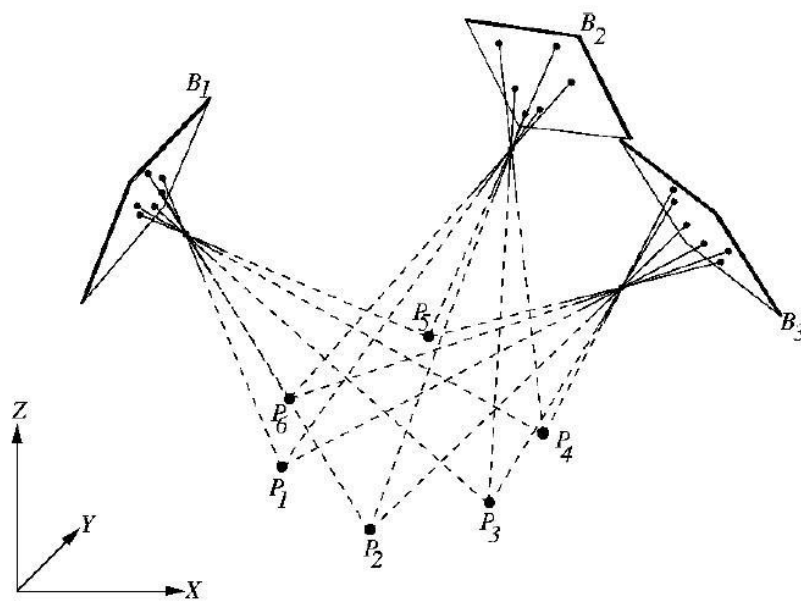
Kod bezkontaktnih metoda nema fizičkog kontakta između mjernog alata i predmeta mjerenja. Informacije o položajima i pomacima točaka dobivaju se snimanjem pomoću kamera koristeći se pritom specifičnim oznakama na površini mjerenog predmeta.



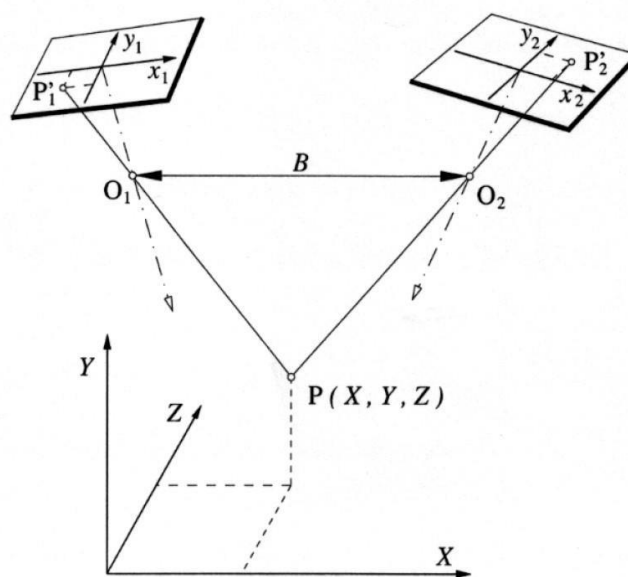
Slika 1-1 Podjela mjernih metoda s obzirom na način definiranja mjerne točke [1]

Rad optičkog skenera temeljen je na principima fotogrametrije koji su poznati još od kraja 19. stoljeća. Optičko mjeriteljstvo je u industriji bilo u drugom planu sve do devedesetih godina 20. stoljeća. Razvojem digitalne fotografije i sve snažnijih računala koja vrše kompleksne kalkulacije, optičko mjerenje je postalo izvedivo kako hardverski tako i softverski. ATOS optički 3D skener iz GOM-a koji je korišten u praktičnom djelu ovog rada definira mjernu točku metodom triangulacije.

Položaj točke u prostoru moguće je odrediti triangulacijom više snopova zraka (Slika 1-2). Ukoliko je poznata orijentacija svakog snopa zraka u koordinatnom sustavu objekta, koordinata objekta može se izračunati presijecanjem dviju zraka u prostoru. Model triangulacije točke pomoću dvije kamere prikazan je na slici 1-3.

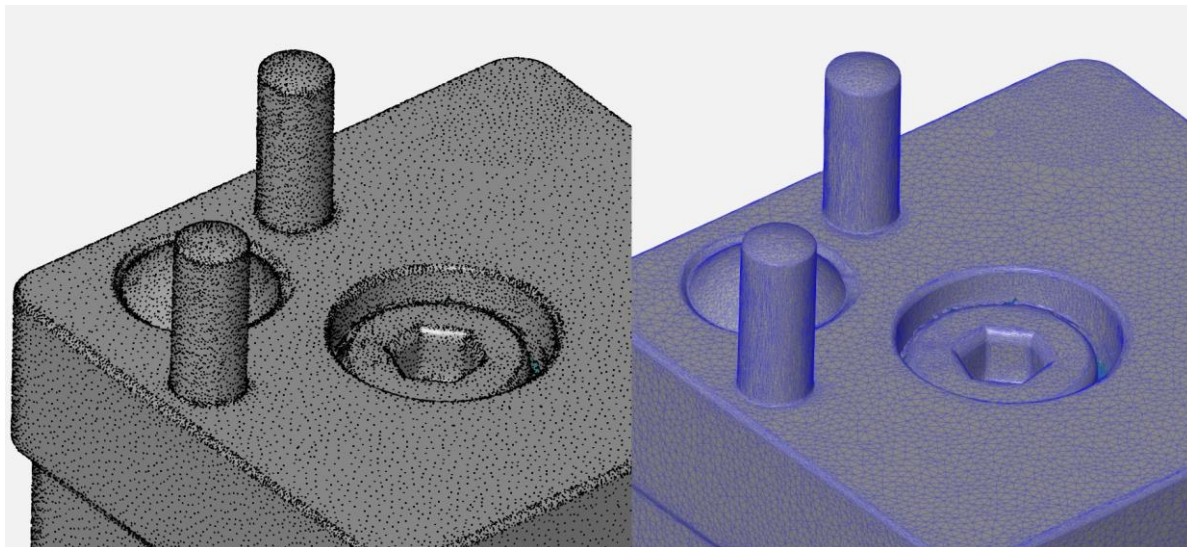


Slika 1-2 Određivanje točke  $P_i$  triangulacijom snopova zraka iz različitih pogleda  $B_i$  [1]



Slika 1-3 Triangulacija položaja točke  $P$  primjenom dvije kamere [1]

Oblak točaka kojima su poznate koordinate X, Y i Z spajaju se u poligone, odnosno trokute minimalne površine između tri mjerne točke. Na taj način dobiva se poligonizirana mreža objekta s vrlo visokom rezolucijom. Veličina površine trokuta ovisi o zakrivljenosti mjerene površine. Površinom veći trokuti se nalaze na ravnoj površini, dok se na zakrivljenoj površini nalaze manji trokuti (Slika 1-4).



*Slika 1-4 Prikaz oblaka točaka i poligonizirane mreže trokuta*

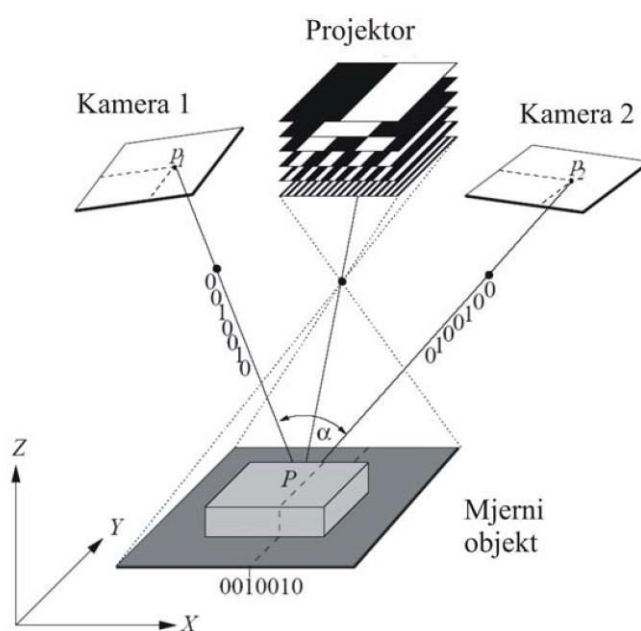
Poligonizirane mreže mogu se sastojati od nekoliko milijuna poligona i na taj način vrlo detaljno opisuju objekt mjerenja. Daljnja obrada podataka uvelike ovisi o potrebama i zadacima za analizu i primjenu rezultata mjerenja.

3D skeniranje je proces kojim se stvarni objekt preslikava u digitalni oblik. Tehnologija 3D skeniranja ima primjenu u industrijskom dizajnu, reverznom inženjeringu i izradi prototipova, kontroli kvalitete, dokumentaciji kulturnih artefakata, stomatologiji, filmskoj industriji, izradi virtualnog svijeta u računalnim igrama i sl.

3D skener je uređaj koji prema navedenim principima analizira stvarni objekt da bi prikupio informaciju o njegovom obliku. Svjetlost koja se projicira na objekt mjerenja se reflektira i detektira pomoću dvije kalibrirane kamere. Kod prozirnih, refleksi i objekata s efektom ogledala reflektirana svjetlost se od objekta odbija u svim smjerovima ili svjetlost prolazi kroz objekt mjerenja te je nije moguće detektirati. U tom slučaju potrebna je priprema površine na način da se nanosi tanak sloj mješavine titanijevog oksida ( $\text{TiO}_3$ ) i etilnog alkohola ( $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ ) u propisanoj mjeri. Tanki sloj titanijevog oksida se zadržava na površini objekta, dok alkohol ishlapi. Na taj način moguće je digitalizirati objekte čija površina nije pogodna za optičko mjerenje.

## 1.2. ATOS optički 3D skener

Tvrtka GOM proizvodi optičku mjernu opremu za analizu geometrije, tolerancije oblika i položaja (ATOS) te pomaka i deformacija (Aramis). 3D skeneri iz GOM-a koriste tehnologiju plavog svijetla iz razloga što je valna duljina plavog svijetla najmanje zastupljena u prirodi. 3D skener ATOS koristi stereo postavu kamere i projektor koji na mjereni objekt projicira paralelne uzorke linija (Slika 1-5). Pomoću dvije kalibrirane kamere snima se svaki pojedini piksel te računalo s visokom točnošću određuje 3D koordinate za svaki od 12 milijuna piksela koji se nalaze u mjernom volumenu skenera.



Slika 1-5 Princip rada ATOS projekcijskog skenera [1]

Da bi se mjereni objekt potpuno digitalizirao potrebno je napraviti više pojedinačnih mjerenja sa različitih strana. Za spajanje skenova koriste se unaprijed postavljene nekodirane referentne točke koje se nalaze na mjeranom objektu ili na posebno konstruiranoj napravi. Referentne točke postavljaju se u zajednički koordinatni sustav i omogućavaju spajanje skenova. Korištenje referentnih točaka i smještanje istih u zajednički koordinatni sustav eliminira potrebu za korištenje posebnih uređaja za pozicioniranje ili optičkih sustava za praćenje. Sustav također ima ugrađen sistem detekcije pokreta. Ukoliko se skener ili mjereni objekt pomaknu jedan u odnosu na drugi sustav automatski ponavlja mjerenje.

ATOS sustav ima širok spektar mjernih volumena. Tako se u jednom trenutku može mjeriti automobil u mjerilu 1:1, a za samo 15-tak minuta sustav se može prilagoditi za mjerenje manjih objekata kao što su plastična boca, gipsani model zubala ili kućište nekakvog električnog sklopa. Mjerna nesigurnost sustava ovisi o veličini objekta.

### 1.2.1. 3D skener ATOS 5

ATOS 5 (Slika 1-6) dizajniran je za industrijsku uporabu. Brzo i precizno mjeri i pod otežanim uvjetima. 3D mjerenje cijelih površina omogućuju sveobuhvatnu kontrolu proizvodnih procesa i kvalitete proizvoda, vizualizira skrivene pogreške i time ubrzava proizvodne procese.



*Slika 1-6 Optički 3D skener ATOS 5 [2]*

Opremljen snažnim izvorom svjetlosti, ATOS 5 daje vrlo precizne podatke za širok spektar ručnih i automatiziranih aplikacija: od alata i kalupa do polimernih proizvoda i metalnih dijelova. Kvaliteta podataka GOM-ovog sustava pogotovo je vidljiva u oštrocini detalja 3D modela, na primjer, u preciznom prikazu najmanjih detalja, malih radijusa ili oštrocini rubova.

Inovativne tehnologije skenera:

- Ekvalizator plavog svjetla
  - Jedinstvena nekoherentna svjetlost bez pojavljivanja “speckle” efekta
- Niska razina šumova
- Precizno skeniranje složenih geometrija
- Visoka razlučivost detalja
- Projekcija vrlo malog uzorka linija po jedinici površine
- Intenzivan LED izvor svjetlosti
- Brza obrada podataka
- Industrijsko povezivanje optičkim kabelima i robusnim priključcima
- Otporan na okolna elektromagnetska polja
- Visoki protok podataka
- Aktivna regulacija temperature [2]

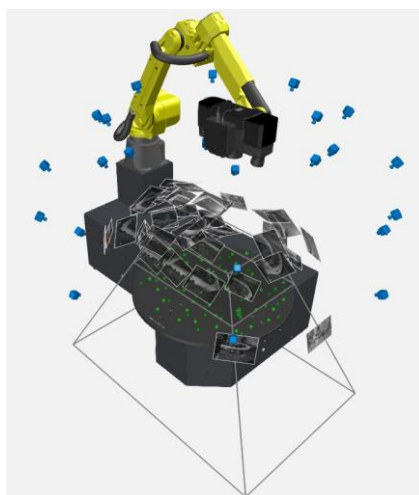
## 1.2.2. TRITOP CMM

TRITOP je mobilni optički mjerni sustav koji s visokom preciznošću određuje 3D položaj markera i drugih karakterističnih elemenata s površine mjernoga objekta i omogućava brza i efikasna mjerenja na licu mjesta. [2]

PlusBox (Slika 1-7) je fotogrametrijski, TRITOP dodatak na skener koji se koristi u automatiziranim ćelijama ScanBox. Za dobivanje 3D koordinata referentnih točaka, adaptera i linija potrebno je fotografirati pripremljen objekt iz više različitih pozicija koje tvore kupolu oko objekta (Slika 1-8). Za određivanje skale objekta koriste se umjerene i certificirane mjerne motke.



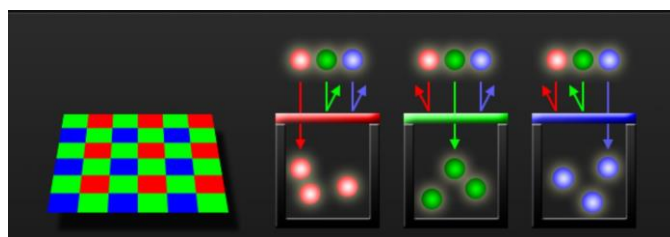
*Slika 1-7 PlusBox*



*Slika 1-8 Prikaz mjernih pozicija za dobivanje slika koje tvore kupolu oko objekta mjerenja*

Za 3D skeniranje proizvoda koji su više od tri puta veći od mjernog volumena skenera potrebno je koristiti TRITOP kako bi se izbjeglo nagomilavanje greške transformacije svakog pojedinog skena. Kamere ATOS senzora snimaju bezbojne slike dok su TRITOP fotografije u boji. Razlog bezbojnih slika je način tvorenja piksela kod slika u boji.

Velika većina današnjih kamera koristi Bayer filtar (Slika 1-9) za snimanje slika u boji. Bayer filtar ima oblik matrice gdje je svako polje veličine piksela i propušta jednu od tri boje, crvenu, plavu ili zelenu (RGB). Dobivena slika sastoji se od piksela koji sadrže informaciju o samo jednoj od tri boje. Takva slika se šalje iz senzora prema sustavu za obradu. Zbog najveće osjetljivosti ljudskog oka na zelenu boju, matrica sadrži 50% polja koji propuštaju zelenu boju i po 25% polja koju propuštaju plavu i crvenu boju. [4]



Slika 1-9 Bayer-ov filter

### 1.2.3. ATOS ScanBox mjerna ćelija

ATOS ScanBox je serija automatiziranih ćelija za serijsko mjerenje komada različitih dimenzija (Slika 1-10). ATOS ScanBox omogućuje potpuno mjerenje površina objekata svih dimenzija, lako razumljivu vizualizaciju rezultata, jednostavno pronalaženje problema, potpuno izvještavanje te iznimno velik broj mjernih točaka [2].



Slika 1-10 ATOS ScanBox mjerne ćelije [3]

Svaka mjerna ćelija sastoji se od nekoliko modula. Kućište u kojem se mjeri, robotska ruka koja premješta skener u zadane pozicije, optički skener te rotacijski stol na kojem se mjere komadi. Svi moduli su povezani u program ATOS Professional Live VMR. Interakcija među navedenim modulima mjerne ćelije osigurava sigurnost i bezbrižno rukovanje sustavom bez straha od kolizije robota ili skenera.

Prednosti ScanBox mjernih ćelija:

- Efektivno smanjenje utjecaja operatera na rezultate mjerenja
- Statističko praćenje i analiza rezultata
- Ciljana optimizacija u proizvodnim procesima s manje ponavljanja
- Minimalizirana upotreba mjernih instrumenata i kontrolnih naprava
- Stalna dostupnost digitaliziranih podataka



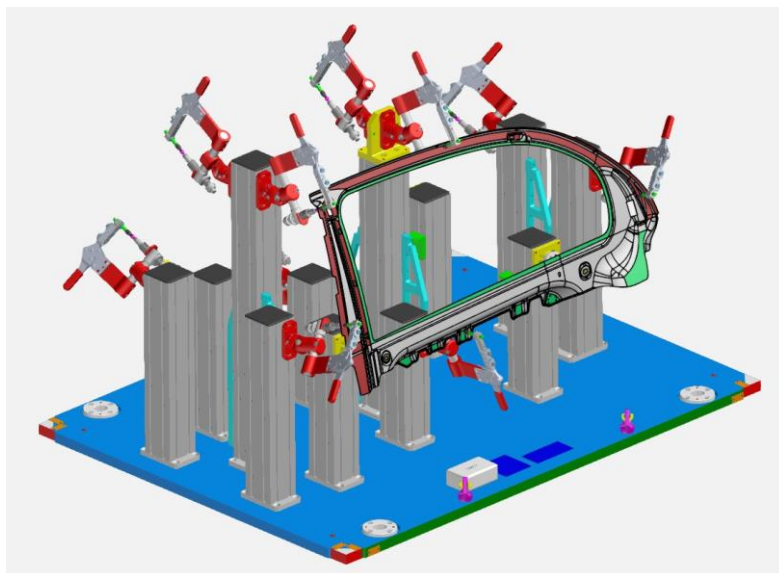
## 2. Optičko pozicioniranje naprave

Naprava prikazana u ovom dijelu rada koristi se za 3D skeniranje lima. Najvažnija funkcija naprave za 3D skeniranje je eliminacija pomaka komada u napravi prilikom mjerenja. Na napravu se postavljaju referentne točke i na taj način se smanjuje vrijeme pripreme proizvoda za 3D skeniranje. Kod izrade naprava za 3D skeniranje vrlo često se koriste standardizirani aluminijski profili i prihvati koji su prilagođeni geometriji proizvoda. Za magnetične komade koriste se prihvati izrađeni od magneta. Za polimerne proizvode sve češće se koriste prihvati izrađeni aditivnim tehnologijama zbog mogućnosti izrade vrlo kompleksne geometrije prihvata u relativno kratkom vremenu.

Kada govorimo o napravama za kontroliranje (engl. Gauge, Slika 2-1), one moraju biti izrađene u točnosti koja ovisi o tolerancijskoj zoni koja se kontrolira. Manja tolerancijska zona kontroliranog proizvoda znači povećanje troškova izrade kontrolnika, posljedično tome povećava se cijena proizvoda i smanjuje konkurentnost. Kada rezultat kontroliranja neke geometrijske značajke dobivamo pomoću kontrolnika to izaziva niz problema i utjecaja na rezultat kontrole.

Nedostaci kontrolnika:

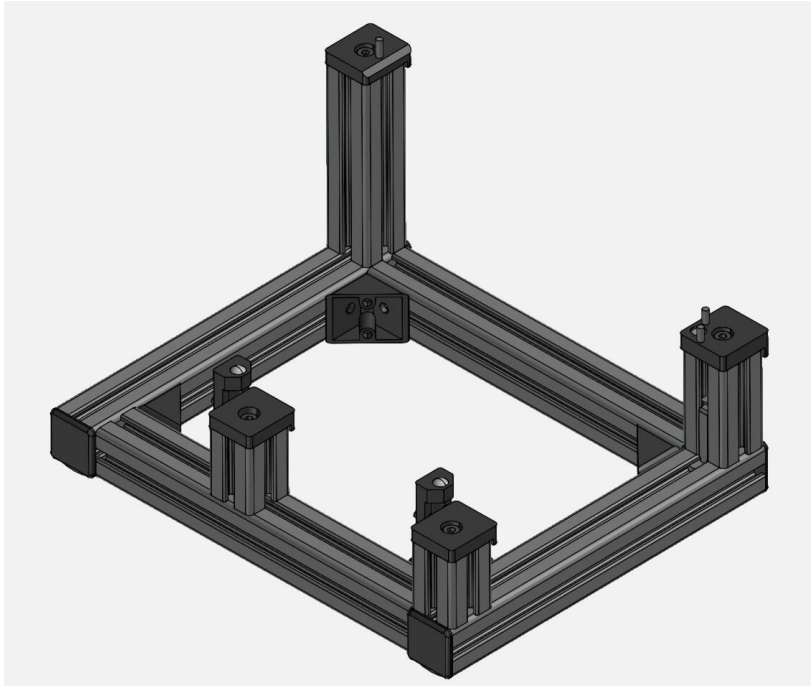
- masivna izvedba za veće proizvode
- kompleksna konstrukcija prilikom većeg broja kontrolnih točki
- umjeravanje i recertifikacija kontrolnika
- promjena CAD modela zahtjeva modifikacije kontrolnika
- skladištenje i cijena



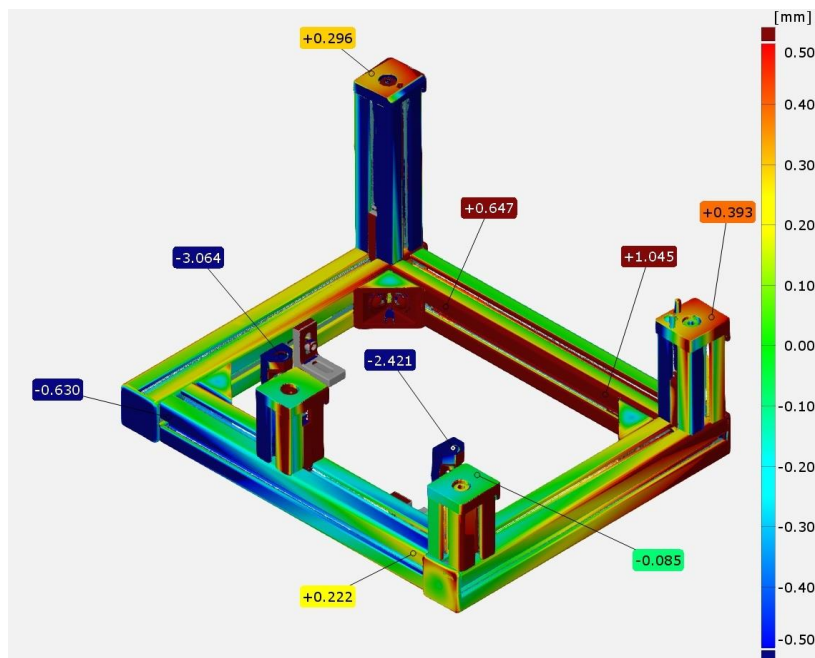
*Slika 2-1 Prikaz kontrolnika i dijela karoserije prednjih vrata automobila*

## 2.1. Naprava za 3D skeniranje lima

Cilj optičkog pozicioniranja naprave za 3D skeniranje je smanjenje odstupanja stvarne naprave od idealnog CAD modela (Slika 2-2). Naprava je bila korištena na raznim sajmovima, radionicama i prezentacijama mjerne opreme tvrtke Topomatika d.o.o. Iz tog razloga došlo je do raznih odstupanja naprave u odnosu na nominalno stanje (Slika 2-3).



Slika 2-2 CAD model naprave za 3D skeniranje lima



Slika 2-3 Prikaz odstupanja postojećeg stanja u odnosu na CAD model

3D skeneri iz GOM-a imaju mogućnost praćenja točaka u definiranom koordinatnom sustavu. Program ATOS Professional u kombinaciji s ATOS skenerom može uživo pratiti referentne točke. Tijekom praćenja točaka program kontinuirano prati i mjeri pomake nekog predmeta te prikazuje odstupanja u odnosu na definirani koordinatni sustav ili nominalno stanje.

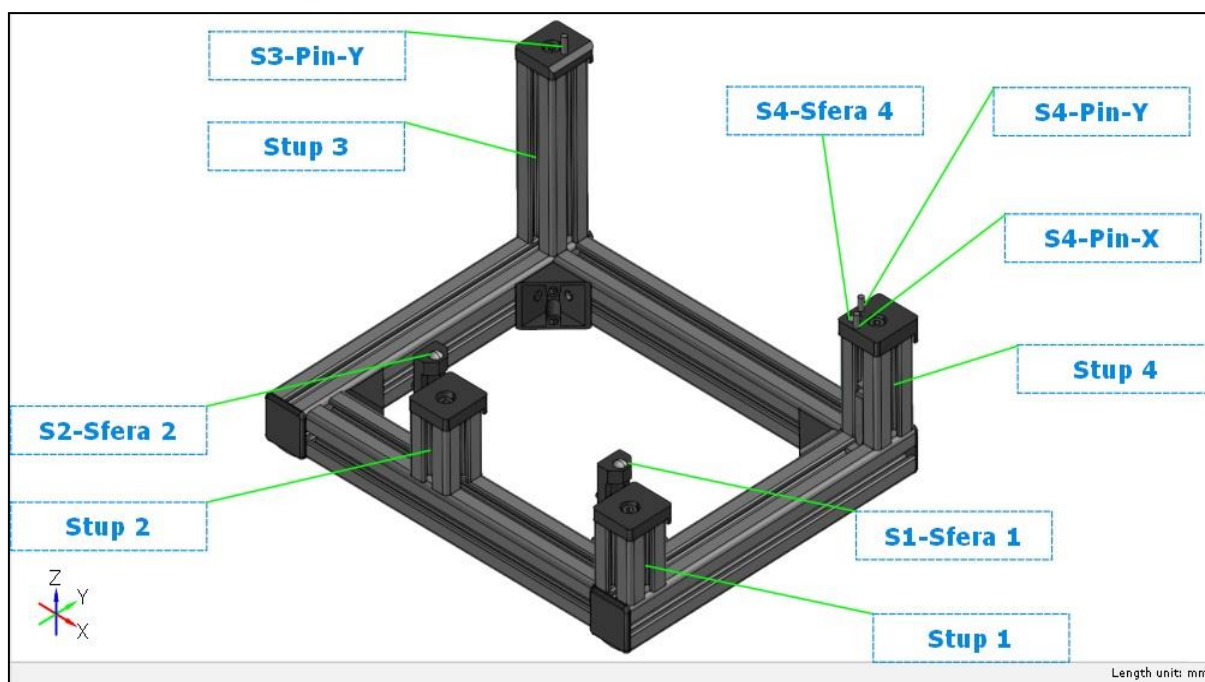
Optičko praćenje koristi se za:

- raspodjelu i preciznu montažu objekata
- prikaz i analizu deformacija
- mjerenje geometrijskih elemenata pomoću mjernog ticala
- mjerenje geometrijskih elemenata pomoću adaptera



Slika 2-4 Mjerna ticala i adapteri za optičko praćenje [3]

U ovom dijelu rada naglasak je stavljen na preciznu montažu naprave za 3D skeniranje. Općenito, optičko pozicioniranje koristi se za preciznu montažu proizvoda te pozicioniranje komponenti na radni stol obradnih strojeva.

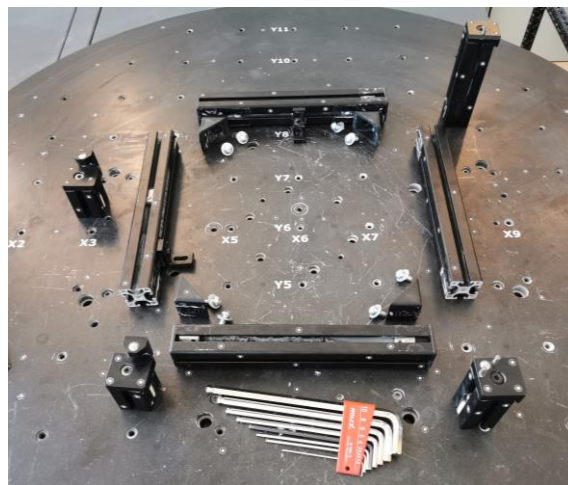


Slika 2-5 Oznake i dijelovi naprave

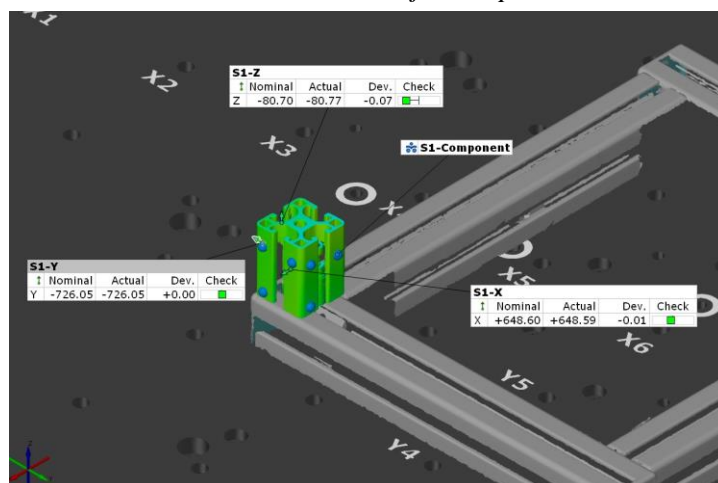
Naprava (Slika 2-5) je sastavljena od aluminijskih profila, magnetnih sfera te pinova. Na pravokutnu bazu montirana su četiri stupa. Tri magnetne sfere sprječavaju pomak lima u smjeru Z osi koordinatnog sustava. S3 i S4-Pin-Y sprječava gibanje lima u Y smjeru osi koordinatnog sustava, dok S4-Pin-X sprječava gibanje lima u X smjeru osi koordinatnog sustava. Na taj način oduzeto je šest stupnjeva slobode gibanja tijela u prostoru te je osigurano mjerenje bez pomaka komada u napravi.

## 2.2. Priprema dijelova naprave za optičko pozicioniranje

Naprava je najprije 3D skenirana kako bi se ustanovilo postojeće stanje, odnosno odstupanje u odnosu na CAD model. Nakon toga naprava je rastavljena i na svaki element postavljene su referentne točke čija će se pozicija pratiti prilikom ponovne montaže (Slika 2-6). Svaki od dijelova je zasebno skeniran te je napravljena komponenta preklopljena prema CAD modelu naprave. Nadalje, napravljene su površinske točke na skeniranoj geometriji čije će odstupanje biti prikazano uživo prilikom optičkog pozicioniranja kao i odstupanje u mapi boja (Slika 2-7).



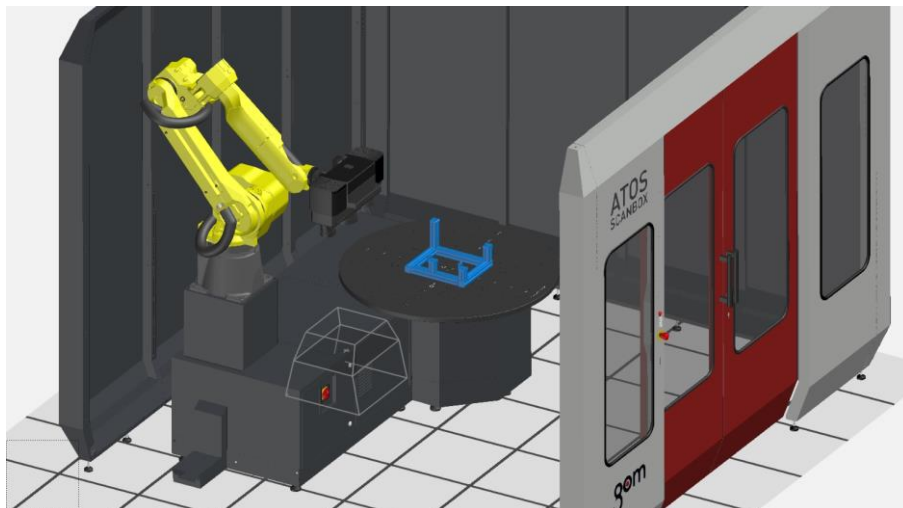
Slika 2-6 Rastavljena naprava



Slika 2-7 Komponenta stupa S1 s pripadajućim kontrolnim površinskim točkama i prikazanim odstupanjem od referentne pozicije u mapi boja

## 2.3. Praktični dio

Za optičko pozicioniranje optimalno je korištenje mjernog volumena koji je nešto veći od objekta koji se prati. Mjerna postava (Slika 2-8) korištena za optičko pozicioniranje je ScanBox 5120 te ATOS 5 skener s mjernim volumenom 500 mm.

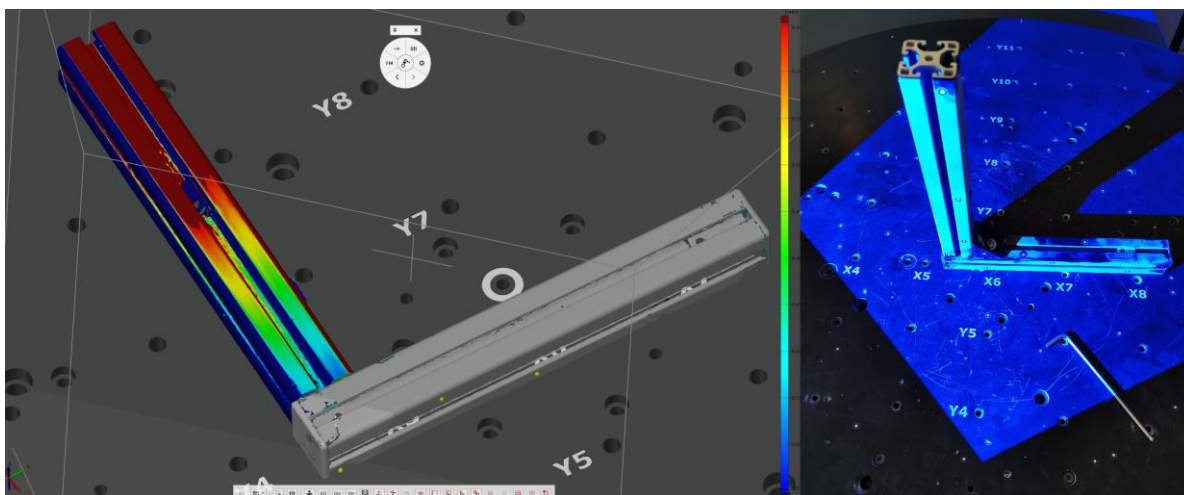


Slika 2-8 Mjerna postava – ScanBox 5120 i ATOS 5 MV500

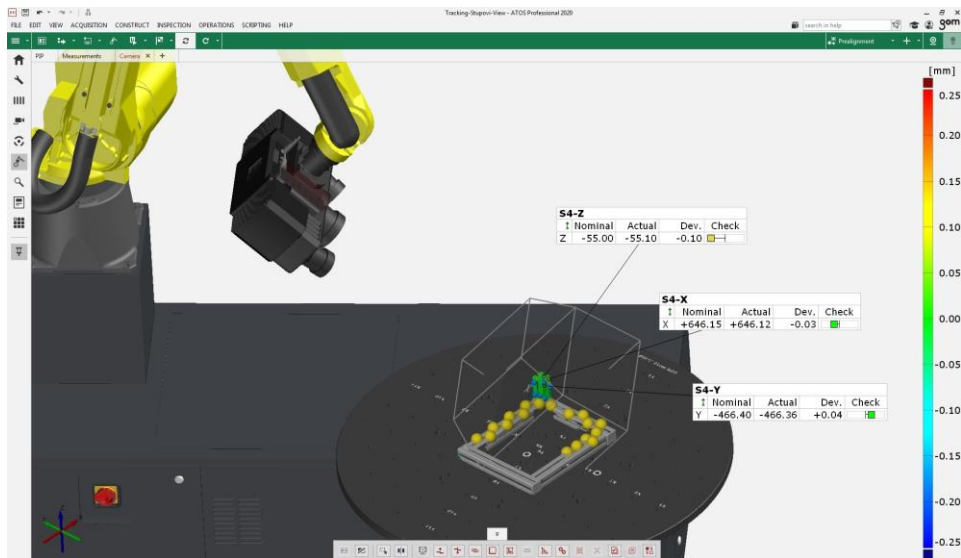
Pozicioniranje naprave napravljeno je u četiri koraka. Najprije je pozicionirana pravokutna baza. Zatim su namješteni stupovi na ispravnu poziciju. Potom su namješteni pokrovi profila na kojima se nalaze sfere i pinovi. Na poslijetku su namještene S1 i S2 sfere. Svaka prethodno namještena komponenta služi kao referenca za pozicioniranje sljedeće.

### 2.3.1. Pozicioniranje pravokutne baze

Pogled uživo prilikom optičkog pozicioniranja, osim položaja točaka uživo pratiti odstupanja u mapi boja (Slika 2-9). Kada stavimo komad koji želimo pozicionirati u mjerni volumen skenera, uživo se izračunavaju odstupanja točaka (Slika 2-10).

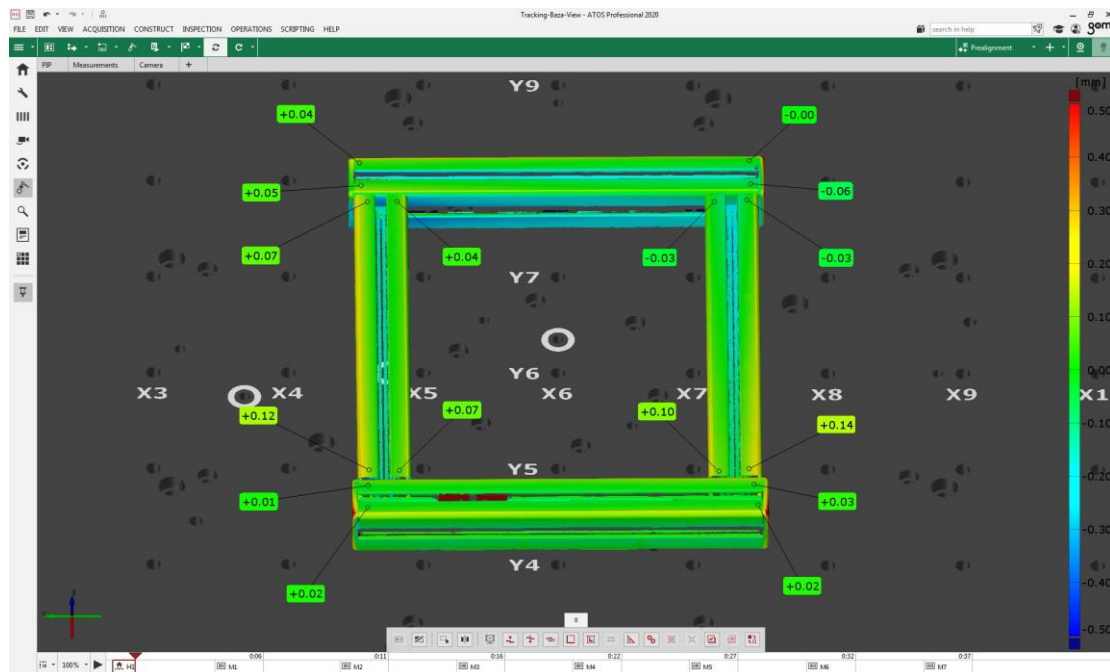


Slika 2-9 Live prikaz odstupanja u mapi boja



Slika 2-10 Prikaz odstupanja površinskih točaka

Optičkim pozicioniranjem želimo pozicije određenih točaka što više približiti nominalnom stanju CAD modela. Pomicanjem jedne komponente u odnosu na drugu prikazuju se odstupanja te nam je cilj smanjiti ta odstupanja u određenu tolerancijsku zonu. Optimalan rezultat je postignut kada nam se u prikazu uživo pojavi zelena boja. Problem koji se javio prilikom pozicioniranja baze vezan je uz stezanje vijaka kutnika aluminijskih profila. U pogledu uživo pozicija komponente odgovara nominalnom stanju, no nakon stezanja vijaka javlja se pomak koji se desio pod utjecajem momenta stezanja od 3 Nm. Iznos odstupanja dobiven stezanjem zatim je kompenziran na način da je namješteno odstupanje u suprotnom smjeru te je nakon stezanja vijaka odstupanje bilo zadovoljavajuće (Slika 2-11).



Slika 2-11 Rezultat optičkog pozicioniranja baze

### 2.3.2. Pozicioniranje stupova naprave

Prethodno namještena baza korištena je kao referenca za pozicioniranje stupova. Namještena je tolerancijska zona  $\pm 0.1$  mm na površinske točke. Zelena boja u Check koloni rezultata prikazuje da je vrijednost unutar postavljene tolerancijske zone. Žuta boja označava vrijednost na gornjoj ili donjoj granici tolerancijske zone, dok nam crvena oznaka govori da je točka izvan granica tolerancije (Slika 2-12).



Slika 2-12 Rezultat optičkog pozicioniranja stupova

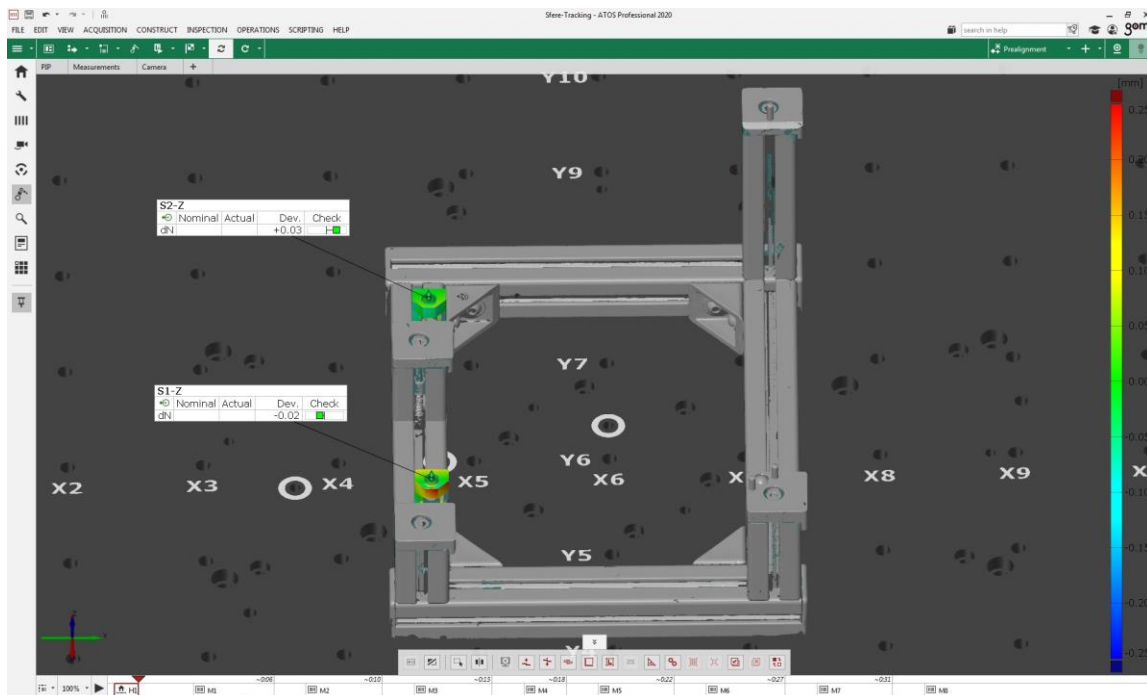
### 2.3.3. Pozicioniranje pokrova profila



Slika 2-13 Rezultat optičkog pozicioniranja pokrova aluminijskih profila

Slika 2-13 prikazuje rezultate pozicioniranja pokrova aluminijskih profila. Na pokrov 1 i 2 se montiraju preostale dvije sfere. Svaka sfera se montira pomoću dva vijka te je moguća njihova translacija u smjeru Y i Z osi. Iz tog razloga pokrovi 1 i 2 ne moraju biti ispravno podešeni jer možemo regulirati visinu sfera 1 i 2 pomoću montaže na različite visine (vidi sljedeće potpoglavlje). Na pokrovu 3 nalazi se S3-Pin-Y, a na pokrovu 4 se nalazi S4-Sfera, S4-Pin-X i S4-Pin-Y. Svim elementima dodjeljene su tri površinske točke s tolerancijskom zonom +/- 0.05 mm te je prikazano odstupanje od nominalne geometrije u mapi boja.

### 2.3.4. Pozicioniranje magnetnih sfera



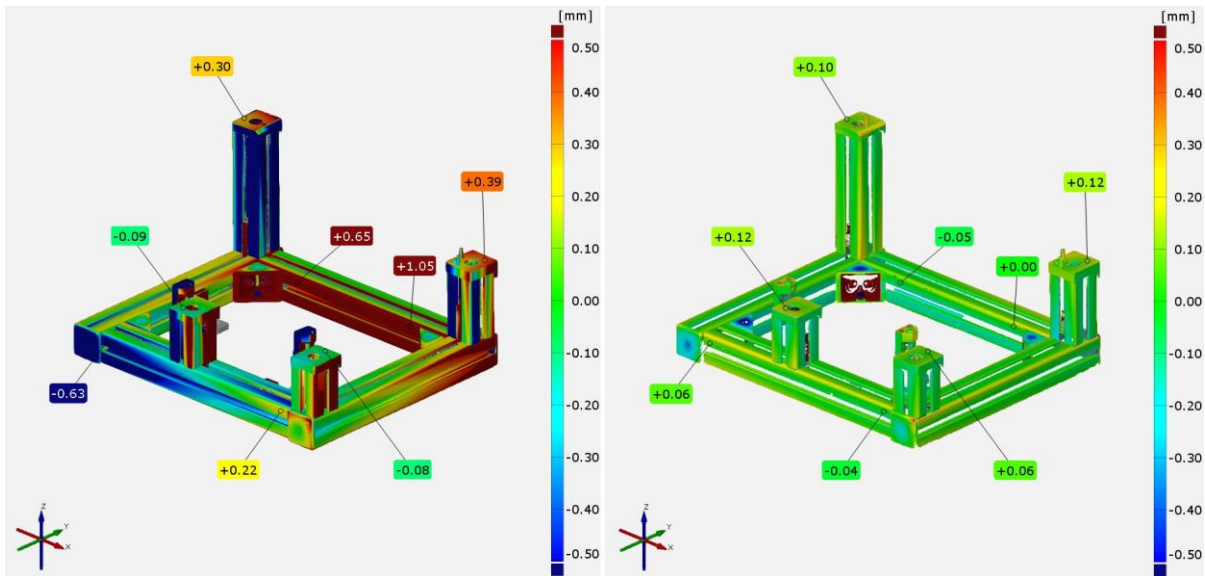
Slika 2-14 Rezultat optičkog pozicioniranja magnetnih sfera

Referenca za pozicioniranje sfera korišten je rezultat prethodnog namještanja pokrova aluminijskih profila. Na slici (2-13) prikazan je rezultat pozicioniranja sfera. Prikazano je odstupanje površinske točke sfera u smjeru normale osi Z koordinatnog sustava. Odstupanje u mapi boja za S1-Sferu prikazuje crvenu boju. Razlog tome je oštećeni dio, no za primjenu ove naprave važnije je odstupanje normale točke jer se na tu točku oslanja lim koji se mjeri u napravi.

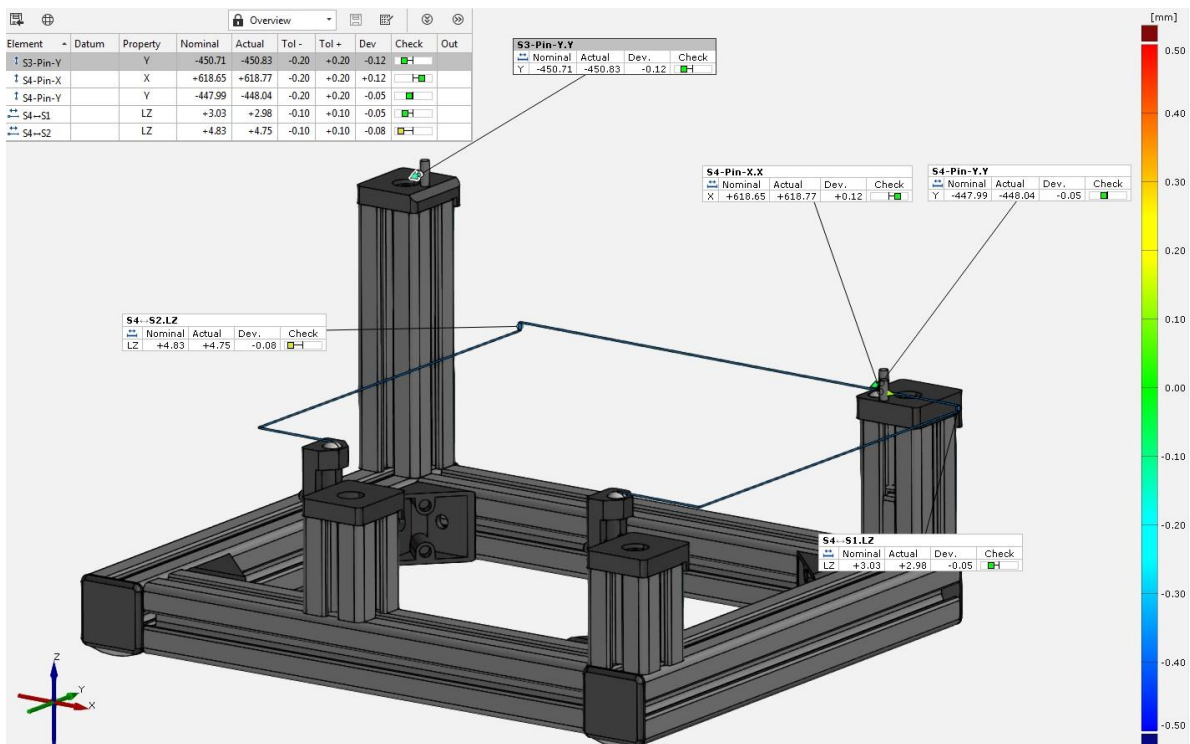


### 2.3.5. Rezultat optičkog pozicioniranja

Rezultat odstupanja skenirane geometrije od CAD modela prikazan je na slici 2-15. Također prikazano je stanje prije i nakon optičkog pozicioniranja. Prikaz u mapi boja vrlo zorno i intuitivno prikazuje rezultate te se iz njih može vidjeti na koji način optičkim pozicioniranjem možemo smanjiti odstupanja stvarne naprave. Slika 2-16 prikazuje odstupanja magnetnih sfera i pinova koji ograničavaju gibanje lima u napravi. Svi ostali rezultati i mjere dostupni su u prilogu ovog rada. Izvještaj je izdan prema predlošku za pdf izvještaje koje koristi Topomatika d.o.o. kao rezultat usluga skeniranja i mjerenja.



Slika 2-15 Prikaz odstupanja početnog i korigiranog stanja u mapi boja



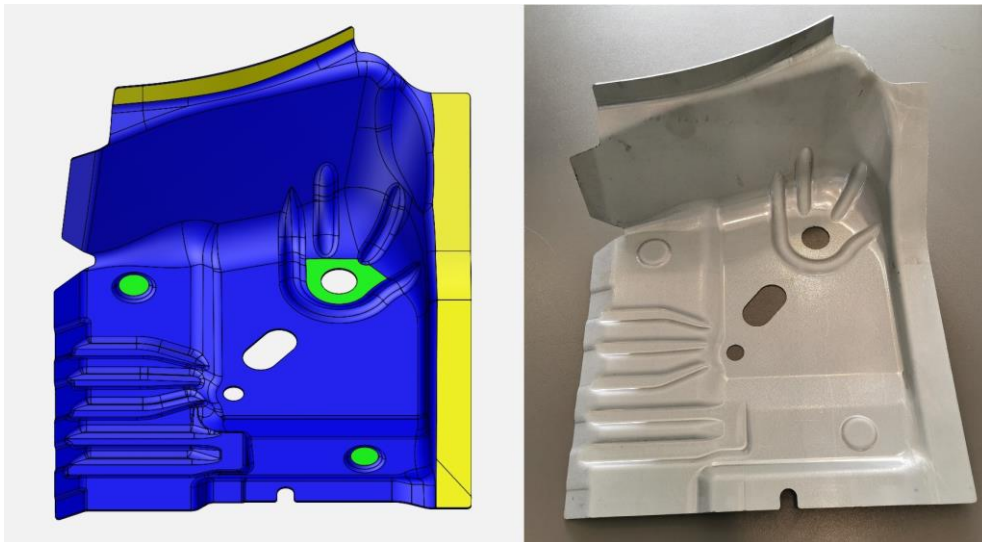
Slika 2-16 Odstupanje magnetnih sfera i pinova nakon optičkog pozicioniranja

### 3. Mjerenje geometrije krutih proizvoda

Kruto tijelo je idealizirano tijelo nepromjenljiva oblika i volumena. Pod utjecajem vanjskih sila može mu se promijeniti gibanje, ali uzajamni razmak između bilo kojih dviju čestica ostaje nepromijenjen. U stvarnosti kruto tijelo ne postoji, ali su promjene oblika stvarnih tijela često tako male da se mogu zanemariti i stvarno se tijelo može proučavati kao kruto tijelo.[8]

Najznačajniji utjecaj na promjenu oblika tijela prilikom mjerenja ima temperatura i gravitacija. Ukoliko prilikom mjerenja proizvoda održavamo stalnu temperaturu te imamo sustav kalibriran na istoj temperaturi možemo zanemariti utjecaj toplinskog širenja tijela.

U ovom dijelu rada bit će prikazano mjerenje lima na koji gravitacija ima zanemariv utjecaj zbog debljine lima i geometrije proizvoda (Slika 3-1).



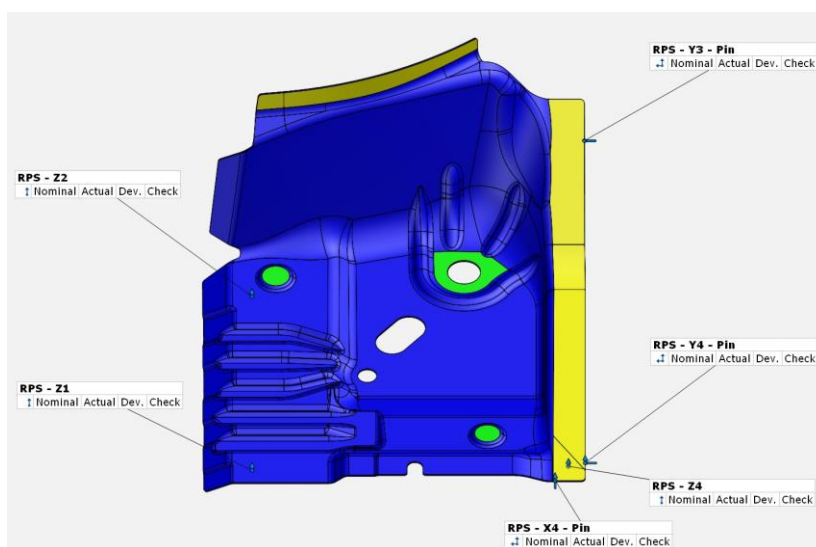
*Slika 3-1 CAD model i proizvod od čeličnog lima*

U travnju 2019. godine GOM je predstavio inovativan način mjerenja proizvoda nazvan virtualno stezanje. Virtualno stezanje je postupak kod kojeg se komad mjeri u slobodnom stanju ili u napravi za 3D skeniranje te se nakon toga virtualnim stezanjem (korištenjem FEM simulacija) odstupanje steznih točaka dovodi u nulu. Na taj način se nastoji ukloniti kontrolnike (engl. Gauge) iz kontrole kvalitete finalnih proizvoda zbog njihovih ranije spomenutih nedostataka.

Metoda konačnih elemenata je najraširenija metoda za rješavanje problema u strojarstvu korištenjem matematičkih modela. Tipični problemi koji se rješavaju su modalna analiza, prijenos topline, strujanje fluida, problemi prilikom transporta te elektomagnetski potencijal. Za rješavanje problema koriste se diferencijalne parcijalne jednačbe. Metoda konačnih elemenata podijeli jedan veliki sistem na puno manje i jednostavnije dijelove koji se zovu konačni elementi. Diskretizacijom CAD modela dobiva se simulacijski model koji ima konačan broj točaka, čvorova ili poligona. Definiranjem rubnih uvijeta dobiva se sistem algebarskih jednačbi čija se rješenja koriste za analizu rezultata. [5]

### 3.1. Virtualno stezanje limenog proizvoda

Lim koji će se mjeriti u ovom dijelu rada ima definiran sistem referentnih točaka (RPS) (Slika 3-2). Za individualne djelove i sklopove u automobilskoj industriji definiraju se referentne točke u odnosu na koordinatni sustav CAD modela cijelog vozila. Cilj sistema referentnih točaka je pozicioniranje komponente ili sklopa u prostoru u odnosu na globalni koordinatni sustav. RPS točke trebale bi se koristiti u stabilnim područjima i njihova normala bi morala biti paralelna u odnosu na osi globalnog koordinatnog sustava. RPS točke su baza za kreiranje tolerancijskih tablica, planiranje mjerenja i montažnih postupaka.



Slika 3-2 RPS točke limenog proizvoda

Postupak virtualnog stezanja je prikazan na slici 3-3. Najprije se lim skenira u napravi za 3D skeniranje ili u slobodnom stanju. Obrada rezultata radi se na osnovu nacrtu ili CAD modela (PMI) na kojem su definirane značajke koje se mjere. Zatim se rezultat tog mjerenja virtualno steže. Poligonizirana mreža skeniranog proizvoda združuje se sa simulacijskim modelom. Postavljaju se granični uvjeti simulacije te računalo izračunava pomake točaka. Kontrolu rezultata simulacije moguće je napraviti na način da se proizvod mjeri na kontrolniku te se zatim usporede rezultati mjerenja simulacijom i rezultati mjerenja na kontrolniku.

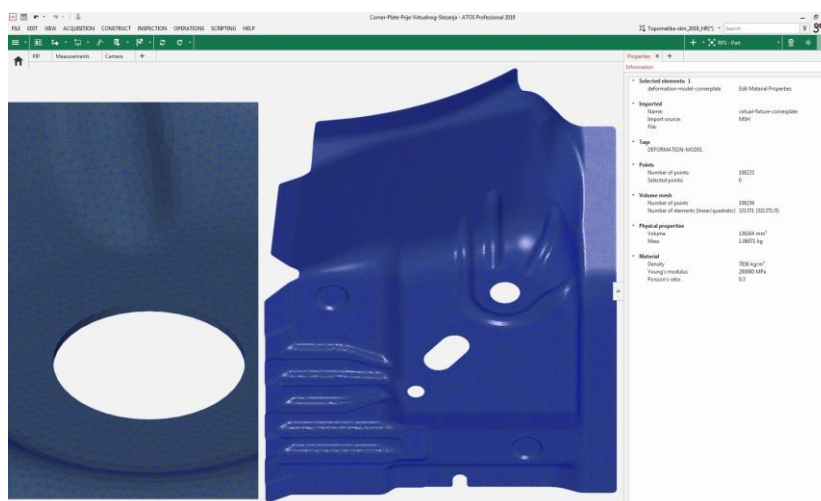


Slika 3-3 Postupak praktičnog dijela rada



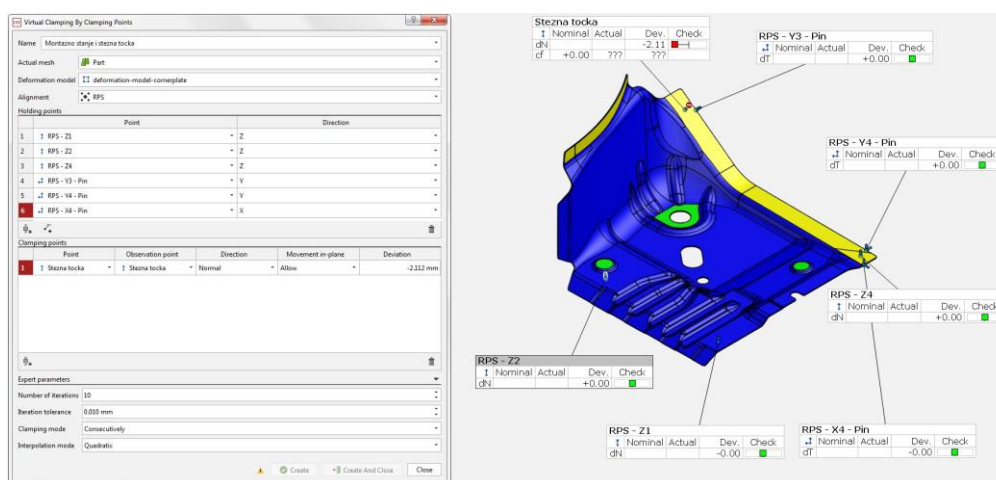
### 3.1.2. Virtualno stezanje

Preduvjet za virtualno stezanje je rezultat mjerenja proizvoda u slobodnom stanju ili napravi prikazanoj u prethodnom poglavlju. Također potreban je simulacijski model proizvoda.



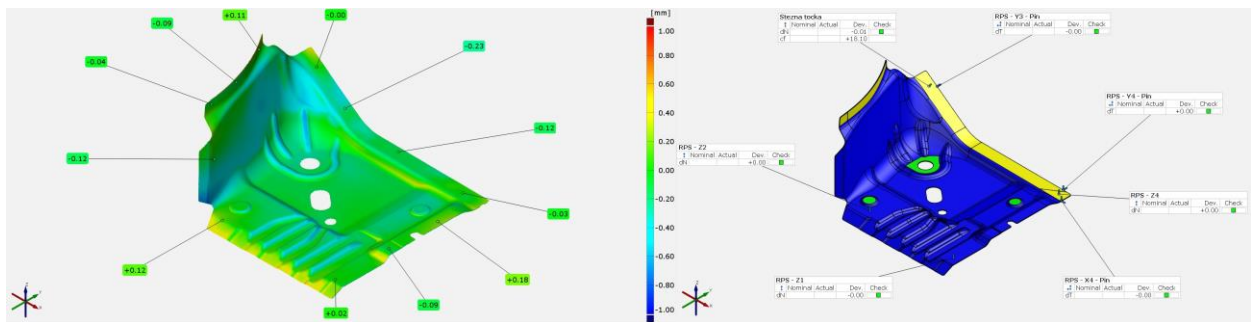
Slika 3-6 Simulacijski model limenog proizvoda

Simulacijski model (Slika 3-6) sadrži diskretizirani CAD model te informacije o broju točaka (108 239), broju elemenata (321 371), fizikalnim svojstvima ( $V=136\ 164\ \text{mm}^3$ ,  $m=1.06971\ \text{kg}$ ), materijalu (gustoća= $7\ 856\ \text{kg/m}^3$ , Youngov modul= $200\ \text{GPa}$ , Poissonov koeficijent= $0.3$ ).



Slika 3-7 Postavke simulacije – RPS točke i odstupanje stezne točke

U dijalog funkcije virtualnog stezanja (Slika 3-7) u GOM Inspect programu upisuju se rubni uvjeti simulacije, odabire se rezultat skeniranja, deformacijski model, RPS točke te stezna točka. Kroz određeni broj iteracija, odstupanje stezne točke od  $-2.11\ \text{mm}$  (Slika 3-7) će se smanjivati te će simulacija biti gotova kada odstupanje stezne točke bude manje od definirane iteracijske tolerancije ( $0.01\ \text{mm}$ ). U programu je moguće odabrati linearnu ili kvadratnu interpolaciju kao i redoslijed stezanja točaka. U ovom slučaju je jedna stezna točka, no ukoliko bi imali veći broj steznih točaka mogli bismo ih stezati simultano ili prema definiranom redoslijedu u mjernom protokolu.



Slika 3-8 Prikaz rezultata virtualnog stezanja, odstupanja stezne točke i dobivene sile stezanja (cf)

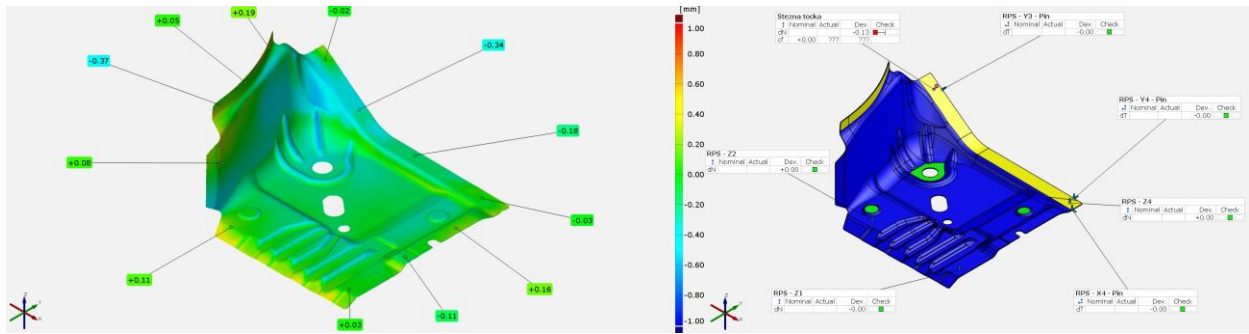
Prilikom kreiranja simulacije, program kopira originalni rezultat skeniranja te ga združuje sa simulacijskim modelom. Deformacijski model simulacijom se deformira prema prethodno namještenim rubnim uvjetima. Rezultat na slici 3-8 prikazuje odstupanja u mapi boja te odstupanje stezne točke nakon simulacije. Opširniji mjerni izvještaj dostupan je u prilogu ovog rada.

### 3.1.3. Kontrola simulacije



Slika 3-9 Lim opterećen dinamometrom

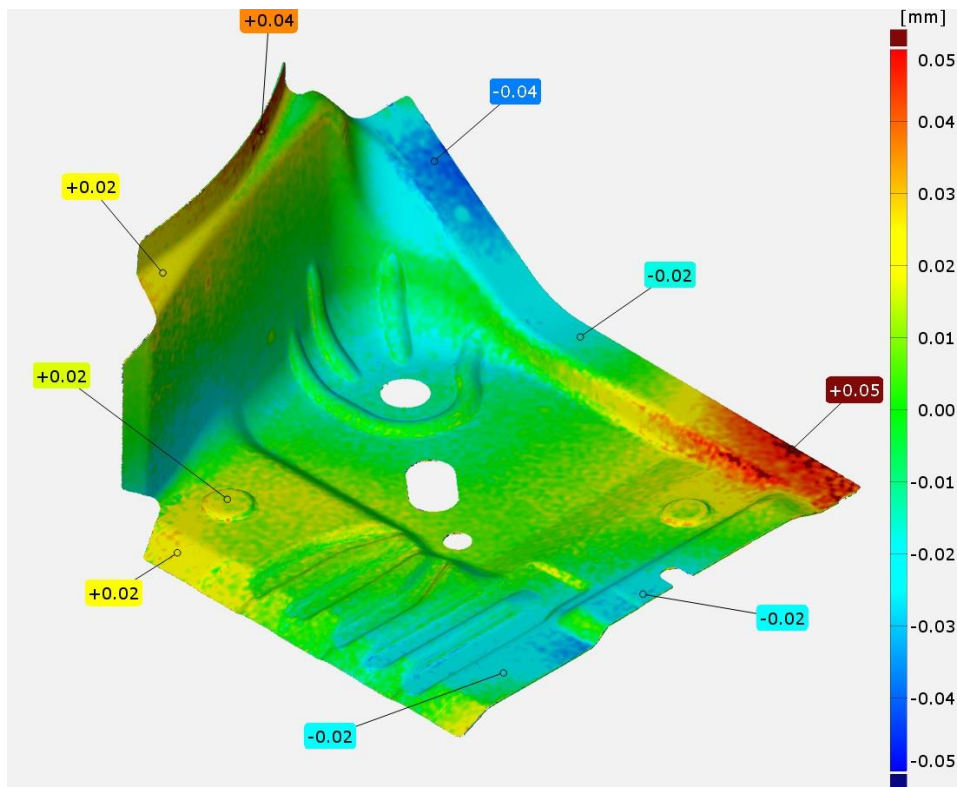
Za kontrolu simulacije idealno bi bilo korištenje kontrolnika sa svim steznim elementima. Zbog nedostupnosti kontrolnika, kontrola simulacije bit će napravljena pomoću dinamometra, aluminijskog stupa te ruke s tri koljenasta zgloba. Ovo nije optimalan način provjere simulacije zbog mogućnosti pomaka komada u odnosu na točke prihvata na napravi. Cilj nam je otkriti postoje li grube greške simulacije. Dinamometrom je lim u napravi za 3D skeniranje opterećen silom stezanja iznosa 18 N. Zatim je pokrenut predložak za mjerenje lima u napravi za 3D skeniranje iz ranijeg poglavlja. Na ovaj način dobivene rezultate moći ćemo usporediti sa rezultatima virtualnog stezanja. Za detaljniju analizu dobivenih rezultata trebalo bi napraviti analizu mjernog sustava, odnosno greške mjernog sustava i mjeritelja (MSA).



Slika 3-10 Prikaz rezultata mehaničkog stezanja i odstupanja stezne točke

Iznos odstupanja stezne točke virtualnog stezanja i stezne točke prilikom kontrole simulacije se ne poklapaju. Postoji niz razloga zbog čega je došlo do razlike, no najvažniji razlog je skala na dinamometru s podjelom od 0.5 N i nemogućnost preciznog namještanja sile. Opterećenjem pomoću dinamometra odstupanje stezne točke iznosilo je 0.13 mm (Slika 3-10).

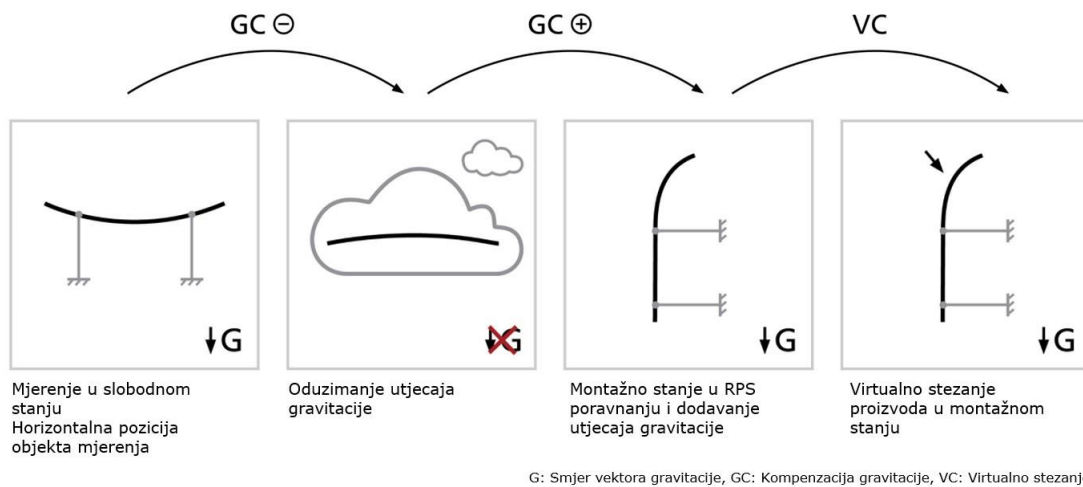
Program GOM Inspect ima mogućnost usporedbe rezultata skeniranja istih proizvoda (Trend analiza). Rezultat dobiven virtualnim stezanjem pretvoren je u CAD model, dok je rezultat mehaničkog stezanja korišten kao stvarni mesh. Ta dva modela preklopljena su pomoću metode najmanjih kvadrata. Na taj način možemo u mapi boja vidjeti odstupanja rezultata virtualnog i mehaničkog stezanja. Postavljanjem skale na +/- 0.05 mm možemo vidjeti razliku mehaničkog stezanja u odnosu na virtualno stezanje (Slika 3-11).



Slika 3-11 Usporedba mehaničkog i virtualnog stezanja u mapi boja

## 4. Mjerenje geometrije deformabilnih proizvoda

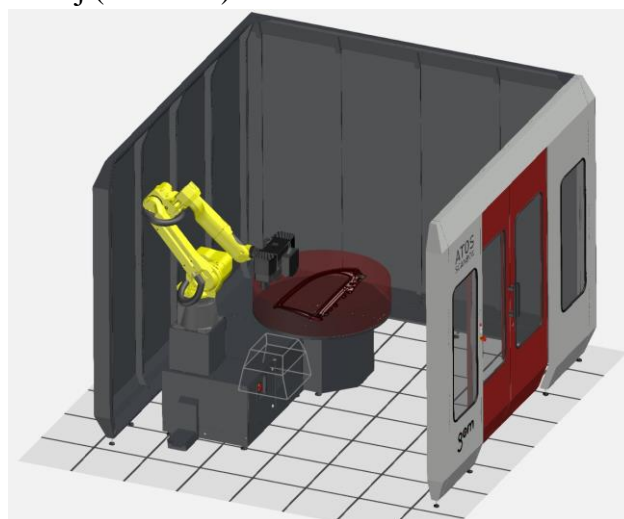
Prilikom mjerenja relativno velikih (tankih) limova i deformabilnih polimernih proizvoda dolazi do značajnog utjecaja gravitacije na geometriju mjenenog proizvoda. Rješenje iz GOM-a za mjerenje navedenih proizvoda je virtualno stezanje s kompenzacijom gravitacije. Proizvod se najprije mjeri u slobodnom stanju. Nakon toga simulacijom se oduzima utjecaj gravitacije. Zatim se proizvod translata u RPS poravnanje te se dodaje utjecaj gravitacije. Na poslijetku se proizvod u montažnom stanju virtualno steže u prethodno definirane stezne točke (Slika 4-1). Na taj način jednim mjerenjem u horizontalnom stanju simulacijom dolazi se do istih rezultata kao i na kontrolniku.



Slika 4-1 Prikaz postupka virtualnog stezanja s kompenzacijom utjecaja gravitacije

### 4.1. Virtualno stezanje s kompenzacijom gravitacije

Za virtualno stezanje s kompenzacijom gravitacije korištena je automatizirana ćelija ScanBox 5120, senzor ATOS 5 mjernog volumena 500 mm, PlusBox mjernog volumena 1000 mm te univerzalni pneumatski uređaj (Slika 4-2).



Slika 4-2 Mjerna postava

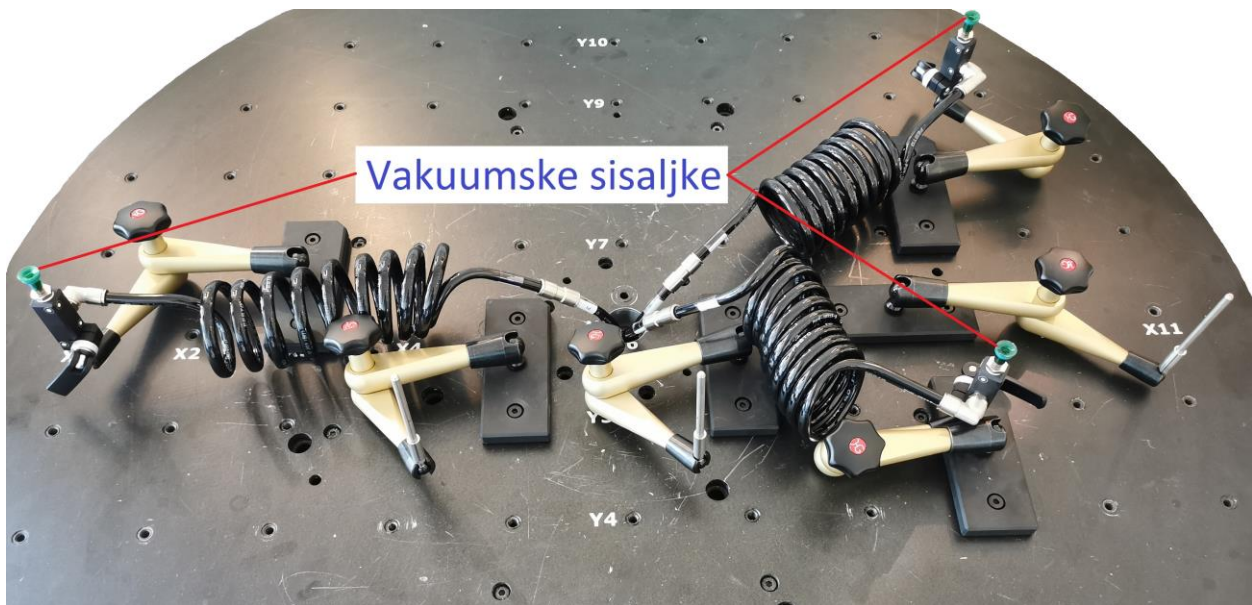


#### 4.1.1. Mjerenje u horizontalnom položaju

Za mjerenje u horizontalnom stanju korišten je univerzalni pneumatski uređaj. Uređaj se sastoji od dva dijela. Pneumatske stanice (Slika 4-3) te univerzalne naprave za mjerenje komada u horizontalnom stanju (Slika 4-4).

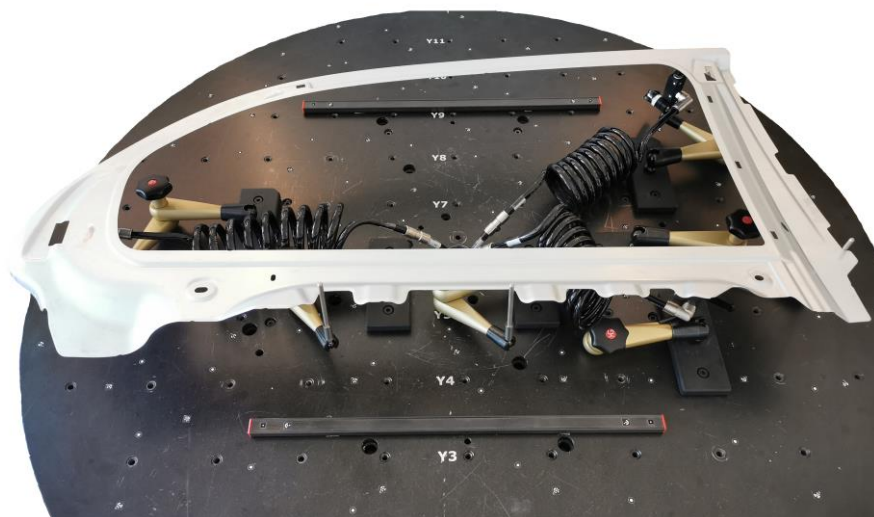


Slika 4-3 Pneumatska stanica



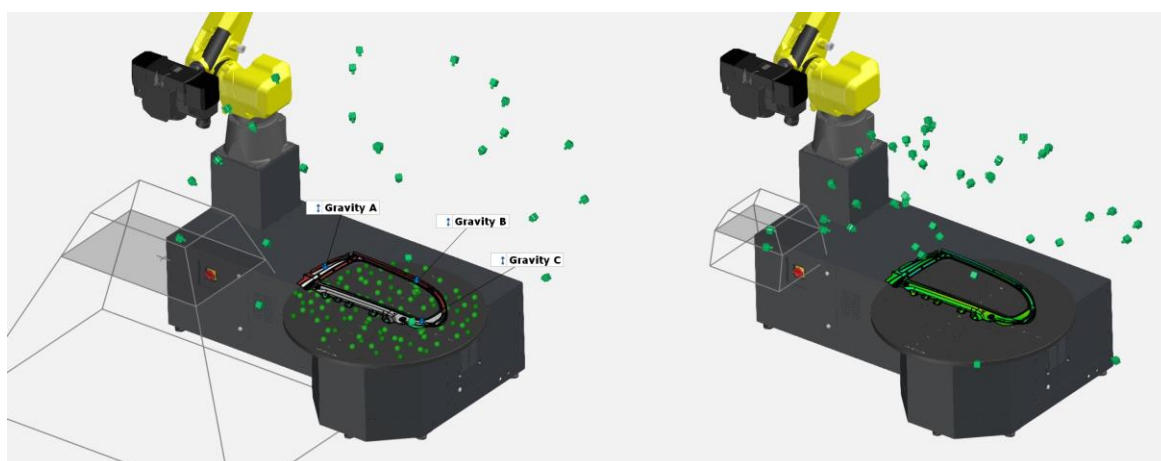
Slika 4-4 Univerzalna naprava za mjerenje proizvoda u horizontalnom položaju

Cijevi pneumatske stanice spojene su na vakuumske sisaljke na kojima se stvara podtlak od -70 KPa. Naprava je prilagodljiva proizvodu koji se mjeri iz razloga što su sisaljke postavljene na ruke s 3 zgloba. Preostale tri ruke sa zglobovima i pinovima omogućavaju ponovljivo pozicioniranje proizvoda na napravu. Sisaljke su pričvršćene na zglob ruke pomoću adaptera na kojem se nalaze referentne točke. U programu GOM Inspect, jedinstven raspored točaka moguće je prepoznati kao adapter smjera pa se na taj način dobiva normala smjera stezanja proizvoda za svaki od tri adaptera.



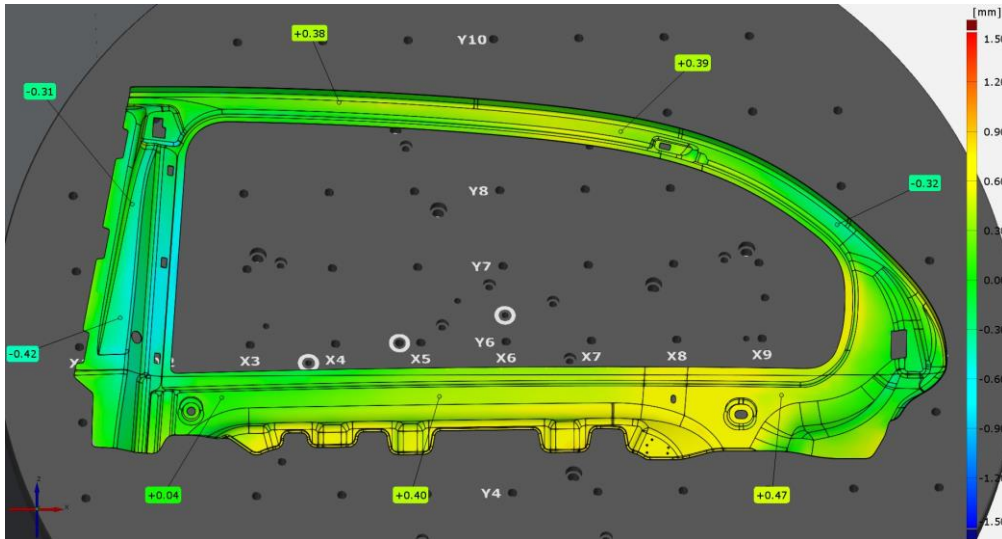
*Slika 4-5 Proizvod na univerzalnoj napravi*

Limeni okvir vrata 3D skenira se na univerzalnoj napravi u horizontalnom položaju (Slika 4-5). To je jedino mjerenje, ostali postupci su obrada rezultata i izrada simulacija. Najprije se mjeri fotogrametrija mjerne postave bez proizvoda u napravi. Na taj nači dobivaju se referentne točke te smjer normale sisaljki koje se nalaze na rotacijskom stolu mjerne ćelije. Ovaj korak potrebno je napraviti jednom, prilikom inicijalnog podešavanja univerzalne naprave za proizvod koji se mjeri. Zatim se proizvod 3D skenira u horizontalnom stanju te se dobiveni rezultat koristi za izradu simulacija (Slika 4-6). Nakon izrade simulacija i obrade rezultata moguće je napraviti mjerni predložak koji će koristiti operateri koji moraju znati staviti proizvod u napravo, upisati serijski broj proizvoda i pokrenuti predložak u ograničenoj verziji programa nazvanoj KIOSK sučelje. Sustav pokreće mjernu seriju čiji je rezultat poligonizirana mreža iz koje će se prema mjernom predlošku rekalkulirati svi elementi koji se mjere kao i simulacije proizvoda u različitim stanjima i pozicijama. Rezultate mjerenja moguće je izvesti u različitim oblicima, no najčešće je to pdf izvještaj te csv format za analizu rezultata u Excelu ili nekom drugom programu za statističku analizu podataka.



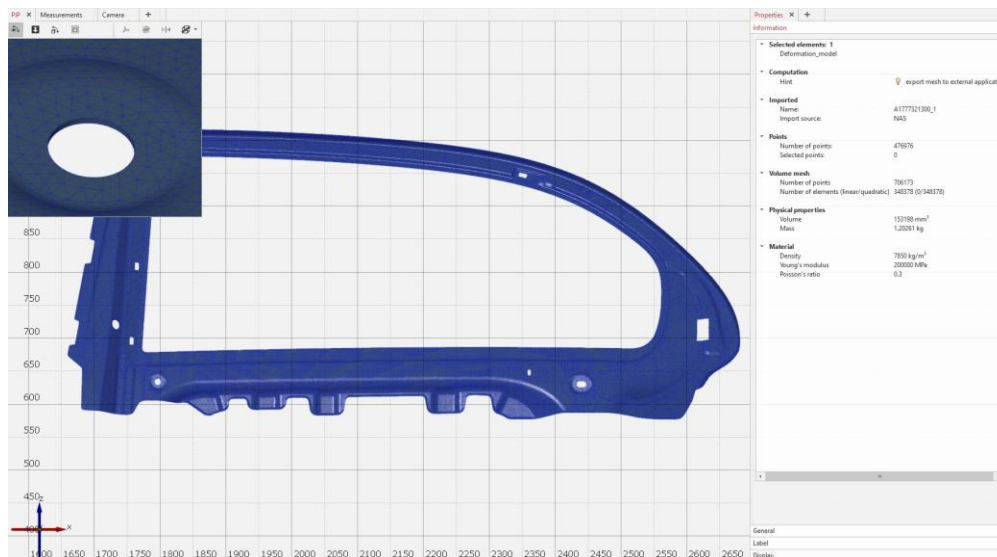
*Slika 4-6 Prikaz pozicija i rezultata fotogrametrije i 3D skeniranja*

## 4.1.2. Oduzimanje utjecaja gravitacije



Slika 4-7 Rezultat horizontalnog mjerenja

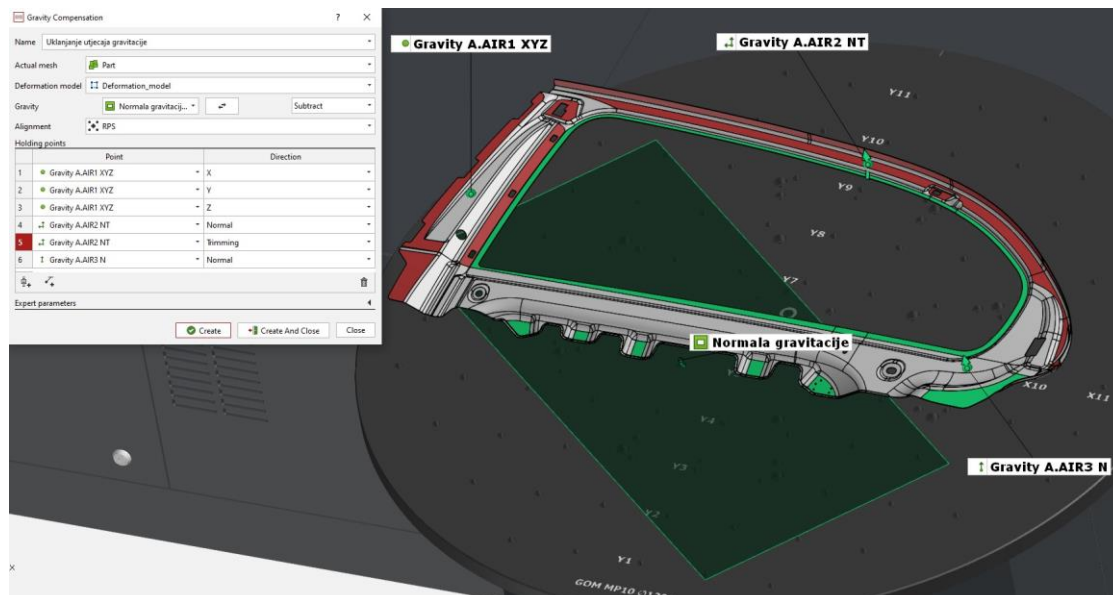
Rezultat horizontalnog mjerenja (Slika 4-7) korišten je za simulaciju utjecaja gravitacije na proizvod. Za izradu simulacije potreban je simulacijski model (Slika 4-8).



Slika 4-8 Simulacijski model okvira vrata automobila

Simulacijski model (Slika 4-8) sadrži diskretizirani CAD model te informacije o broju točaka (706 173), broju elemenata (348 378), fizikalnim svojstvima ( $V=153\,198\text{ mm}^3$ ,  $m=1.20261\text{ kg}$ ), materijalu (gustoća= $7\,850\text{ kg/m}^3$ , Youngov modul= $200\text{ GPa}$ , Poissonov koeficijent= $0.3$ ).

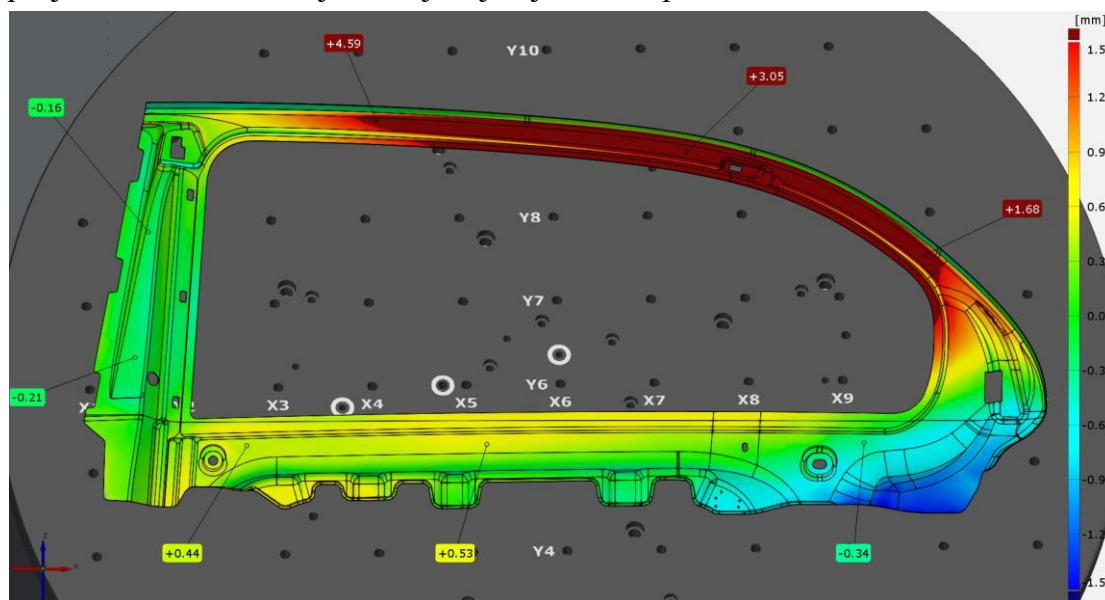
Simulacijski model preklapljen je s rezultatima mjerenja u horizontalnom položaju te su ispunjeni svi uvjeti za izradu simulacije utjecaja gravitacije na mjereni proizvod.



Slika 4-9 Postavke simulacije uklanjanja utjecaja gravitacije

U dijalogu postavke simulacije (Slika 4-9) za kompenzaciju gravitacije odabire se rezultat mjerenja u horizontalnoj poziciji, simulacijski model, normala gravitacije (normala rotacijskog stola) te RPS poravnanje proizvoda. Vektori smjera pojedinog adaptera na kojem se nalaze sisaljke odabiru se kao fiksne točke.

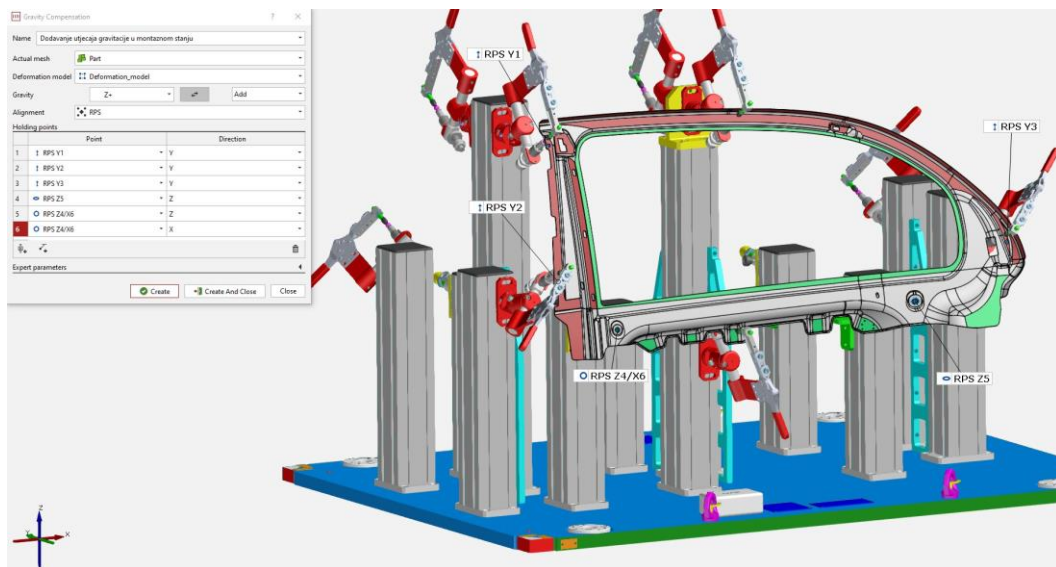
Iz rezultata simulacije uklanjanja utjecaja gravitacije možemo vidjeti kako bi odstupanje proizvoda u odnosu na CAD model izgledalo u bestežinskom stanju (Slika 4-10). Najveće odstupanje iznosi 4.6 mm što je značajan utjecaj na oblik proizvoda.



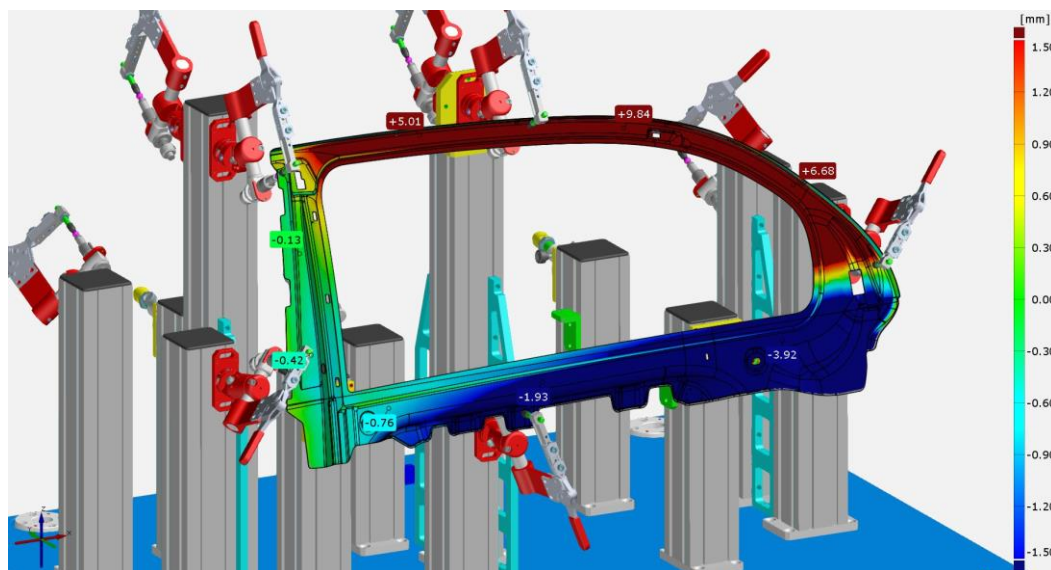
Slika 4-10 Rezultat simulacije uklanjanja djelovanja gravitacije prilikom mjerenja

### 4.1.3. Translacija u montažno stanje i dodavanje utjecaja gravitacije

Rezultat simulacije uklanjanja gravitacije prilikom horizontalnog mjerenja korišten je za izradu simulacije proizvoda u montažnom stanju i ponovnom dodavanju utjecaja gravitacije u montažnom stanju. U dijalogu za kompenzaciju gravitacije odabire se rezultat koji želimo simulirati. Odabire se simulacijski model, smjer utjecaja gravitacije i RPS poravnanje. U prethodnom koraku rubni uvjet su bile točke dobivene pomoću normale adaptera. U ovom koraku odabrane su RPS točke u kojima se proizvod montira na kontrolnik (Slika 4-11). Rezultat simulacije je odstupanje u mapi boja (Slika 4-12).



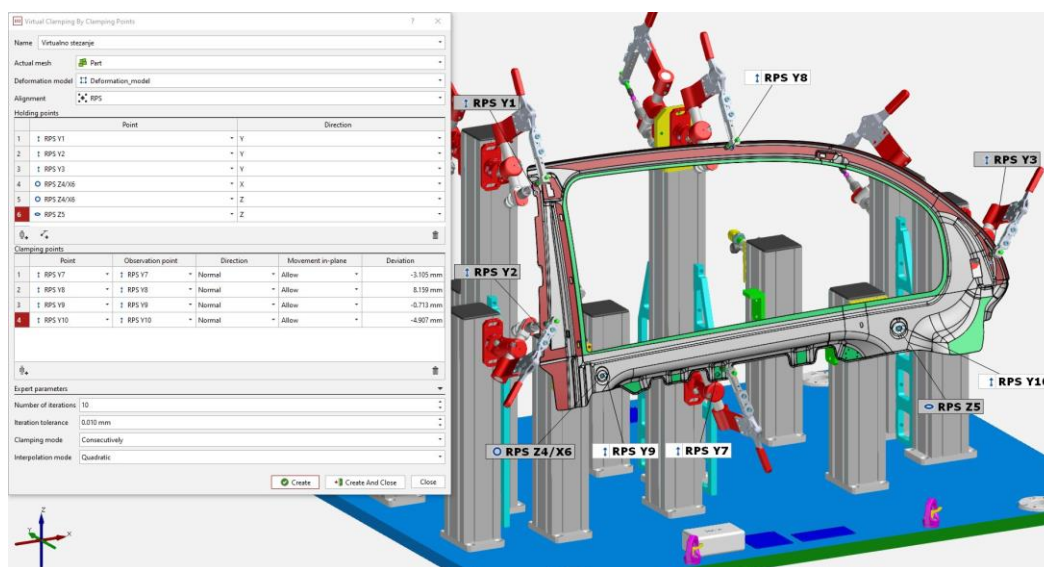
Slika 4-11 Postavke simulacije dodavanja utjecaja gravitacije u montažnom stanju



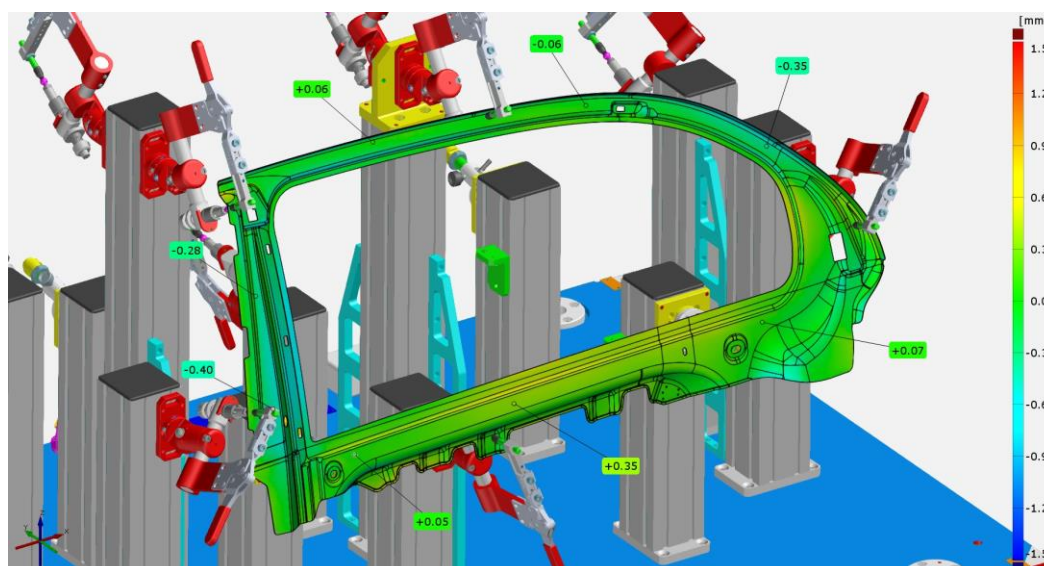
Slika 4-12 Odstupanje rezultata simulacije u montažnom stanju i dodanom utjecaju gravitacije

#### 4.1.4. Virtualno stezanje u montažnom stanju

Rezultat prethodne simulacije korišten je za virtualno stezanje proizvoda u montažnom stanju i definiranim steznim točkama kontrolnika. U postavkama simulacije (Slika 4-13) odabire se rezultat koji želimo simulirati, deformacijski model, poravnanje, RPS točke te stezne točke. Na stvarnom kontrolniku postoje četiri stezne točke (Y7, Y8, Y9 i Y10). Simulacijom će odstupanje steznih točaka u montažnom stanju biti dovedeno u nulu. Na taj način simuliramo stvarno stezanje proizvoda pomoću elemenata kontrolnika i odstupanje RPS steznih točaka dovodimo u nulu (Slika 4-14).



Slika 4-13 Postavke simulacije stezanja u montažnom stanju



Slika 4-14 Rezultat virtualnog stezanja s kompenzacijom gravitacije

## 5. Zaključak

Relativno kruti proizvodi na koje nema značajnog utjecaja gravitacije mjere se u napravama za mjerenje, napravama za 3D skeniranje ili kontrolnicima. Kontrolnici su podložni promjeni geometrije zbog utjecaja temperature, načina rukovanja, promjeni CAD modela proizvoda i skladištenja kontrolnika.

Optičkim pozicioniranjem je moguće precizno pozicionirati elemente u prostoru. Praćenjem odstupanja u mapi boja mogu se u ranoj fazi pozicioniranja otkriti problemi koji se javljaju prilikom montaže elemenata. Optičkim pozicioniranjem smanjuje se odstupanje praćenog sklopa u odnosu na CAD model i na taj način optimizira se pozicija funkcionalnih elemenata.

Virtualno stezanje koristi se za mjerenje relativno krutih proizvoda. Proizvod se mjeri u slobodnom stanju te se zatim korištenjem simulacije odstupanje steznih točaka koje su definirane na nacrtu dovodi u nulu. Na taj način iz mjernog protokola je eliminiran kontrolnik.

Virtualno stezanje s kompenzacijom gravitacije uzima u obzir utjecaj djelovanja gravitacije na proizvod koji se mjeri. Simulacijom se uklanja utjecaj gravitacije. Proizvod se translacija u montažnu poziciju te se dodaje utjecaj gravitacije. Posljednji korak je virtualno stezanje kojim se odstupanje steznih točaka dovodi u nulu te se u tom stanju mjeri geometrija i oblik proizvoda.

Ovakav inovativan način mjerenja otvara razne mogućnosti za uštedu sredstava i povećanja konkurentnosti proizvoda na tržištu. Virtualno stezanje je novi postupak na metrološkom tržištu čiji potencijal će biti vidljiv nakon izvjesnog vremena. U ovom radu prikazana je primjena virtualnog stezanja na limenim proizvodima. Postupak je moguće koristiti i na polimernim proizvodima, a posebno je zanimljiva primjena za proizvode izrađene aditivnim tehnologijama u smislu optimizacije 3D printanja metalnih i polimernih proizvoda koji postaju sve više zastupljeni u raznim granama industrije.

U Varaždinu, 16.10.2020.

Sveučilište  
Sjever

UNIVERSITÄT  
SIEBER



SVEUČILIŠTE  
SIEBER

IZJAVA O AUTORSTVU  
I  
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

Diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, **Luka Lukačić** pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor diplomskog rada pod naslovom „**Optičko mjerenje geometrije elastično deformabilnih proizvoda**“ te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student:

*Luka Lukačić*

(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, **Luka Lukačić** neopozivo izjavljujem da sam suglasan s javnom objavom diplomskog rada pod naslovom „**Optičko mjerenje geometrije elastično deformabilnih proizvoda**“ čiji sam autor.

Student:

*Luka Lukačić*

(vlastoručni potpis)



# Literatura

- [1] N. Drvar, „Usporedba metoda za određivanje oblika i deformacija mehaničkih konstrukcija“ Magistarski rad, FSB Zagreb, 2004.
- [2] <https://topomatika.hr/>, dostupno 08.09.2020.
- [3] <https://support.gom.com/>, dostupno 08.09.2020.
- [4] N. Šale: Sustav za automobilsku kameru visokog dinamičkog opsega temeljen na FPGA sklopu, Diplomski rad, FER, Zagreb, 2018.
- [5] <https://meadowsanalysis.com/>, dostupno 08.09.2020.
- [6] <https://www.aukom.info/hr/aukom-tecajevi/sadrzaj-seminara/sadrzaj-razina-1.html>, dostupno 08.09.2020.
- [7] T.Ciceli: Nastajanje boje u CCD senzoru – Ekscentar 2007, br. 9, str. 30-32., <https://hrcak.srce.hr/12469> (dostupno 17.09.2020.)
- [8] <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=70273>, dostupno 08.09.2020.
- [9] D. Ivšac: Usporedba 3D mjernih postupaka u kontroli kvalitete, Diplomski rad, FSB, Zagreb, 2014.
- [10] L. Lukačić: Postupak mjerenja odljevka manualnim i automatiziranim 3D optičkim sustavima ATOS, Završni rad, Sveučilište Sjever, Varaždin, 2018.

## Popis slika

Slika 1-1 Podjela mjernih metoda s obzirom na način definiranja mjerne točke [1] .....	1
Slika 1-2 Određivanje točke Pi triangulacijom snopova zraka iz različitih pogleda Bi [1] .....	2
Slika 1-3 Triangulacija položaja točke P primjenom dvije kamere [1] .....	2
Slika 1-4 Prikaz oblaka točaka i poligonizirane mreže trokuta .....	3
Slika 1-5 Princip rada ATOS projekcijskog skenera [1] .....	4
Slika 1-6 Optički 3D skener ATOS 5 [2] .....	5
Slika 1-8 Prikaz mjernih pozicija za dobivanje slika koje tvore kupolu oko objekta mjerenja.....	6
Slika 1-7 PlusBox fotogrametrijski sustav .....	6
Slika 1-9 Bayer-ov filtar .....	7
Slika 1-10 ATOS ScanBox mjerne ćelije [3] .....	7
Slika 2-1 Prikaz kontrolnika i dijela karoserije prednjih vrata automobila .....	8
Slika 2-2 Prikaz odstupanja postojećeg stanja u odnosu na CAD model .....	9
Slika 2-3 CAD model naprave za 3D skeniranje lima.....	9
Slika 2-4 Mjerna ticala i adapteri za optičko praćenje [3].....	10
Slika 2-5 Oznake i dijelovi naprave .....	10
Slika 2-6 Rastavljena naprava .....	11
Slika 2-7 Komponenta stupa S1 s pripadajućim kontrolnim površinskim točkama i prikazanim odstupanjem od referente pozicije u mapi boja .....	11
Slika 2-8 Mjerna postava – ScanBox 5120 i ATOS 5 MV500 .....	12
Slika 2-9 Live prikaz odstupanja u mapi boja .....	12
Slika 2-10 Rezultat optičkog pozicioniranja baze .....	13
Slika 2-11 Prikaz odstupanja površinskih točaka .....	13
Slika 2-12 Rezultat optičkog pozicioniranja stupova .....	14
Slika 2-13 Rezultat optičkog pozicioniranja pokrova aluminijskih profila.....	14
Slika 2-14 Rezultat optičkog pozicioniranja magnetnih sfera .....	15
Slika 2-15 Prikaz odstupanja početnog i korigiranog stanja u mapi boja .....	16
Slika 2-16 Odstupanje magnetnih sfera i pinova nakon optičkog pozicioniranja .....	16
Slika 3-1 CAD model i proizvod od čeličnog lima .....	17
Slika 3-2 RPS točke limenog proizvoda .....	18
Slika 3-3 Postupak praktičnog dijela rada .....	18
Slika 3-4 Mjerna postava – ScanBox 5120 i ATOS 5 MV500 .....	19
Slika 3-5 Rezultat skeniranja u mapi boja i prikaz odstupanja stezne točke .....	19
Slika 3-6 Postavke simulacije – RPS točke i odstupanje stezne točke .....	20

Slika 3-7 Simulacijski model limenog proizvoda.....	20
Slika 3-8 Prikaz rezultata virtualnog stezanja, odstupanja stezne točke i dobivene sile stezanja (cf) .....	21
Slika 3-9 Lim opterećen dinamometrom .....	21
Slika 3-10 Prikaz rezultata mehaničkog stezanja i odstupanja stezne točke .....	22
Slika 3-11 Usporedba mehaničkog i virtualnog stezanja u mapi boja .....	22
Slika 4-1 Prikaz postupka virtualnog stezanja s kompenzacijom utjecaja gravitacije .....	23
Slika 4-2 Mjerna postava .....	23
Slika 4-3 Univerzalna naprava za mjerenje proizvoda u horizontalnom položaju .....	24
Slika 4-4 Pneumatska stanica .....	24
Slika 4-5 Prikaz pozicija i rezultata fotogrametrije i 3D skeniranja.....	25
Slika 4-6 Proizvod na univerzalnoj napravi .....	25
Slika 4-7 Rezultat horizontalnog mjerenja .....	26
Slika 4-8 Simulacijski model okvira vrata automobila .....	26
Slika 4-9 Postavke simulacije uklanjanja utjecaja gravitacije .....	27
Slika 4-10 Rezultat simulacije uklanjanja djelovanja gravitacije prilikom mjerenja .....	27
Slika 4-11 Odstupanje rezultata simulacije u montažnom stanju i dodanom utjecaju gravitacije	28
Slika 4-12 Postavke simulacije dodavanja utjecaja gravitacije u montažnom stanju.....	28
Slika 4-13 Rezultat virtualnog stezanja s kompenzacijom gravitacije .....	29
Slika 4-14 Postavke simulacije stezanja u montažnom stanju .....	29

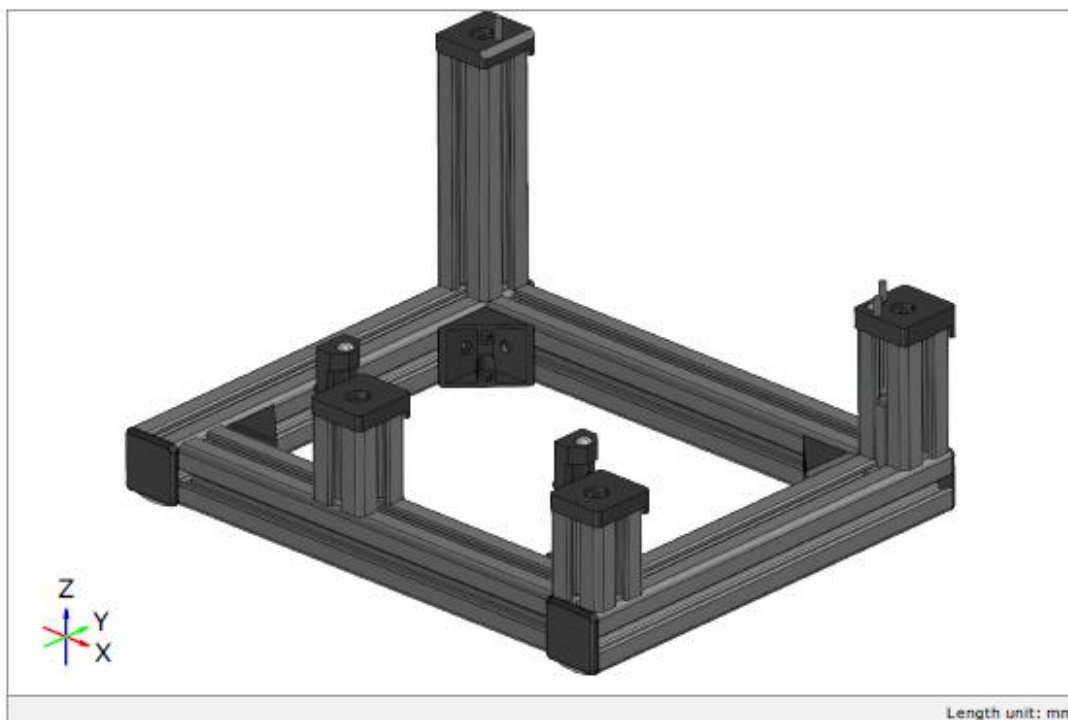
## Izvješće o mjerenju: IOM-Opticko pozicioniranje

trodimenzionalno skeniranje, optički  
mjerni sustavi i računalna obrada d.o.o.

**Datum izdavanja:** 2020-09-21

**Izvješće izdao:** Luka Lukačić, bacc.ing.mech.

📍 Sjedište: Ilica 231, HR-10000 Zagreb  
Laboratorij: Industrijska ulica 3, Novaki  
HR-10431 Sveta Nedelja  
T: + 385 1 349 6010, F: + 385 1 599 9722  
E-mail: info@topomatika.hr  
🏦 IBAN: PBZ HR95 2340 0091 1100 8406 2  
ZABA HR46 2360 0001 1028 1902 3  
OIB/VAT: HR51475743156



**Naručitelj:** Topomatika

**Predmet mjerenja:** Corner-Plate-Fixture

**Datum mjerenja:** 2020-07-03

**Lokacija:** Sveta Nedelja

**Mjeritelj:** Luka Lukačić

**Rezultati mjerenja:** na stranicama 2 do 15

**Mjerni sustav:** ATOS ScanBox 5120

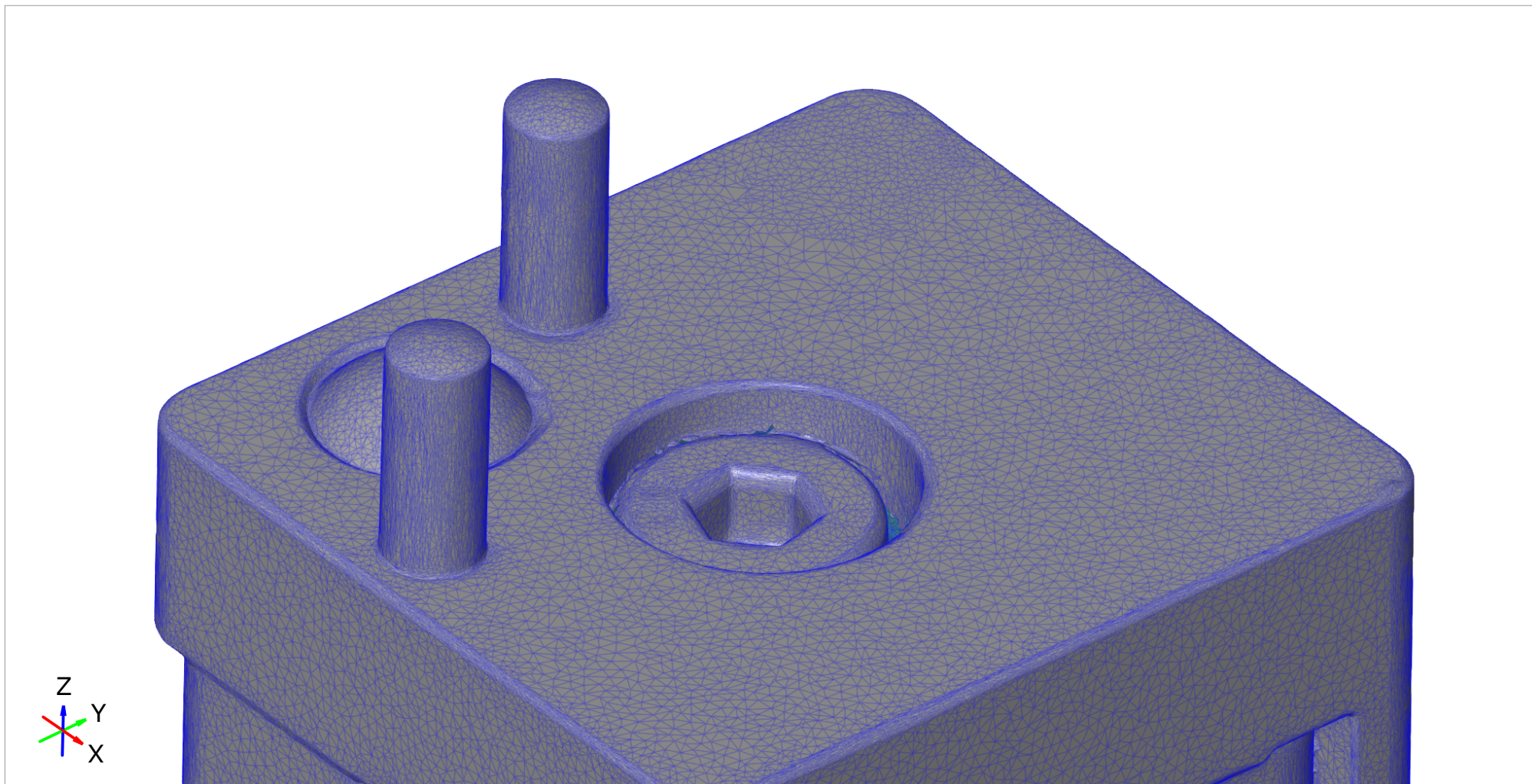
**Mjerno područje:** MV500

**Serijski broj:** 181039

**Temperatura i vlažnost:** 22±1°C; 55%±10%

**Napomena:**

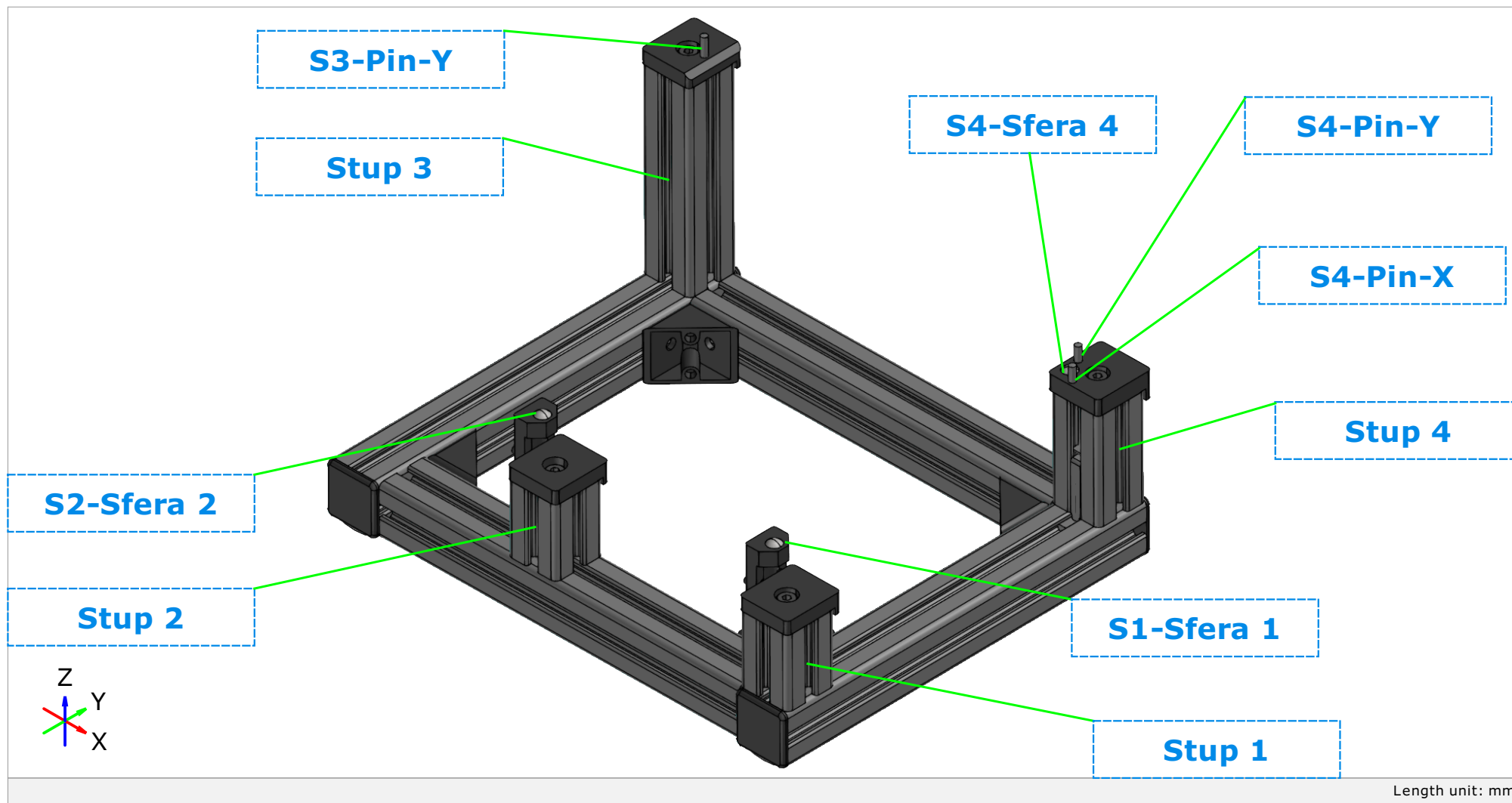
Naslovna.....	1
Sadržaj.....	2
Rezultat skeniranja - Poligonizirana mreža trokuta .....	3
Oznake elemenata naprave.....	4
Poravnanje CAD modela i skenirane geometrije početnog stanja naprave.....	5
Poravnanje CAD modela i skenirane geometrije korigiranog stanja.....	6
Devijacija pravokutne baze prikazana u mapi boja.....	7
Ravnost baze (Tol. zona 0.5 mm).....	8
Devijacija stup 1.....	9
Devijacija stup 2.....	10
Devijacija stup 3.....	11
Devijacija stup 4.....	12
Pozicija pinova u smjeru X i Y osi (Tol. +/- 0.2mm).....	13
Udaljenost magnetnih sfera u odnosu na sferu S4 - (Tol. +/- 0.1mm).....	14
Tablični prikaz rezultata nakon optičkog pozicioniranja naprave.....	15



Prealignment

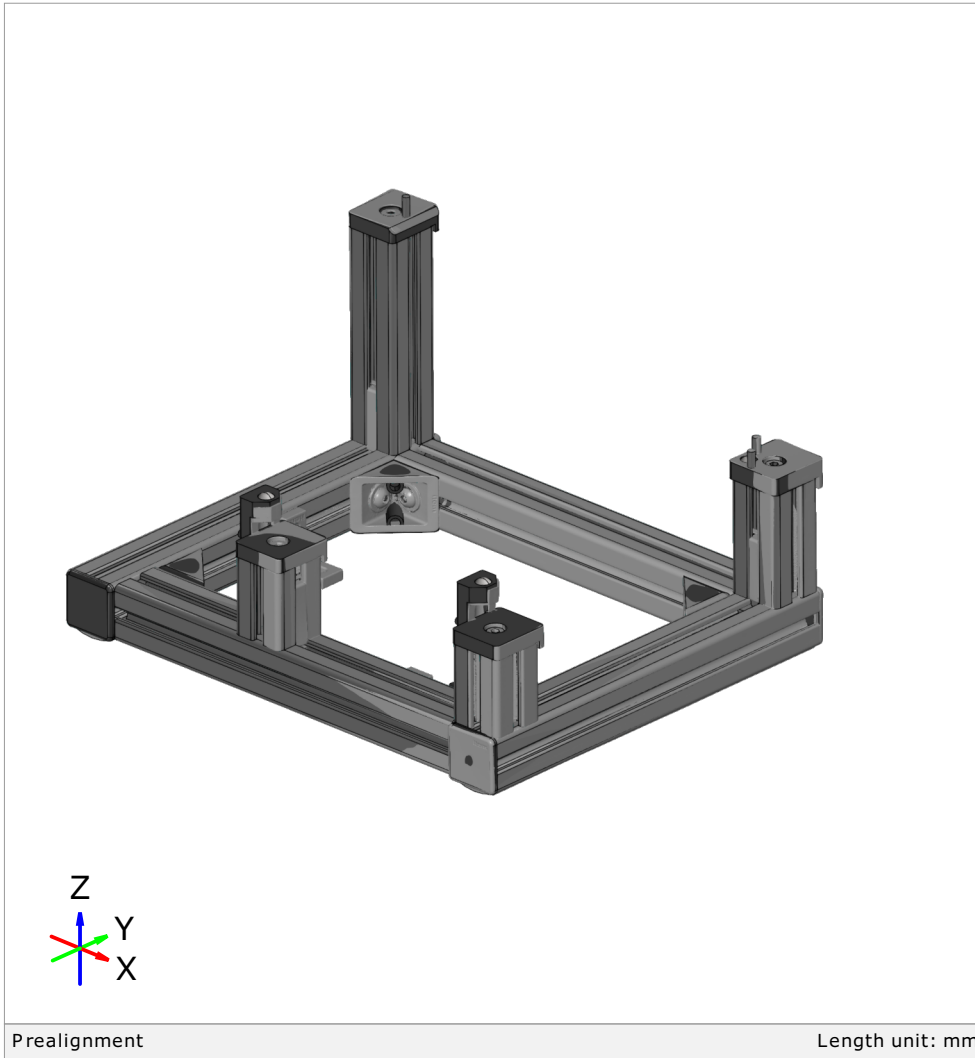
Length unit: mm

Oznake elemenata naprave

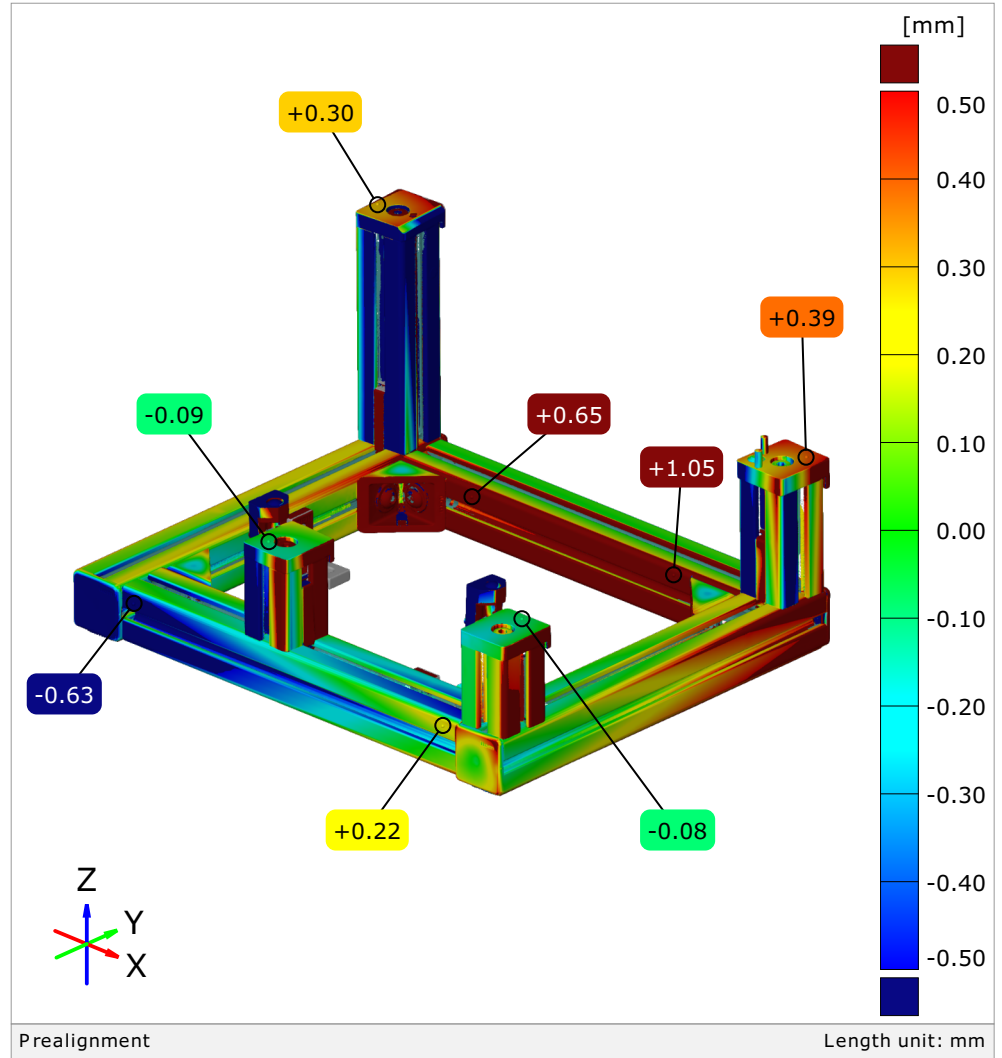


Poravnanje CAD modela i skenirane geometrije početnog stanja naprave

Postojece\_stanje



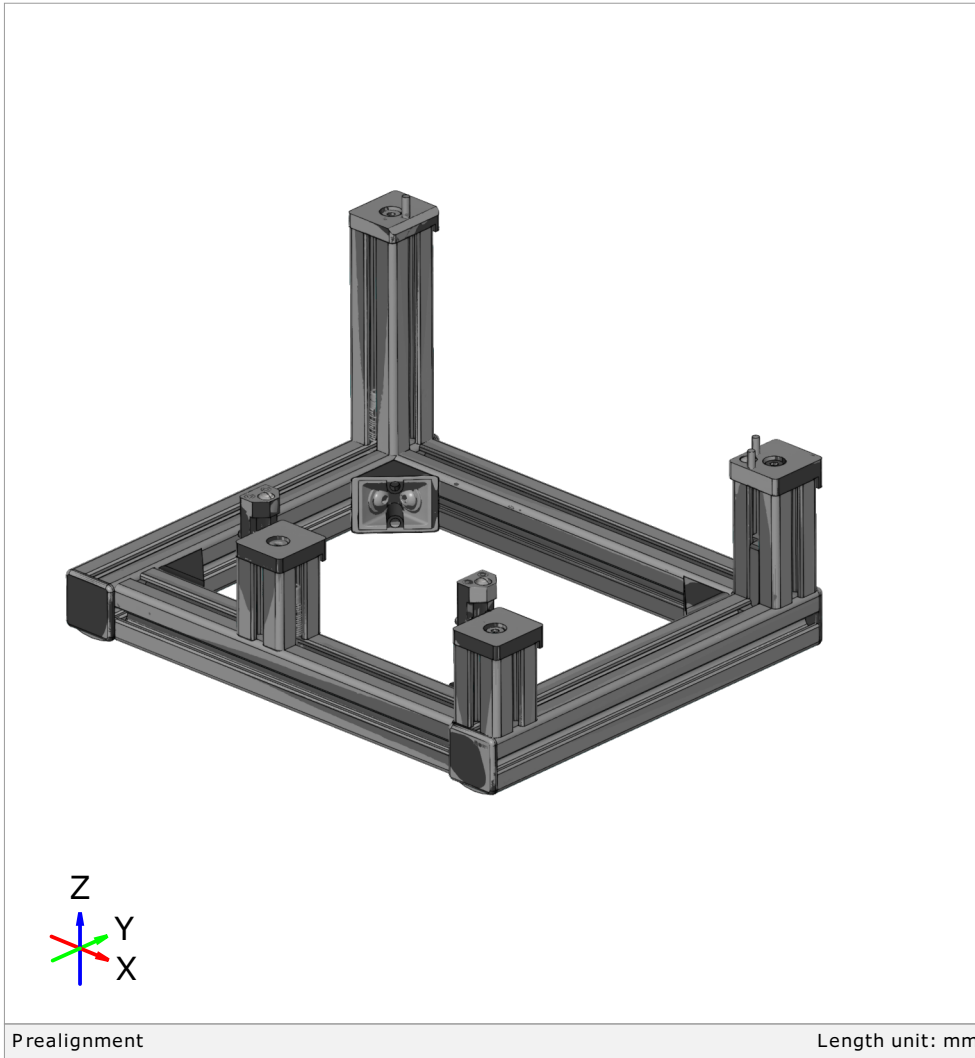
Postojece\_stanje



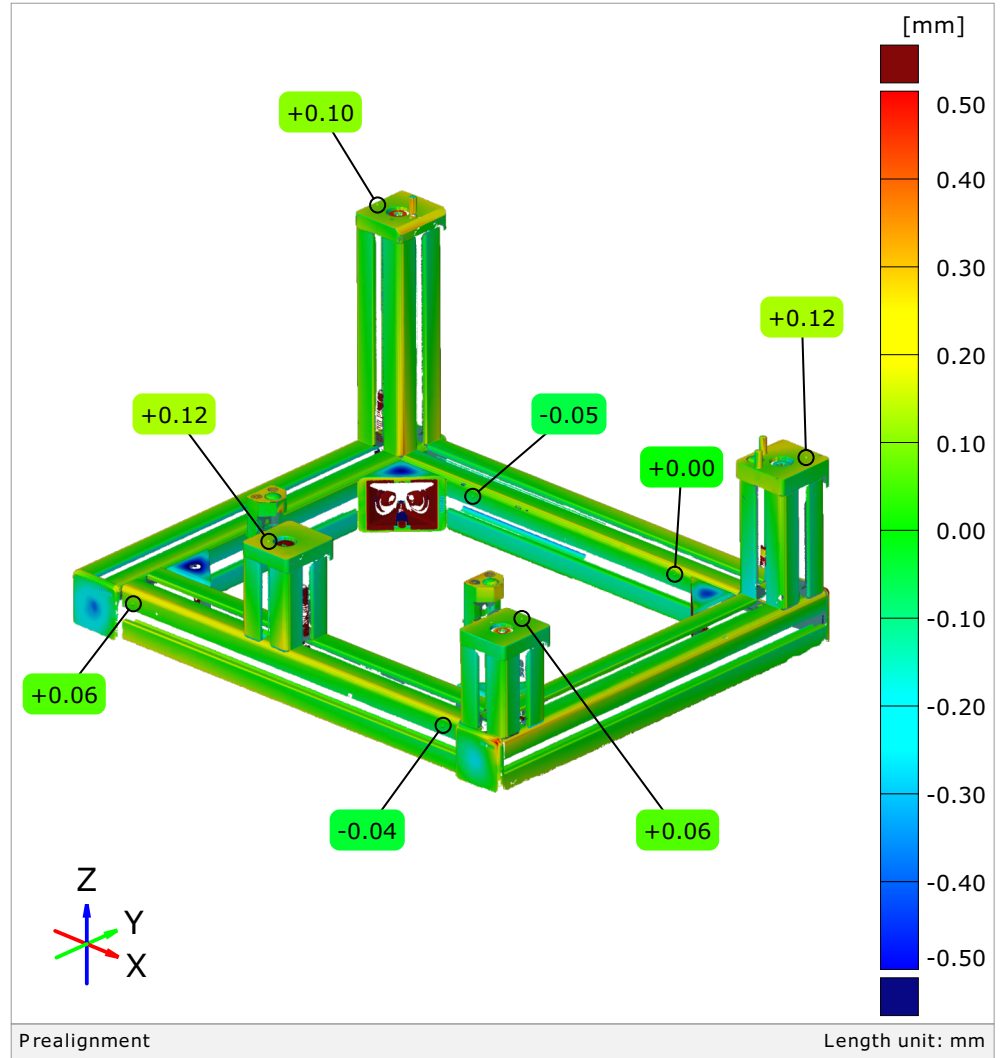


Poravnanje CAD modela i skenirane geometrije korigiranog stanja

Korigirano\_stanje

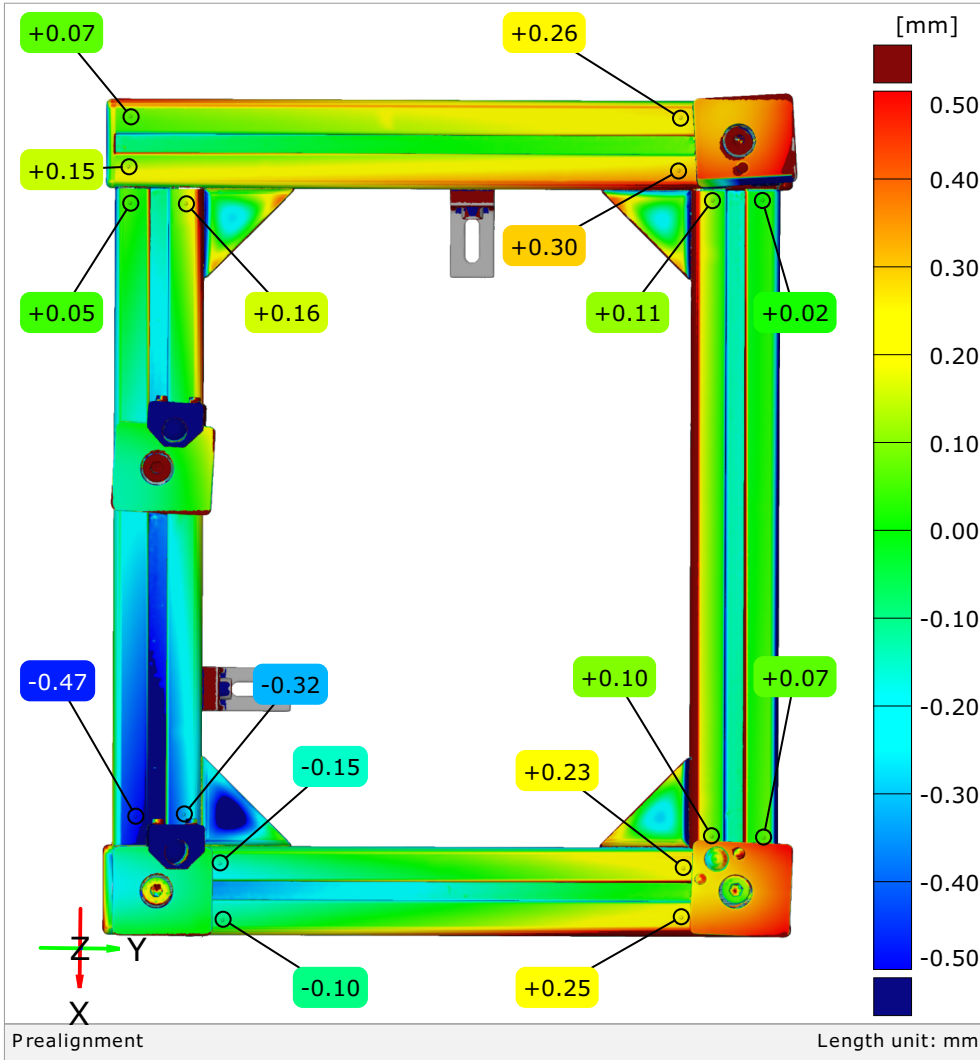


Korigirano\_stanje

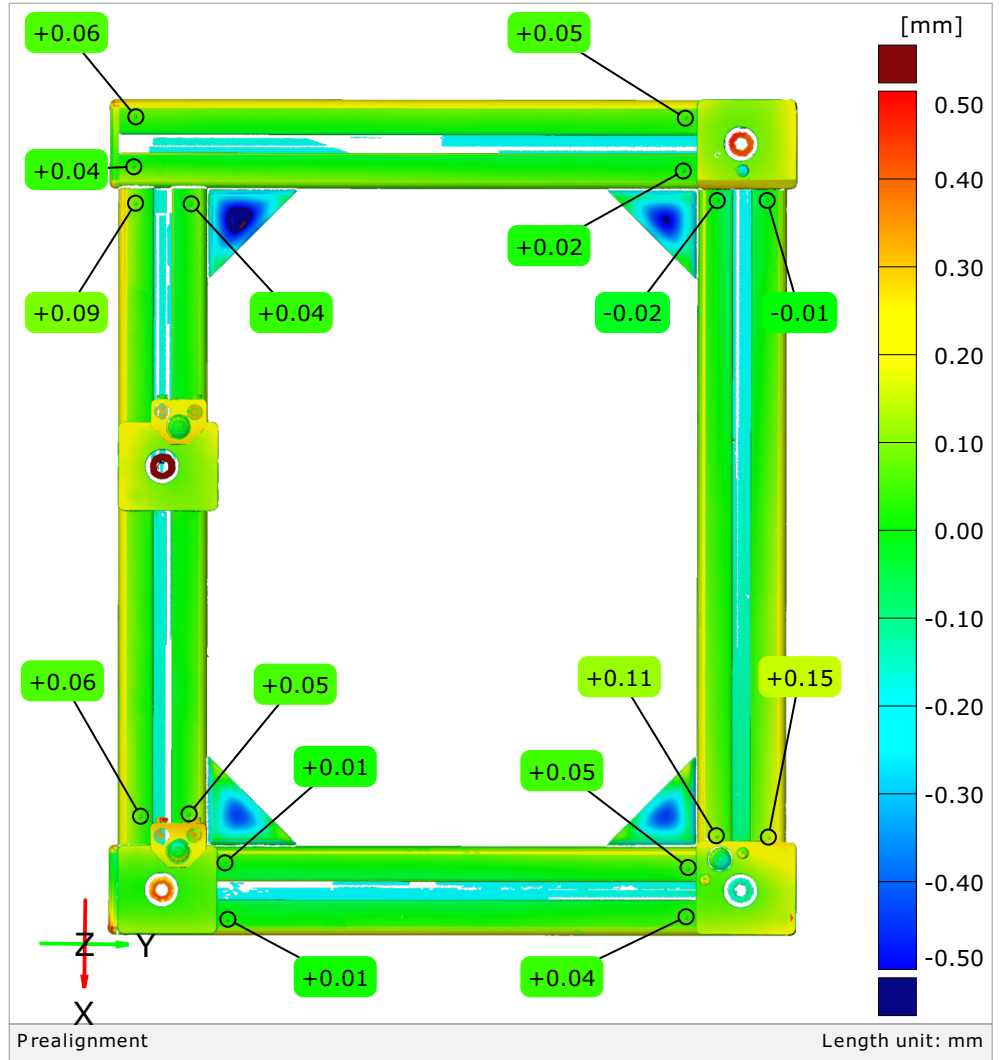


Devijacija pravokutne baze prikazana u mapi boja

Postojeće stanje

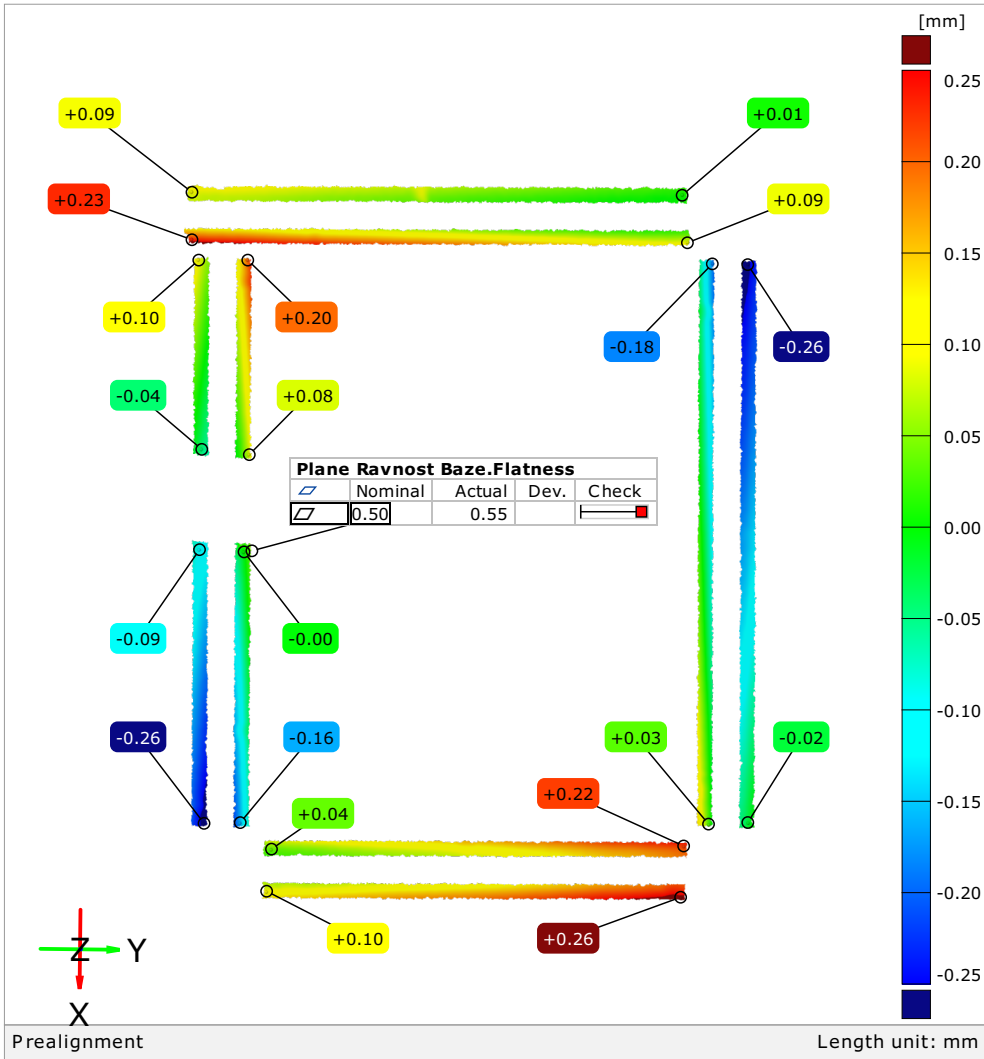


Korigirano stanje

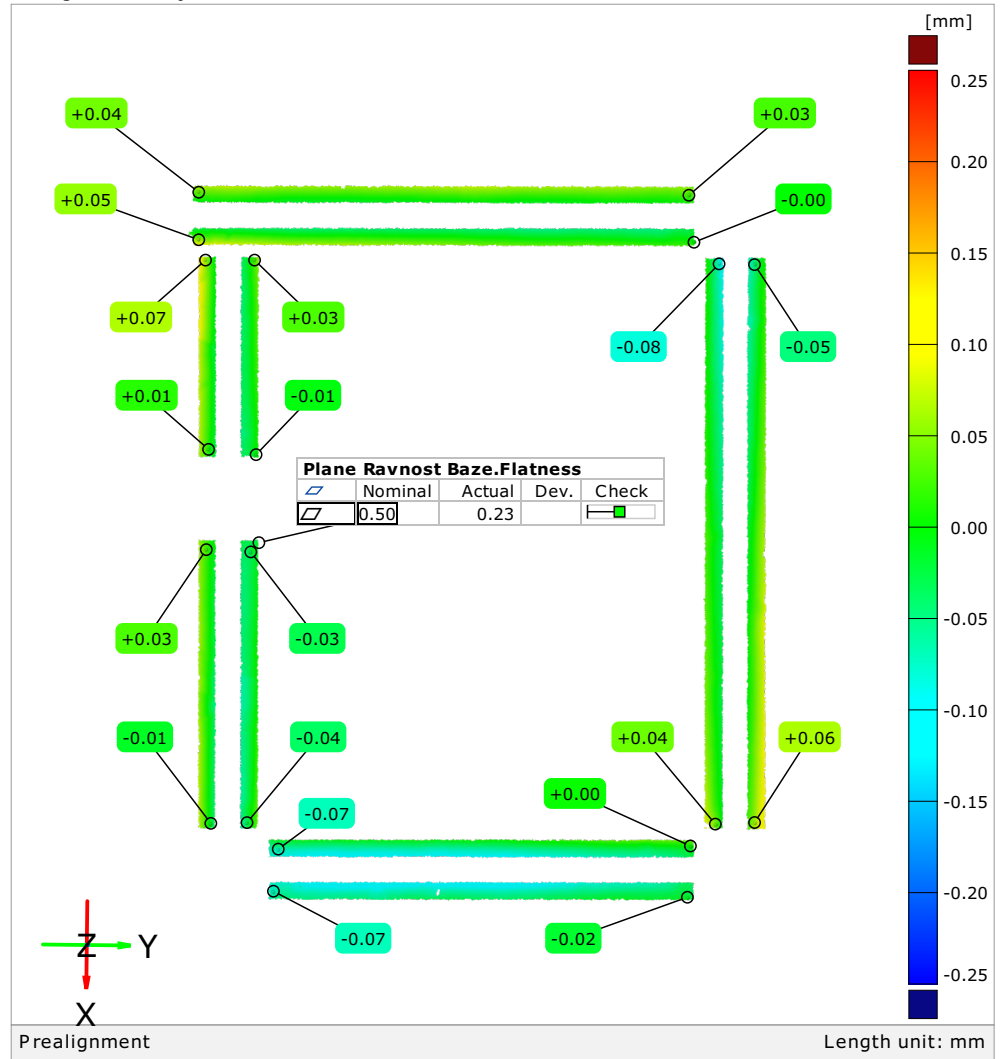


Ravnost baze (Tol. zona 0.5 mm)

Postojece\_stanje

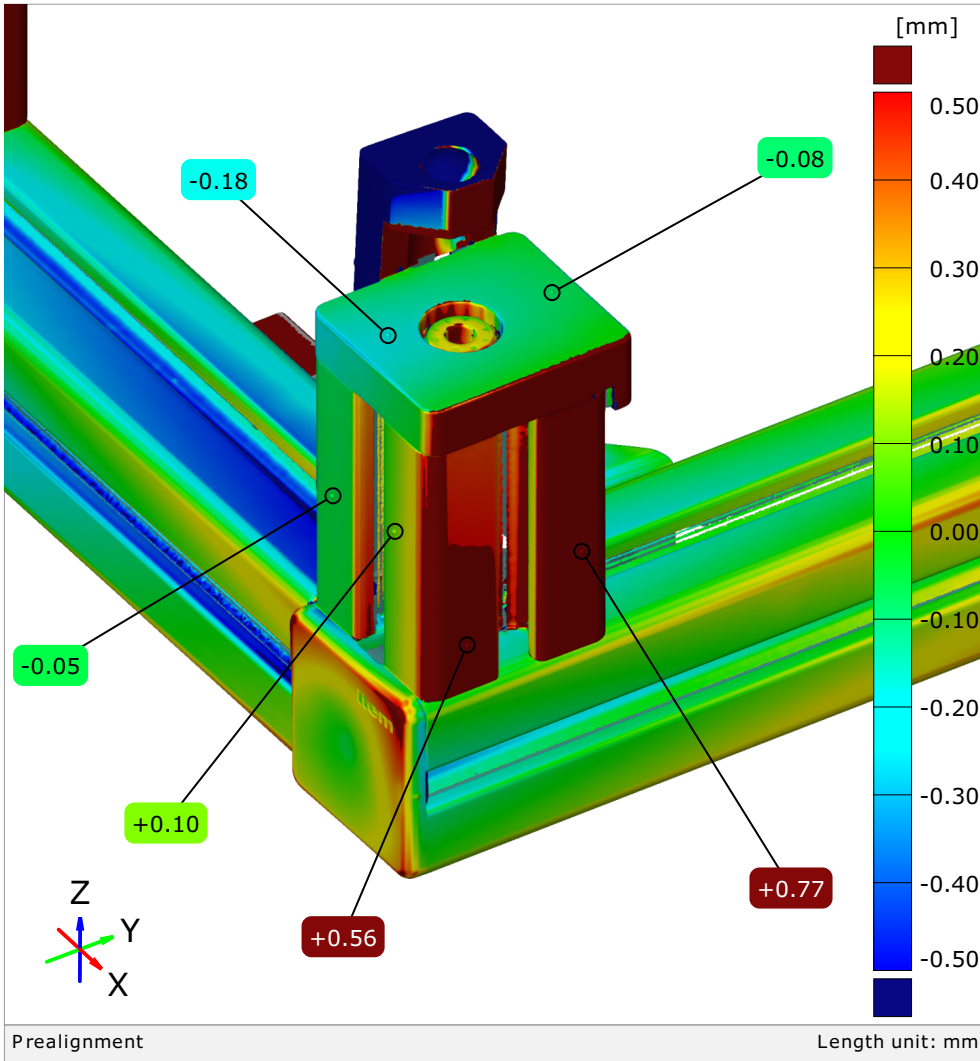


Korigirano\_stanje

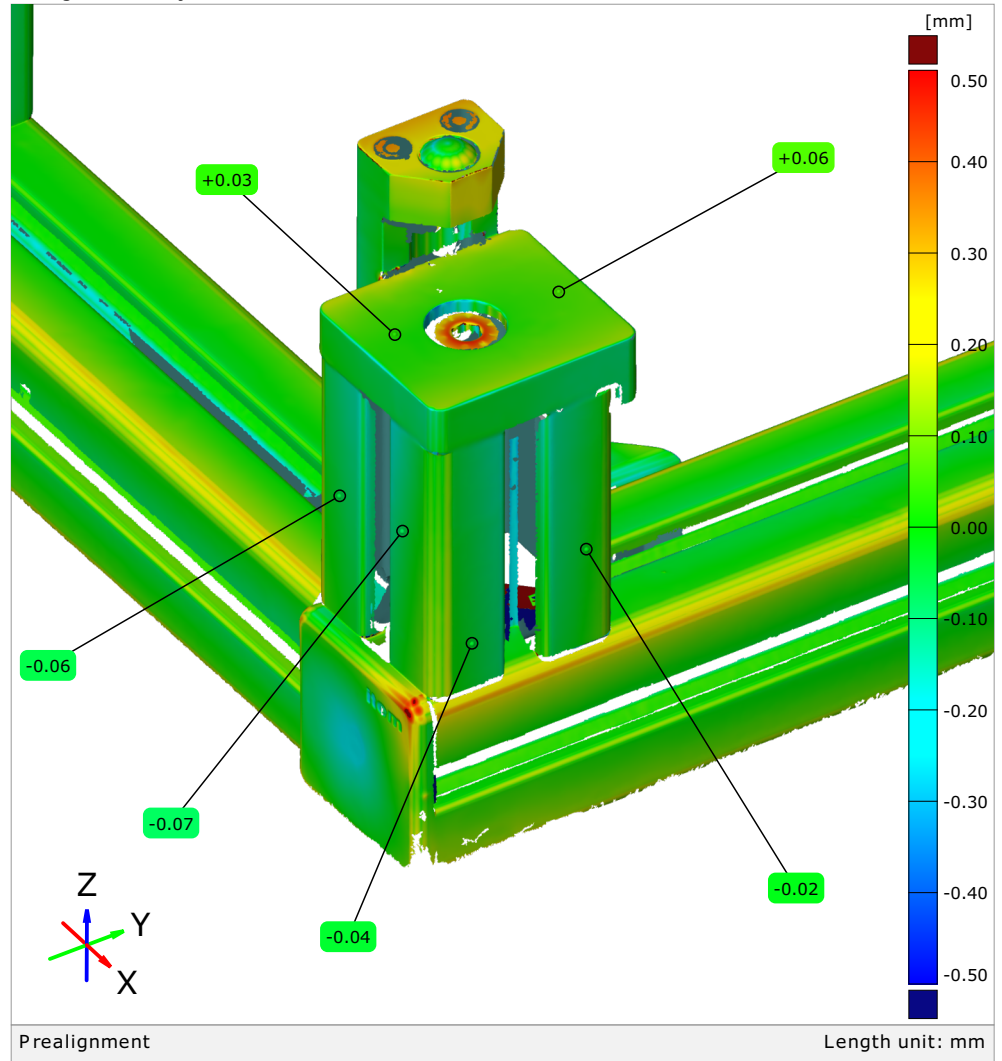


Devijacija stup 1

Postojeće stanje

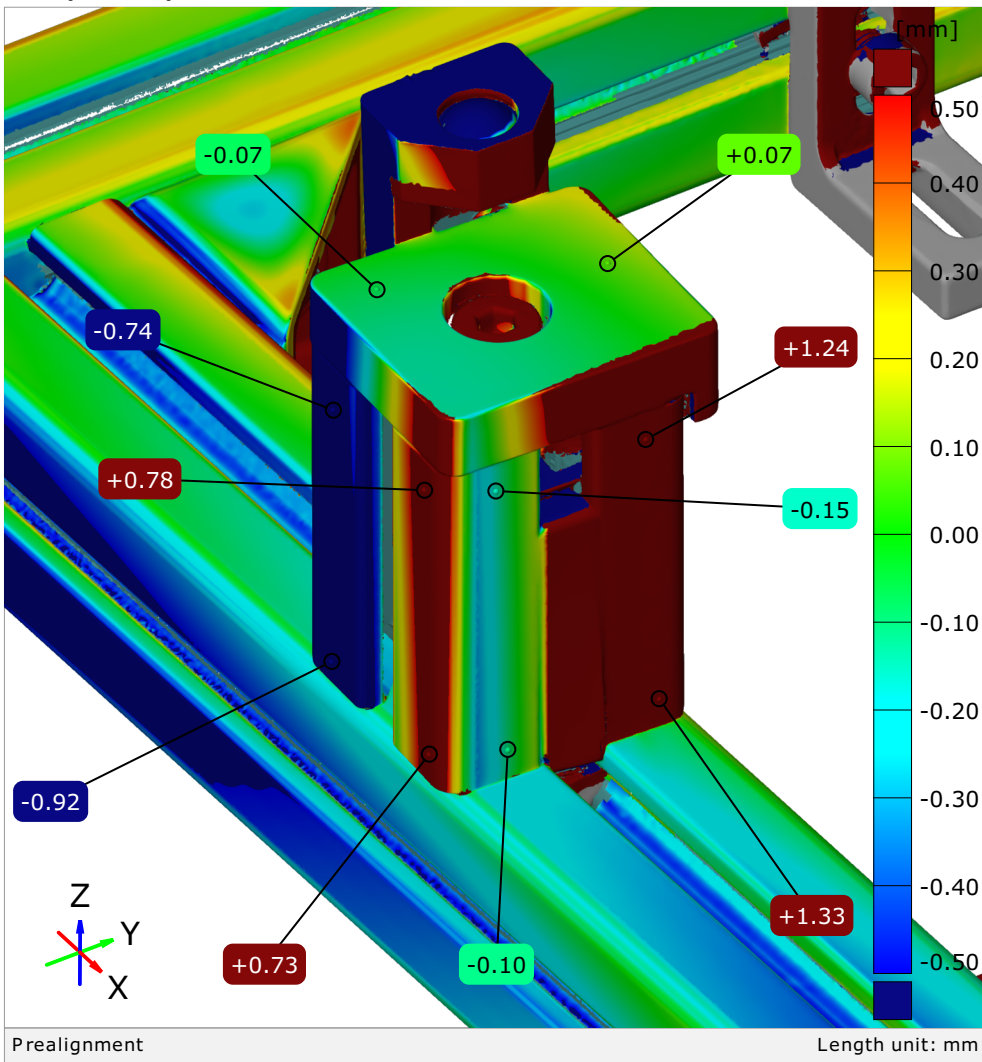


Korigirano stanje

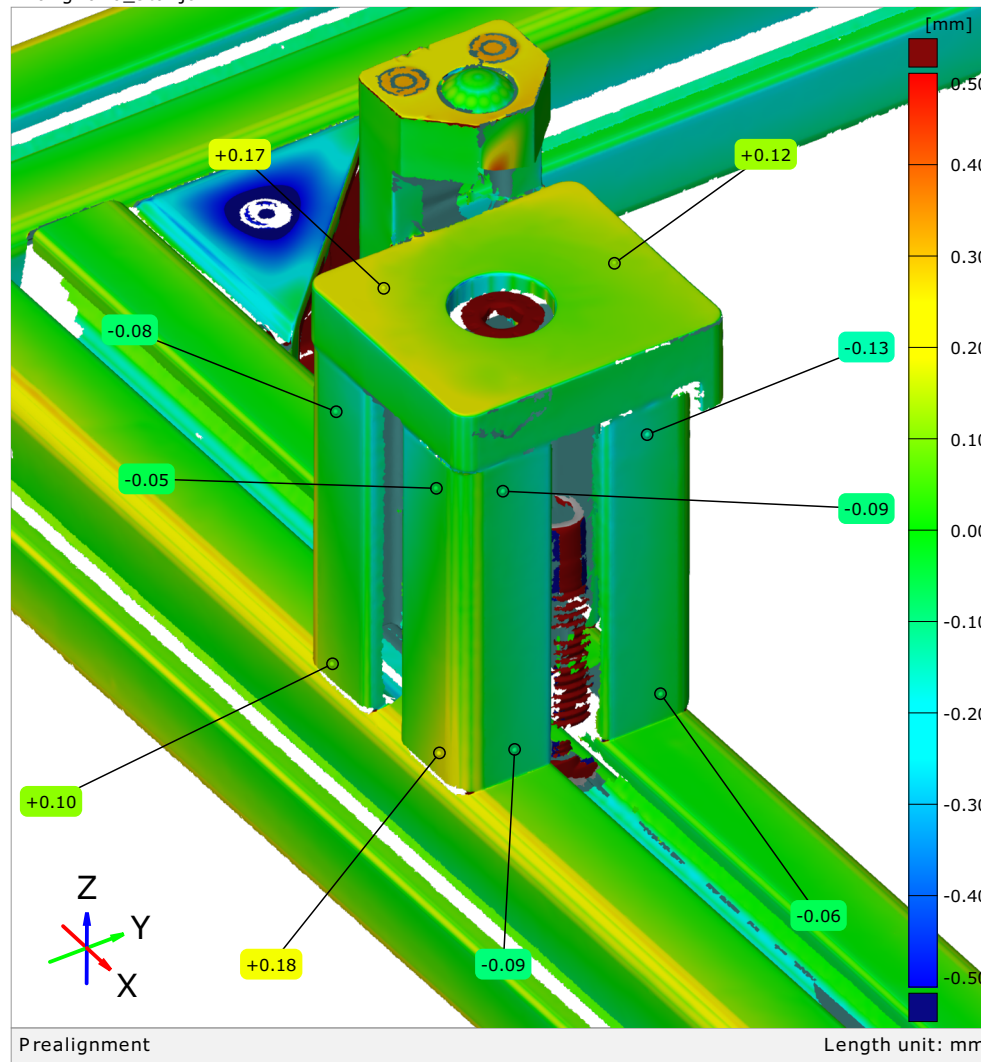


Devijacija stup 2

Postojece\_stanje

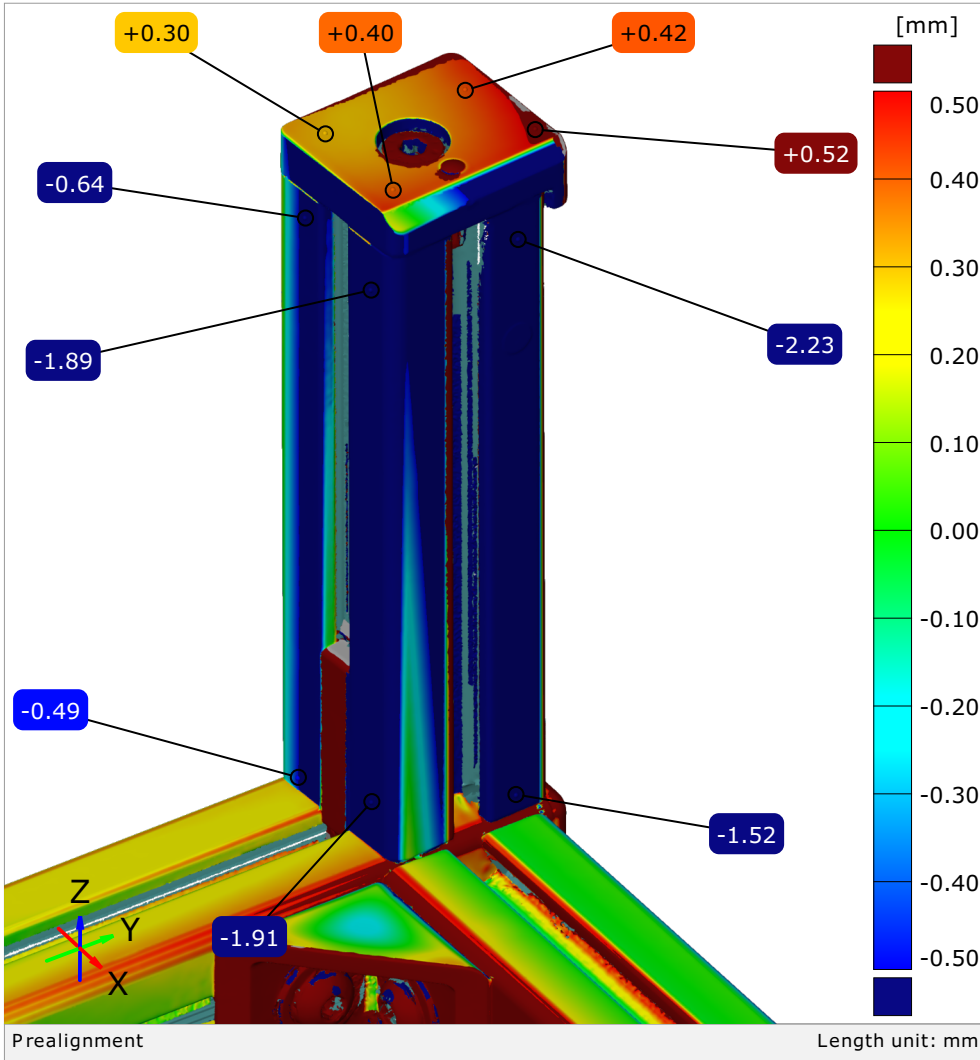


Korigirano\_stanje

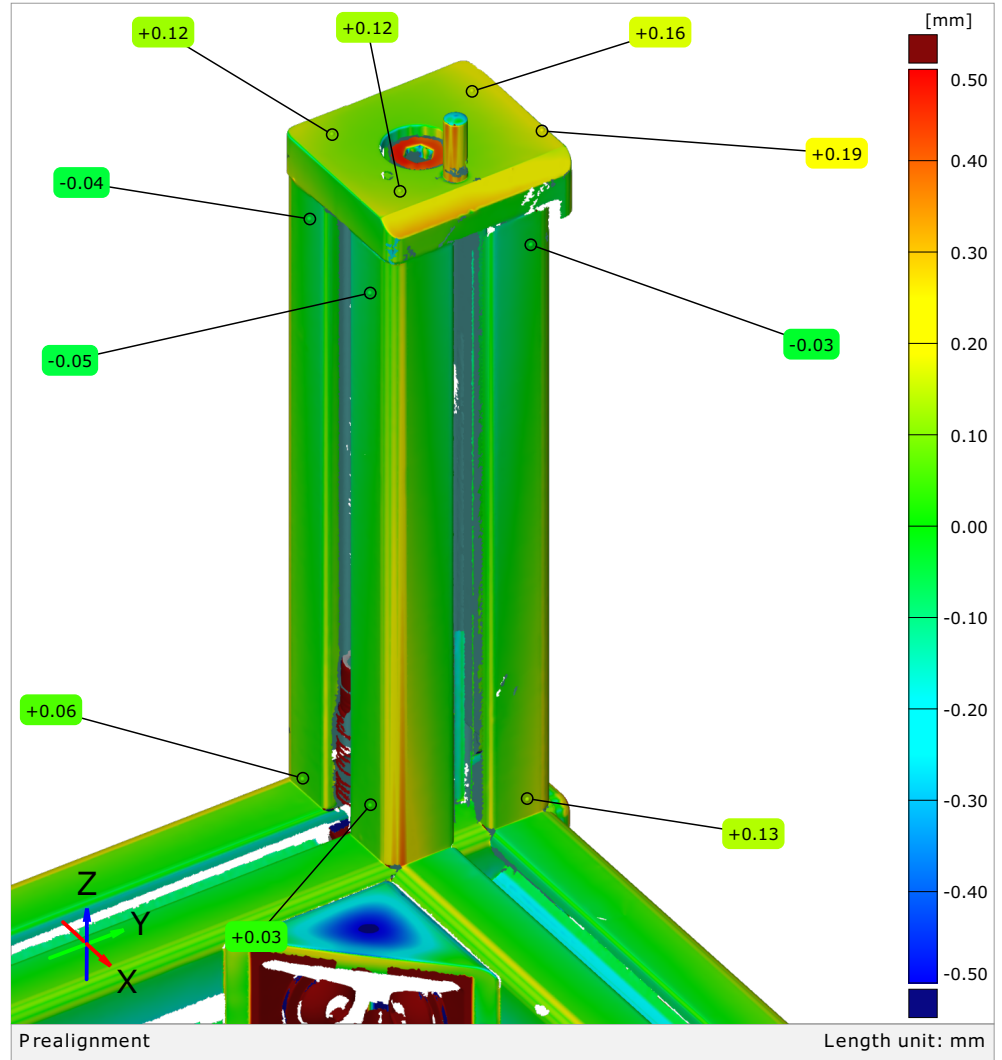


Devijacija stup 3

Postojece\_stanje

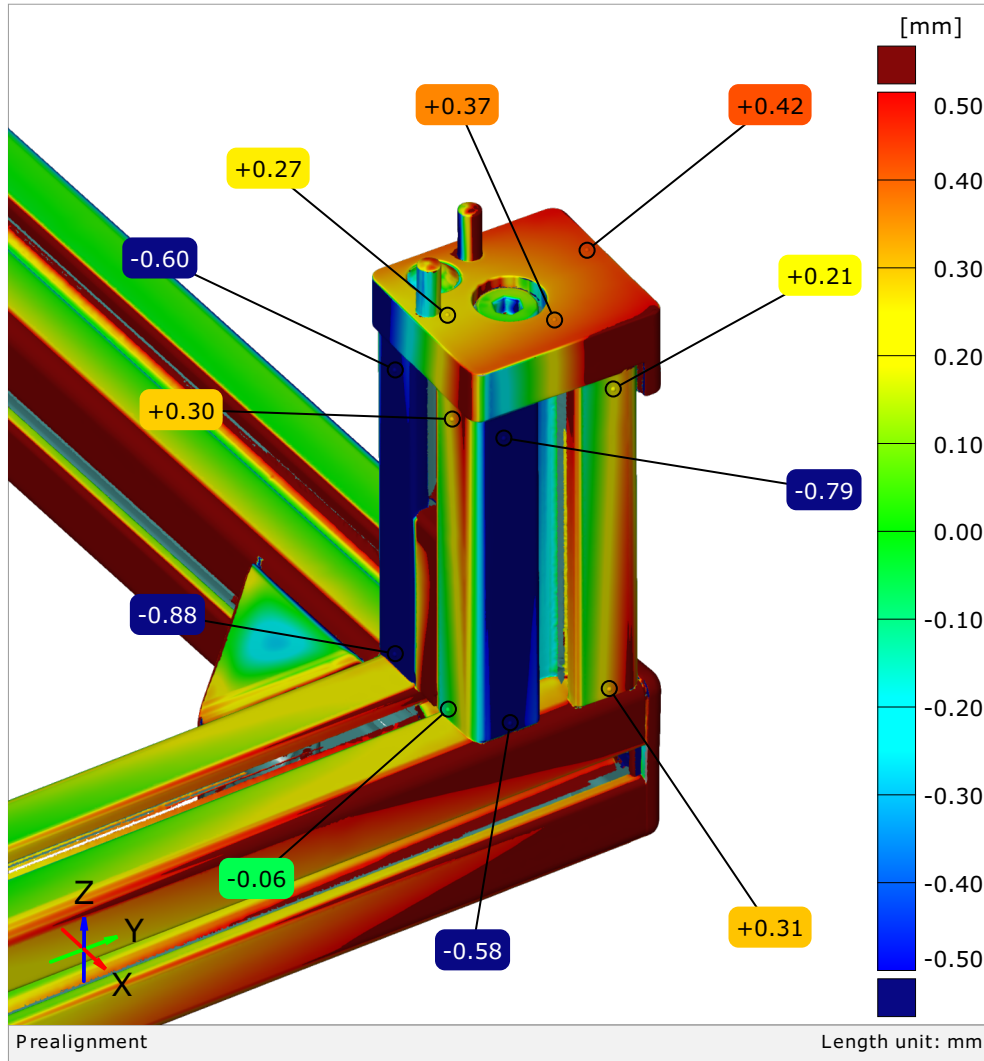


Korigirano\_stanje

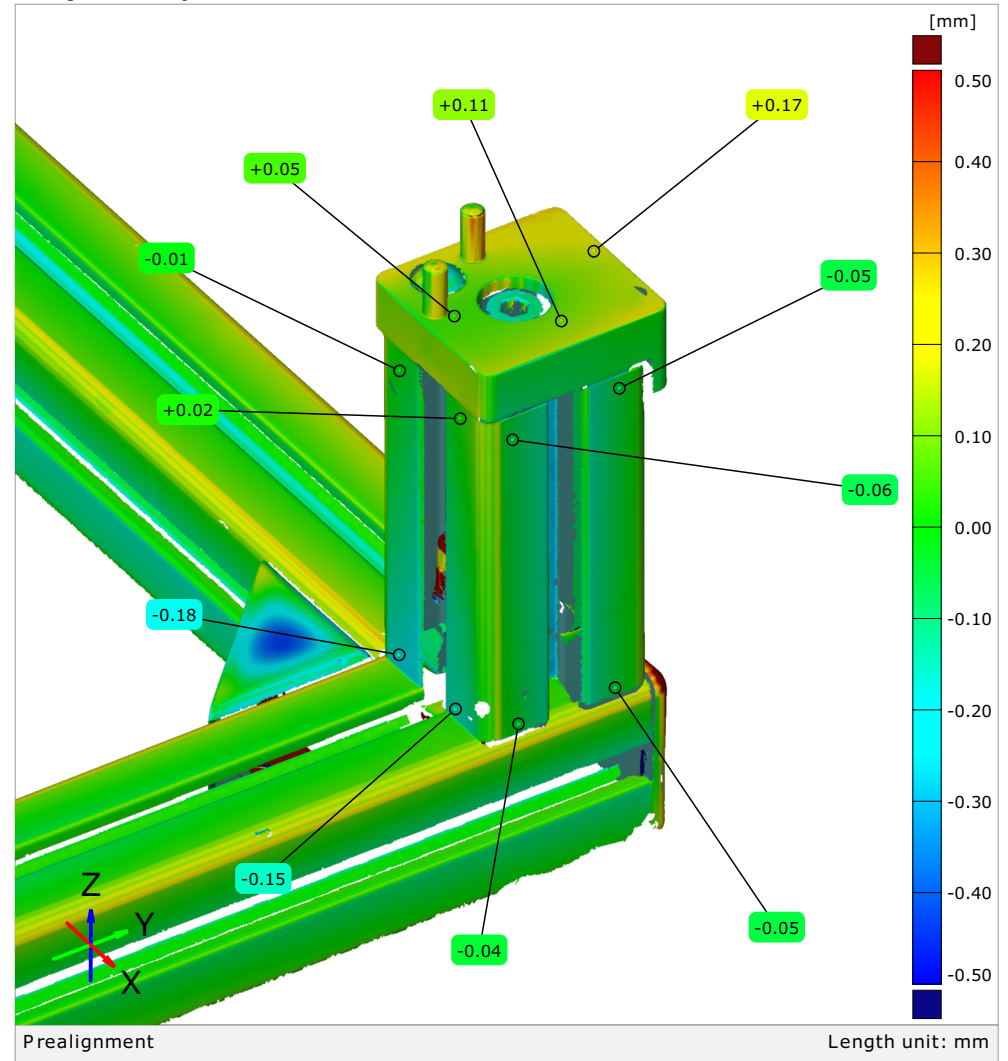


Devijacija stup 4

Postojece\_stanje



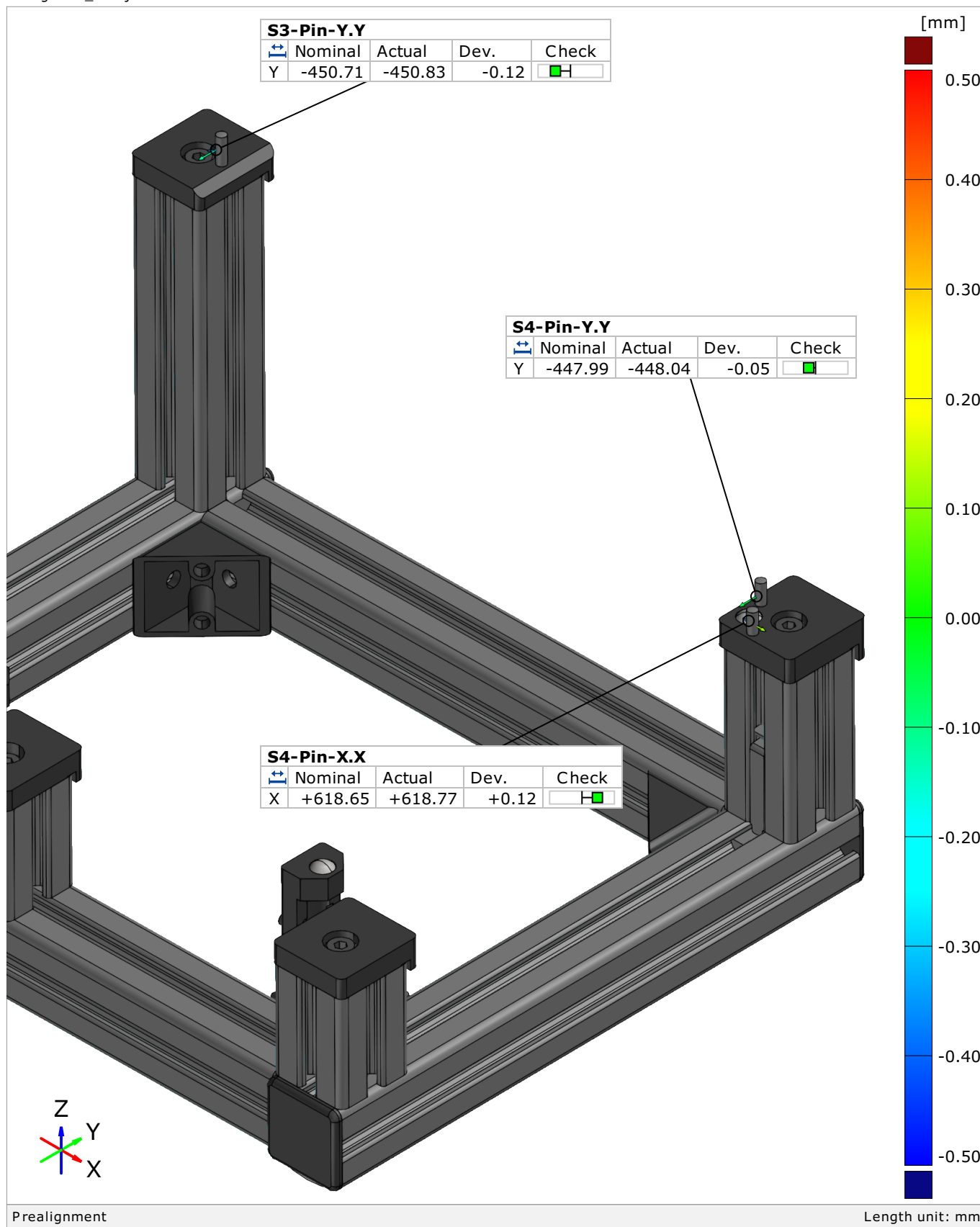
Korigirano\_stanje



Pozicija pinova u smjeru X i Y osi (Tol. +/- 0.2mm)

13/15

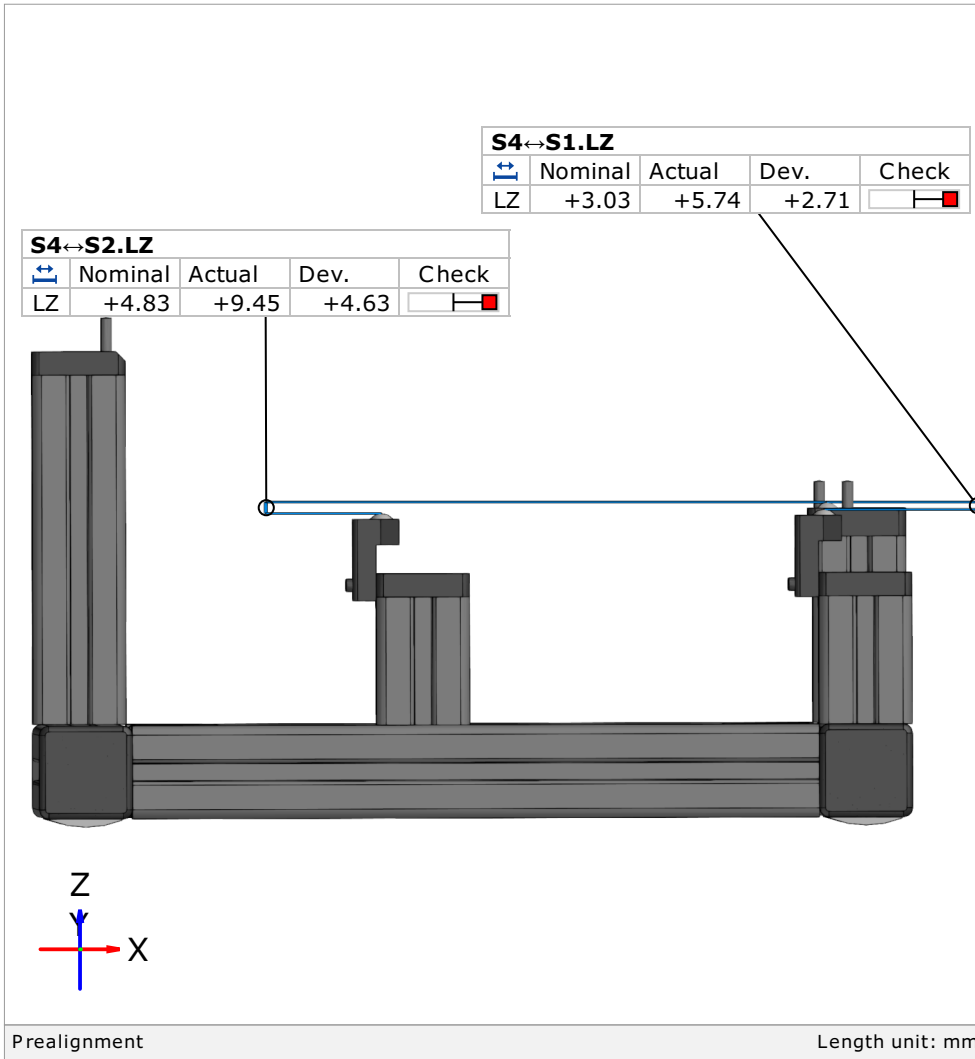
Korigirano\_stanje



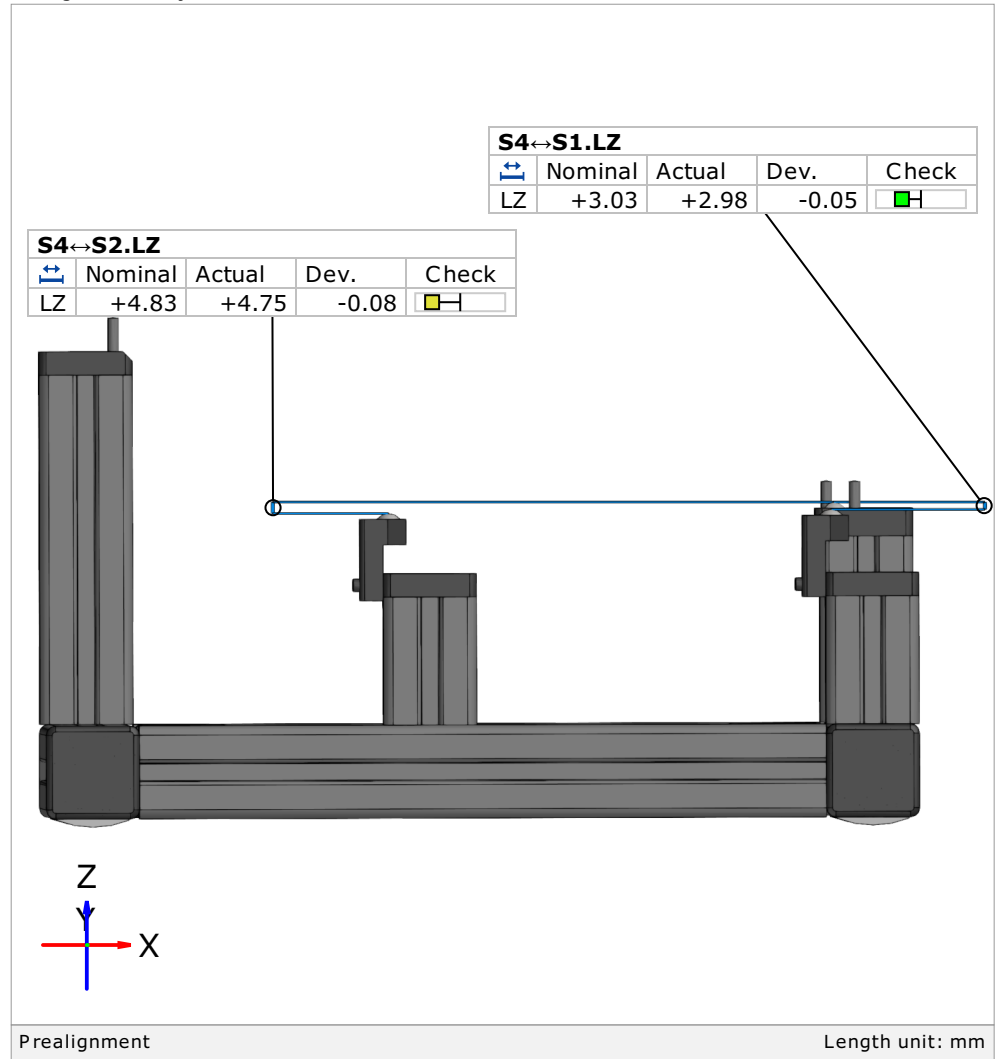


Udaljenost magnetnih sfera u odnosu na sferu S4 - (Tol. +/- 0.1mm)

Postojeće stanje



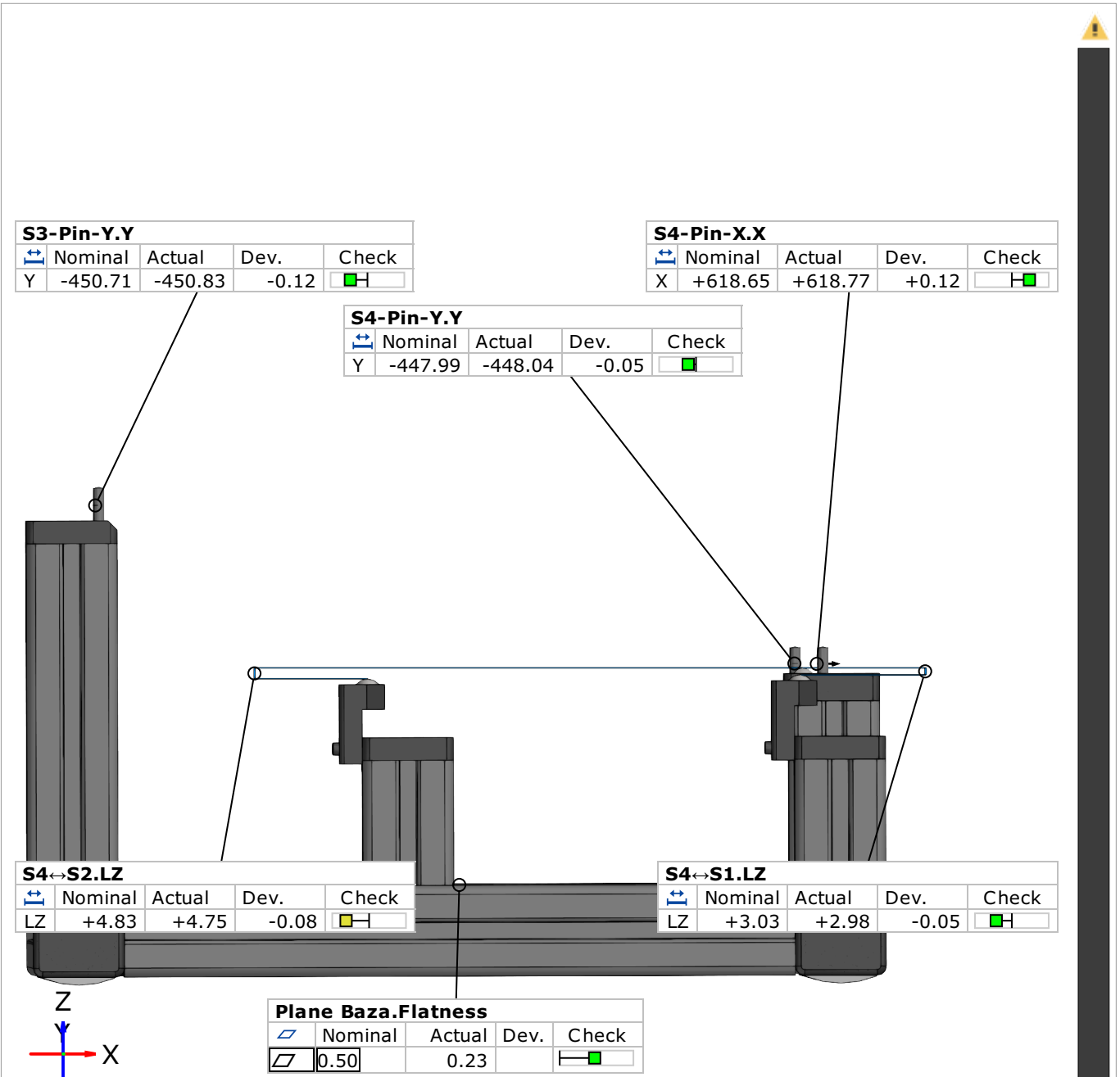
Korigirano stanje



Tablični prikaz rezultata nakon optičkog pozicioniranja naprave

15/15

Korigirano\_stanje



Element	Datum	Property	Nominal	Actual	Tol -	Tol +	Dev	Check	Out
↑ S3-Pin-Y		Y	-450.71	-450.83	-0.20	+0.20	-0.12	<input checked="" type="checkbox"/>	
↑ S4-Pin-X		X	+618.65	+618.77	-0.20	+0.20	+0.12	<input checked="" type="checkbox"/>	
↑ S4-Pin-Y		Y	-447.99	-448.04	-0.20	+0.20	-0.05	<input checked="" type="checkbox"/>	
<input checked="" type="checkbox"/> Plane Baza		∠	+0.00	+0.23	+0.00	+0.50	+0.23	<input checked="" type="checkbox"/>	
↔ S4-S1		LZ	+3.03	+2.98	-0.10	+0.10	-0.05	<input checked="" type="checkbox"/>	
↔ S4-S2		LZ	+4.83	+4.75	-0.10	+0.10	-0.08	<input checked="" type="checkbox"/>	

Prealignment Length unit: mm

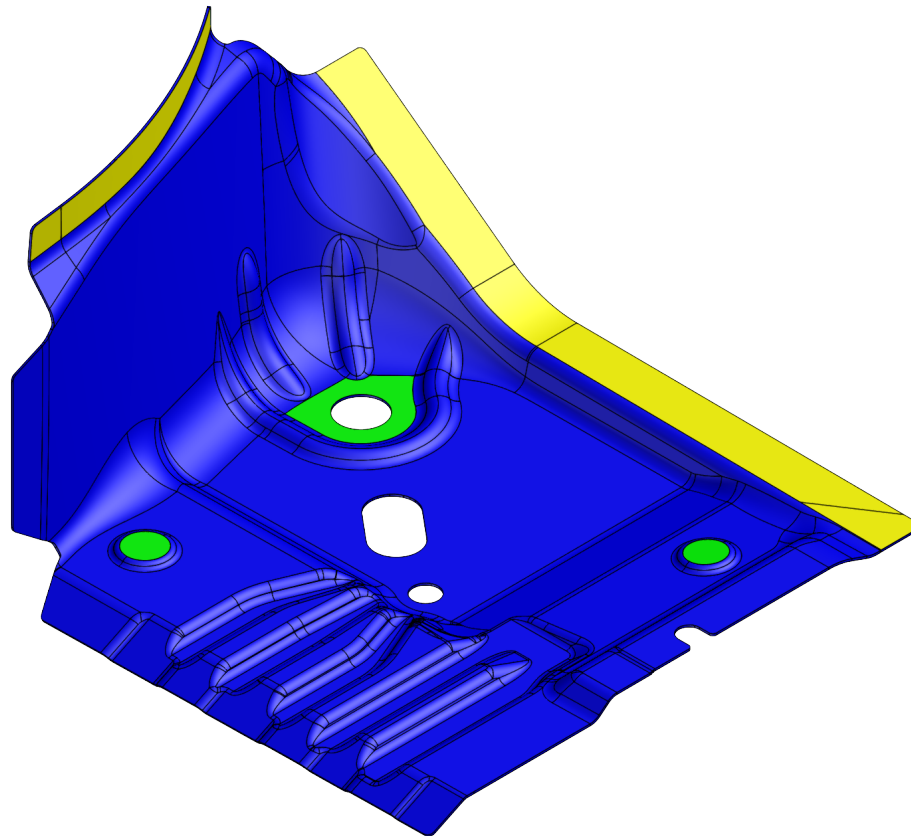


# Izvješće o mjerenju: IOM-Diplomski rad

**Datum izdavanja:** 2020-09-21

**Izvješće izdao:** Luka Lukačić, bacc.ing.mech.

📍 **Sjedište:** Ilica 231, HR-10000 Zagreb  
**Laboratorij:** Industrijska ulica 3, Novaki  
HR-10431 Sveta Nedelja  
T: + 385 1 349, 6010; F: + 385 1 599 9722  
E-mail: info@topomatika.hr  
🏦 **IBAN:** PBZ HR85 2340 0091 1100 8406 2  
**ZABA** HR46 2360 0001 1028 1902 3  
**OIB/VAT:** HR51475743156



Length unit: mm

**Naručitelj:** Topomatika

**Predmet mjerenja:** Corner Plare

**Datum mjerenja:** 2020-08-03

**Lokacija:** Topomatika d.o.o.

**Mjeritelj:** Luka Lukačić

**Rezultati mjerenja:** na stranicama 2 do 8

**Mjerni sustav:** ATOS ScanBox 5120

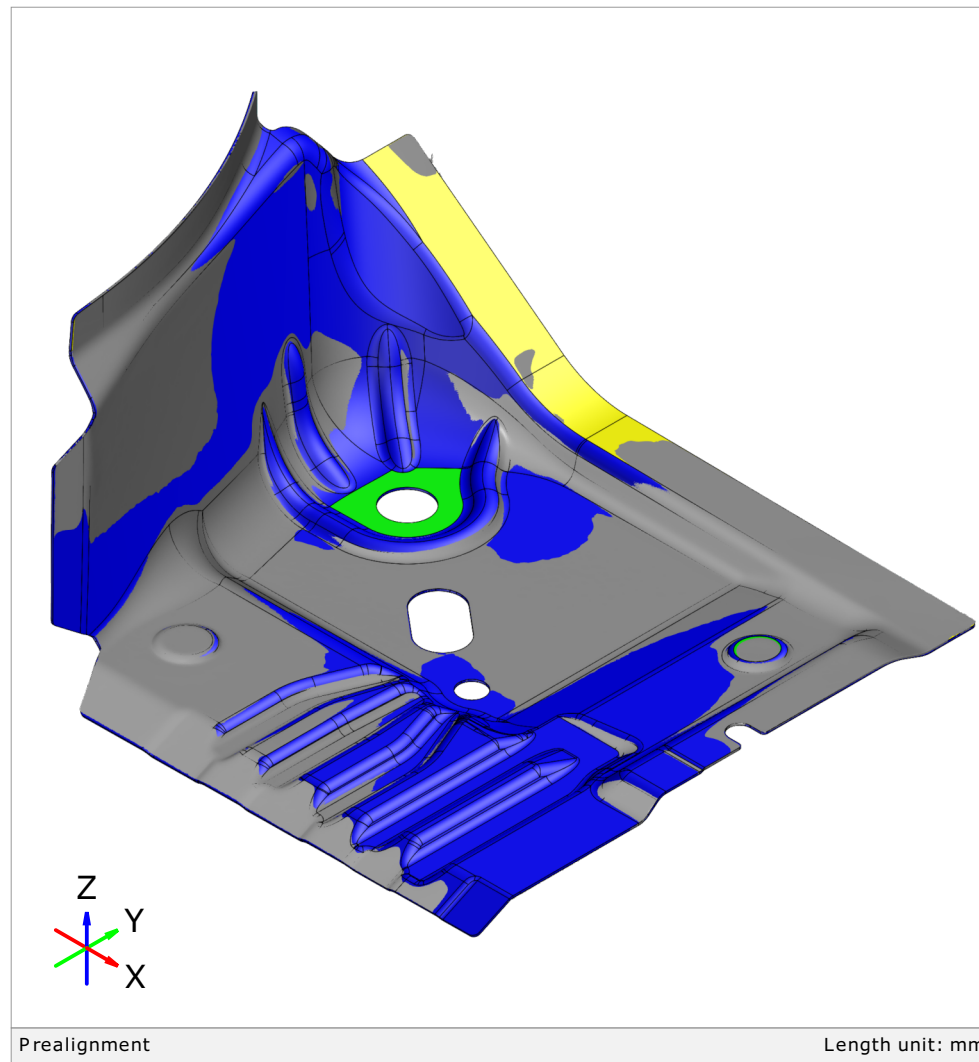
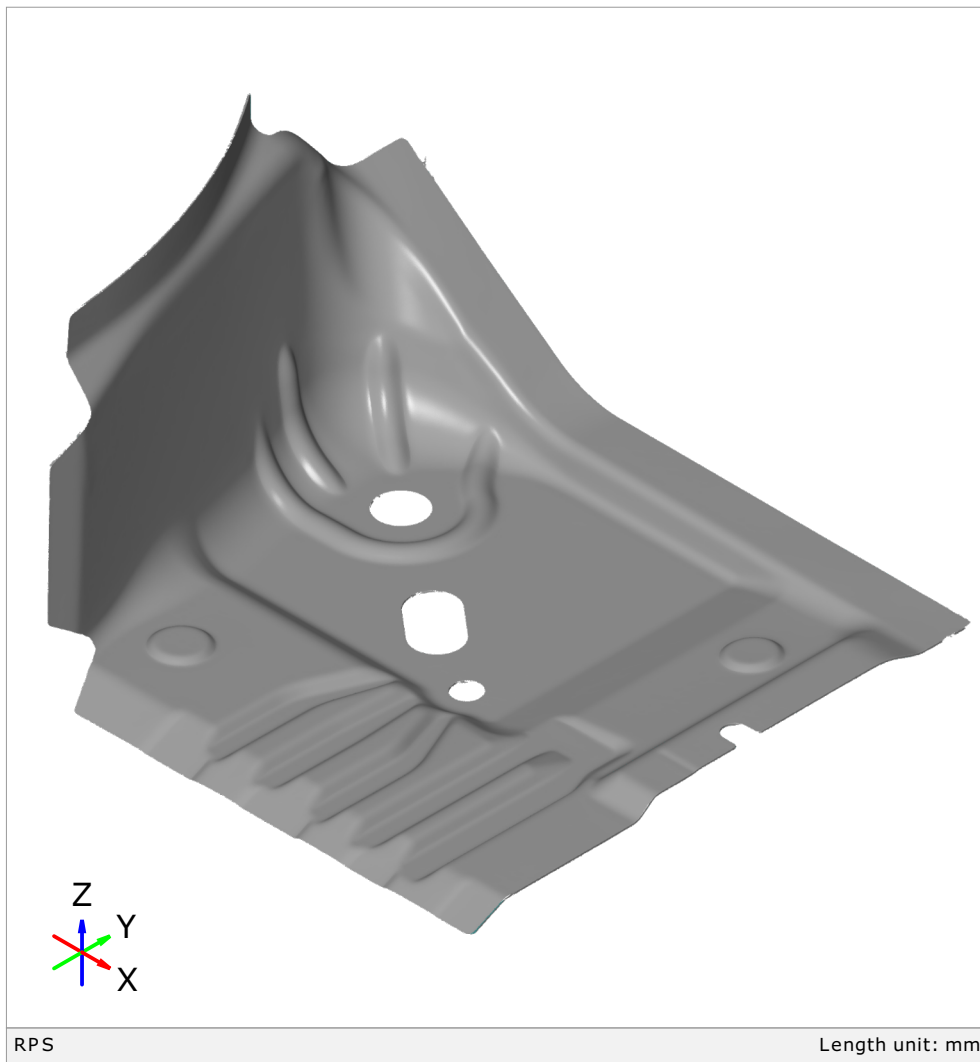
**Mjerno područje:** MV500

**Serijski broj:** 181039

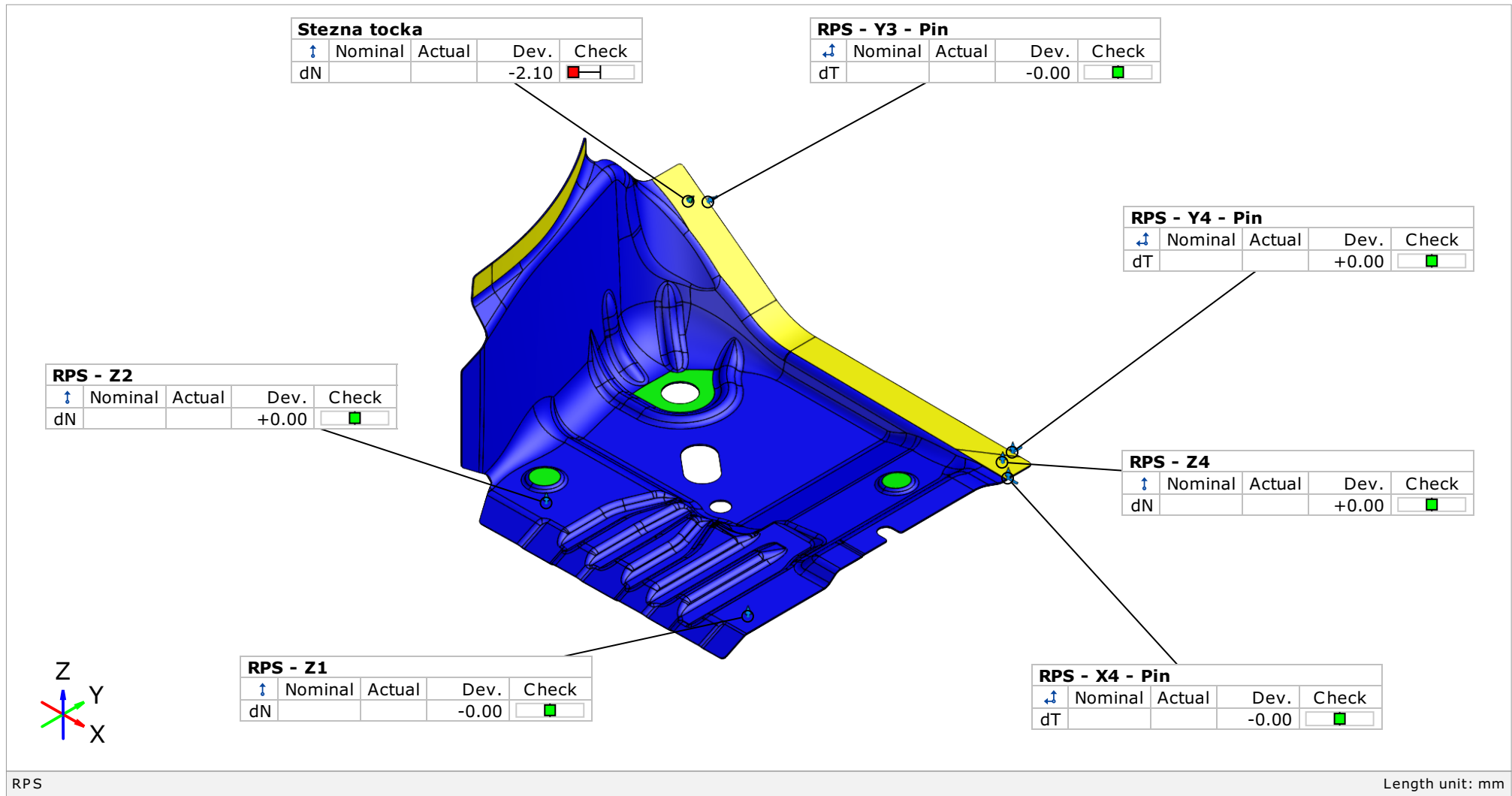
**Temperatura i vlažnost:** 22±1°C; 55%±10%

**Napomena:**

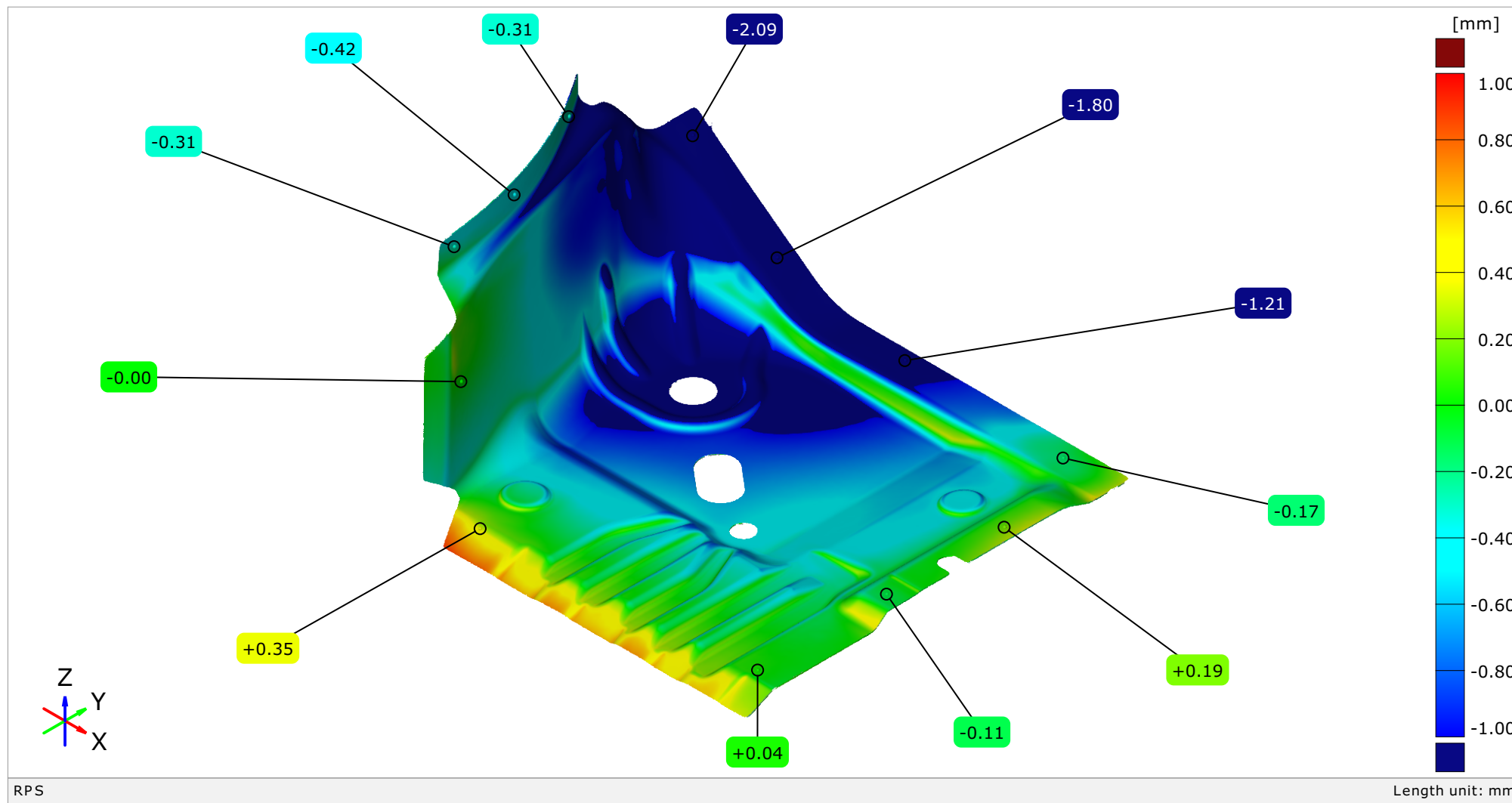
Rezultat skeniranja i poravnanje prema metodi najmanjih kvadrata



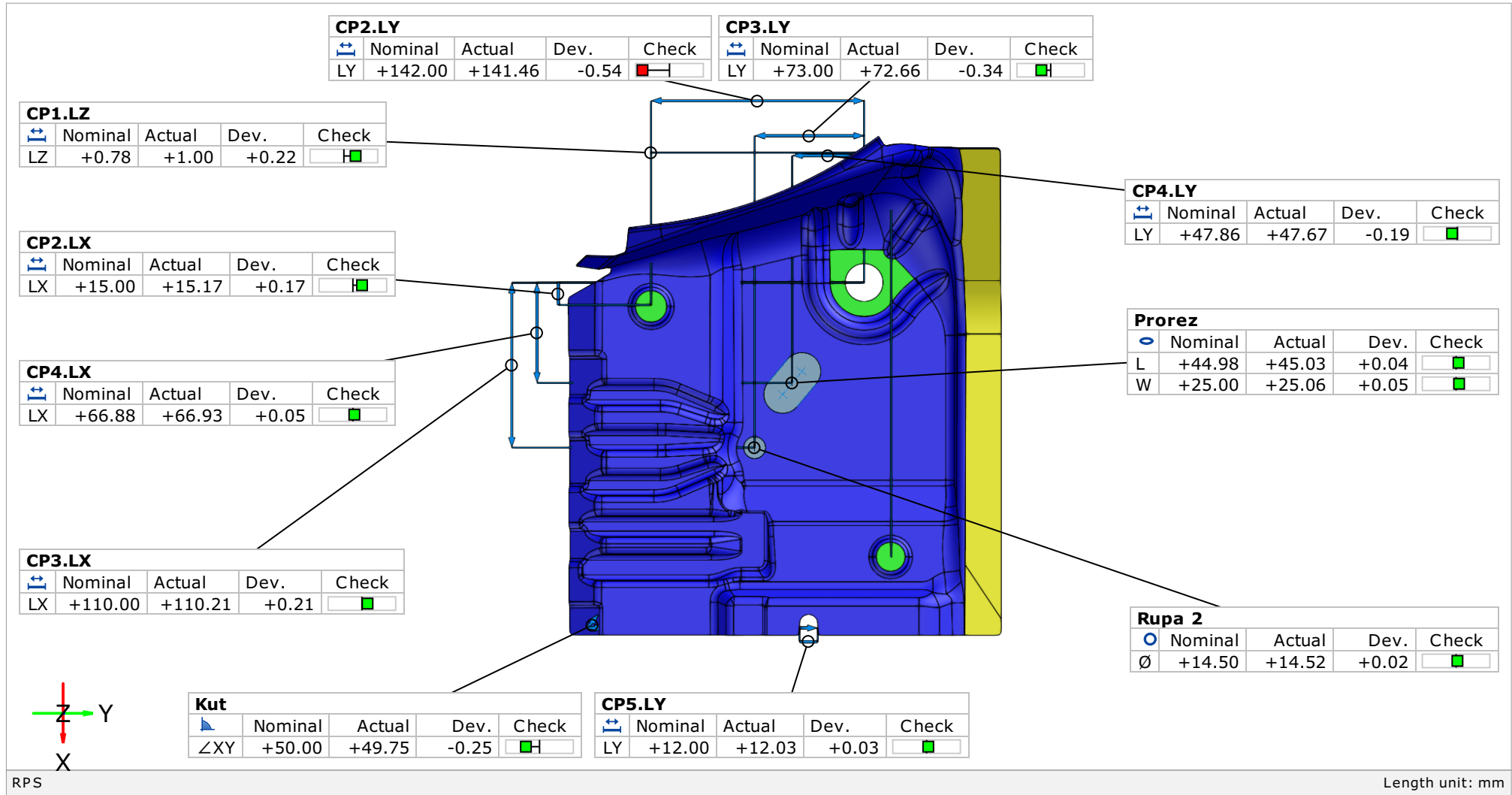
RPS poravnanje i stezna točka



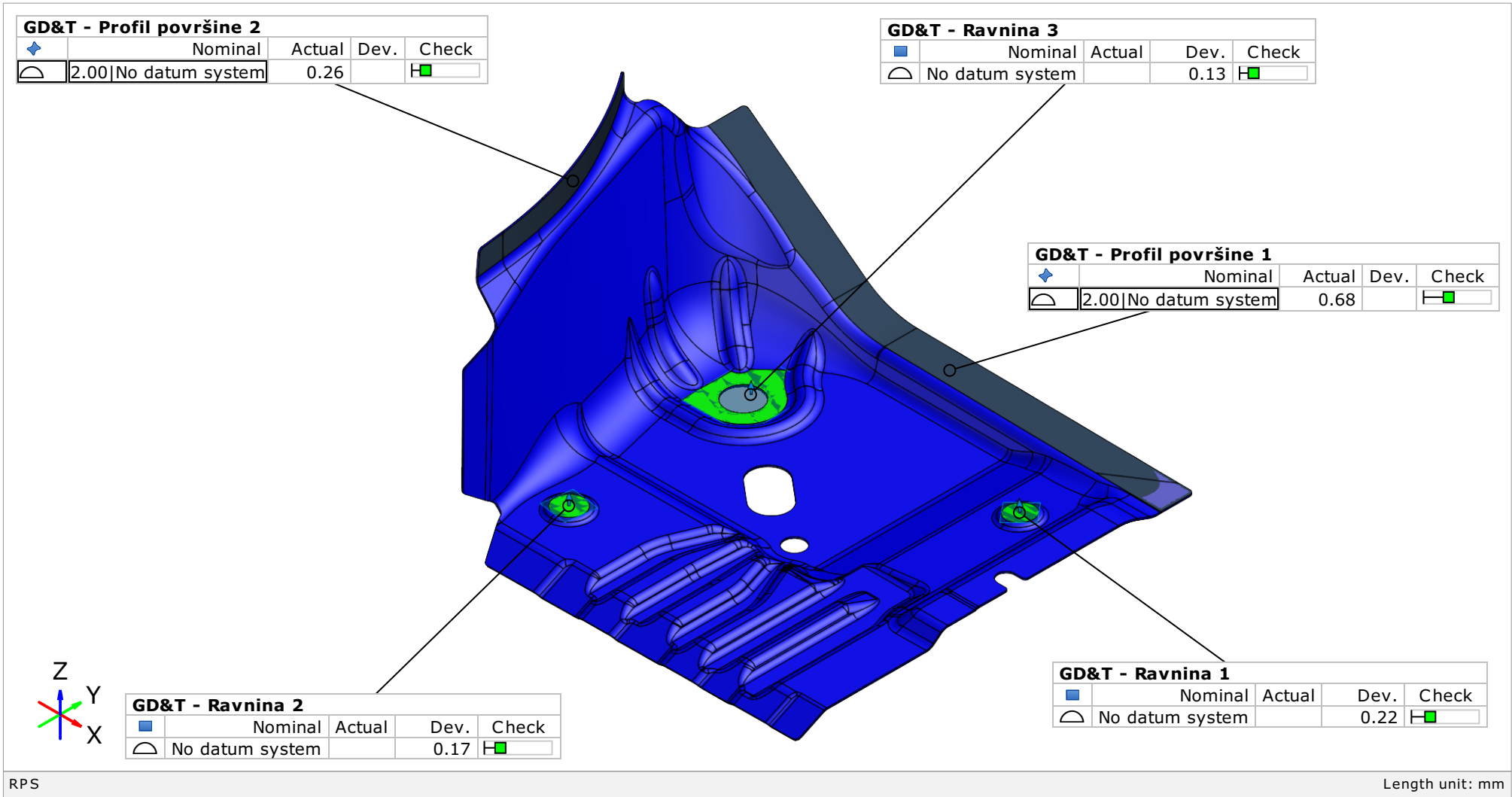
Usporedba površina CAD-Mesh u RPS poravnanju



Mjerenje duljina

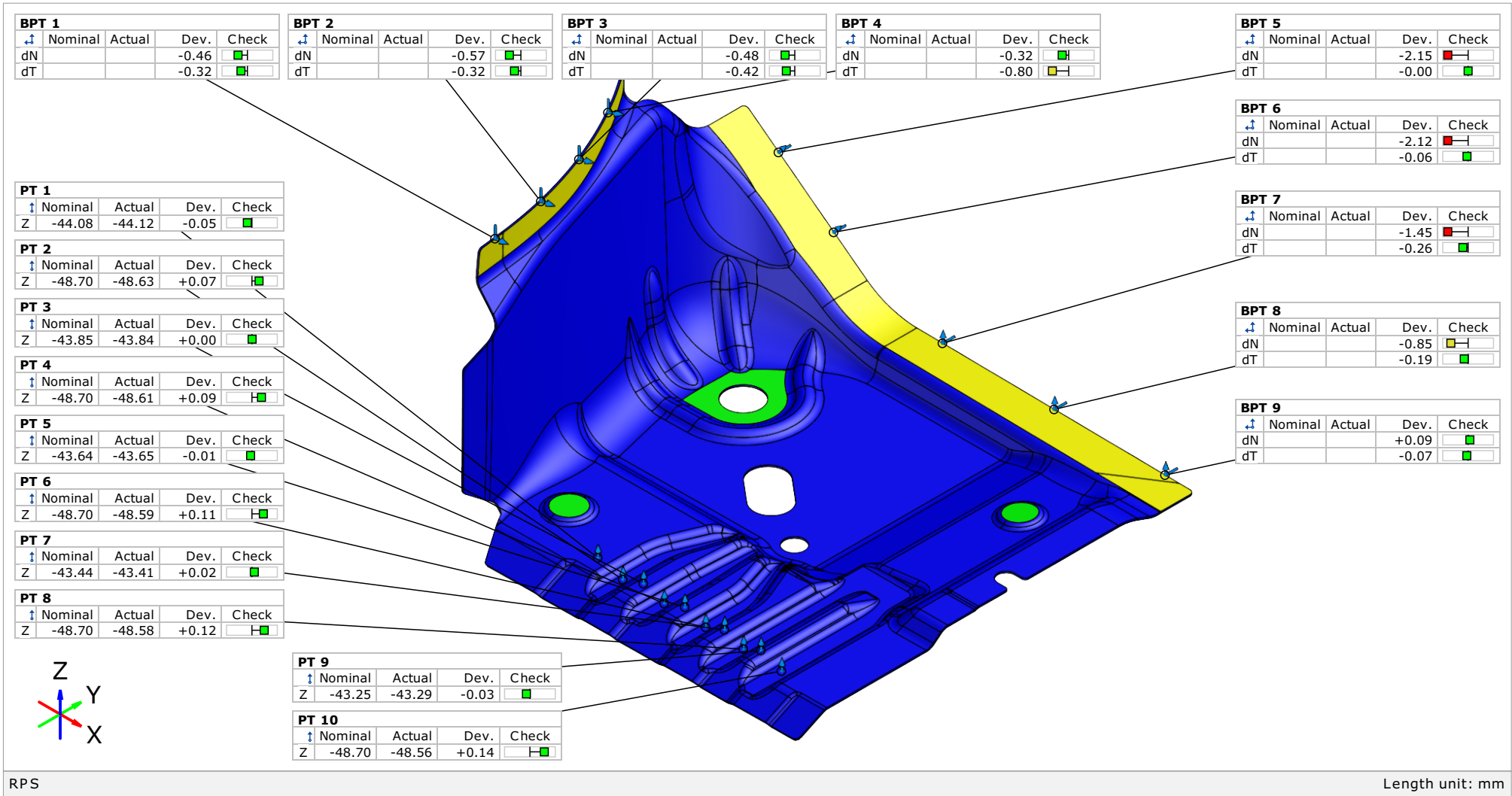


Tolerancija oblika i položaja































Kontrola površinskih i rubnih točaka



## Tablica

8/8

Element	Datum	Property	Nominal	Actual	Tol -	Tol +	Dev	Check	Out
▶ Kut		∠XY	+50.00	+49.75	-0.50	+0.50	-0.25		
↕ CP5		LY	+12.00	+12.03	-0.50	+0.50	+0.03		
↕ CP4		LY	+47.86	+47.67	-1.00	+1.00	-0.19		
↕ CP4		LX	+66.88	+66.93	-1.00	+1.00	+0.05		
↕ CP3		LY	+73.00	+72.66	-1.00	+1.00	-0.34		
↕ CP3		LX	+110.00	+110.21	-1.00	+1.00	+0.21		
↕ CP2		LY	+142.00	+141.46	-0.50	+0.50	-0.54		-0.04
↕ CP2		LX	+15.00	+15.17	-0.50	+0.50	+0.17		
↕ CP1		LZ	+0.78	+1.00	-0.50	+0.50	+0.22		
◆ GD&T - Profil površine 2			+0.00	+0.26	+0.00	+2.00	+0.26		
◆ GD&T - Profil površine 1			+0.00	+0.68	+0.00	+2.00	+0.68		
○ Prorez		W	+25.00	+25.06	-0.50	+0.50	+0.05		
○ Prorez		L	+44.98	+45.03	-0.50	+0.50	+0.04		
○ Rupa 2		∅	+14.50	+14.52	-0.50	+0.50	+0.02		
■ GD&T - Ravnina 3			+0.00	+0.13	+0.00	+1.00	+0.13		
■ GD&T - Ravnina 2			+0.00	+0.17	+0.00	+1.00	+0.17		
■ GD&T - Ravnina 1			+0.00	+0.22	+0.00	+1.00	+0.22		
↕ RPS - Y3 - Pin		dT			-0.05	+0.05	-0.00		
↑ Stezna točka		dN			-0.05	+0.05	-2.10		-2.05
↑ RPS - Z2		dN			-0.05	+0.05	+0.00		
↑ RPS - Z1		dN			-0.05	+0.05	-0.00		

RPS

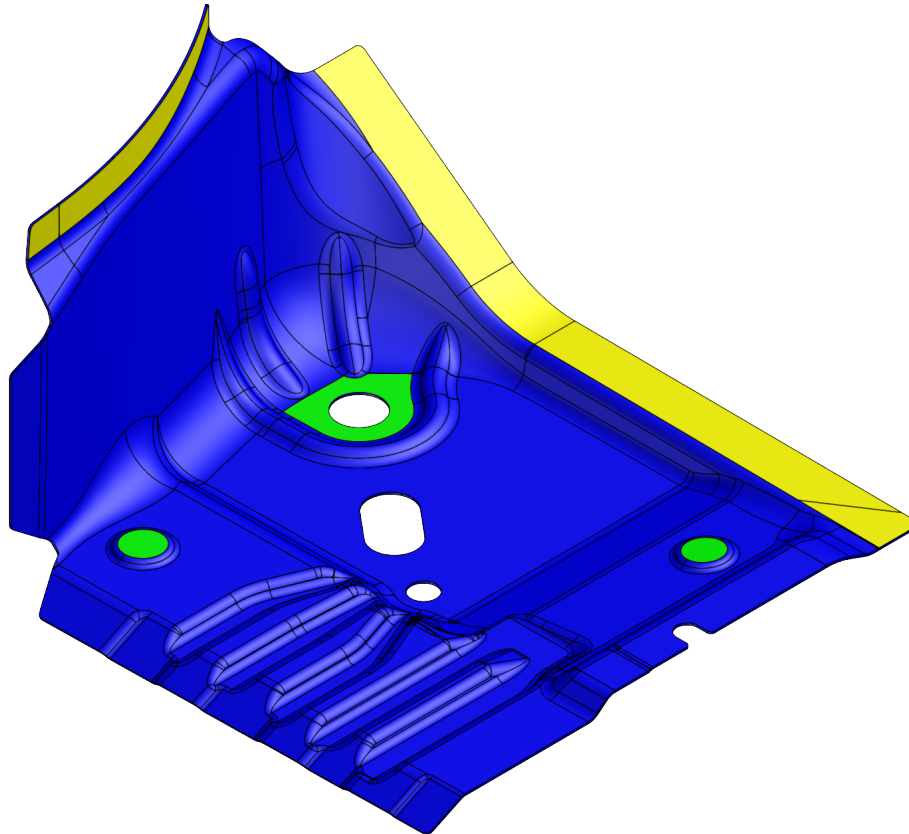
Length unit: mm

# Izvješće o mjerenju: IOM-Virtualno stezanje

**Datum izdavanja:** 2020-09-21

**Izvješće izdao:** Luka Lukačić, bacc.ing.mech.

📍 **Sjedište:** Ilica 231, HR-10000 Zagreb  
**Laboratorij:** Industrijska ulica 3, Novaki  
HR-10431 Sveta Nedelja  
T: + 385 1 349, 6010; F: + 385 1 599 9722  
E-mail: info@topomatika.hr  
🏦 **IBAN:** PBZ HR85 2340 0091 1100 8406 2  
**ZABA** HR46 2360 0001 1028 1902 3  
**OIB/VAT:** HR51475743156



Length unit: mm

**Naručitelj:** Topomatika

**Predmet mjerenja:** Corner Plare

**Datum mjerenja:** 2020-08-03

**Lokacija:** Topomatika d.o.o.

**Mjeritelj:** Luka Lukačić

**Rezultati mjerenja:** na stranicama 2 do 8

**Mjerni sustav:** ATOS ScanBox 5120

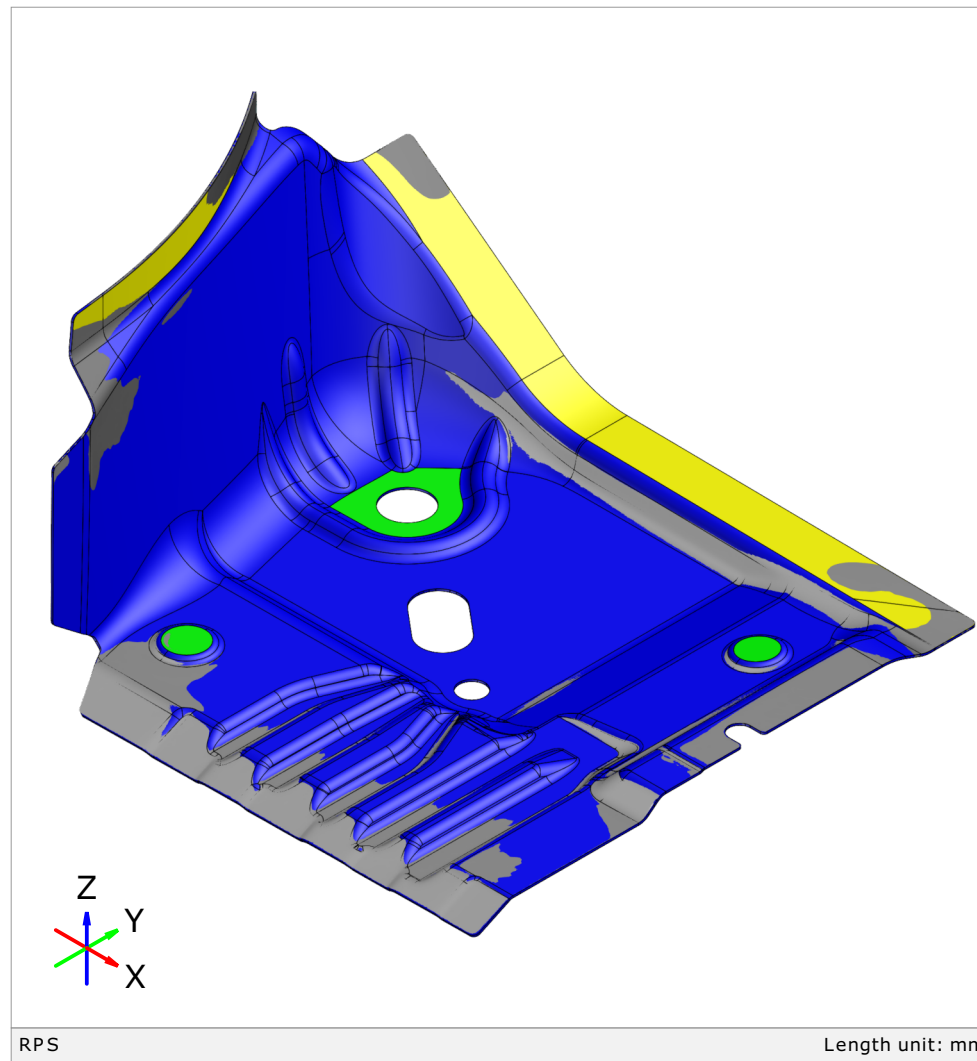
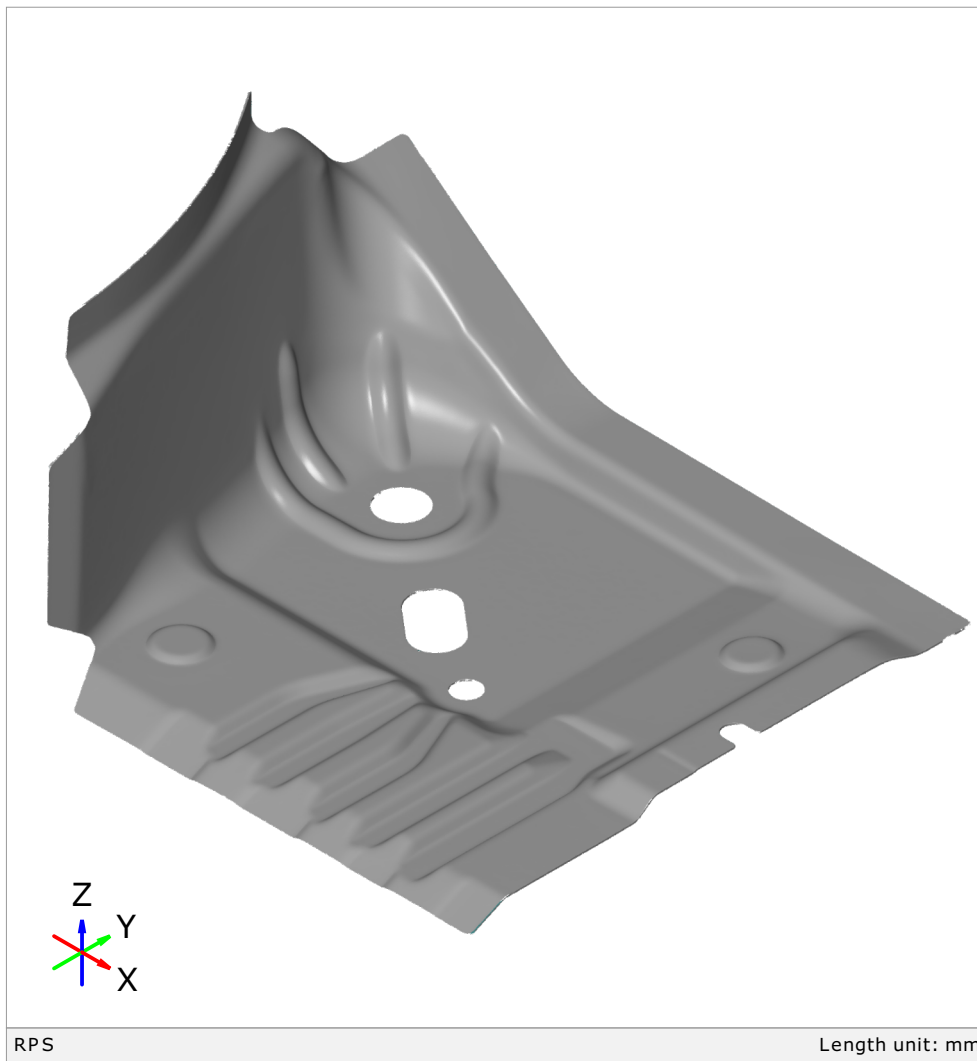
**Mjerno područje:** MV500

**Serijski broj:** 181039

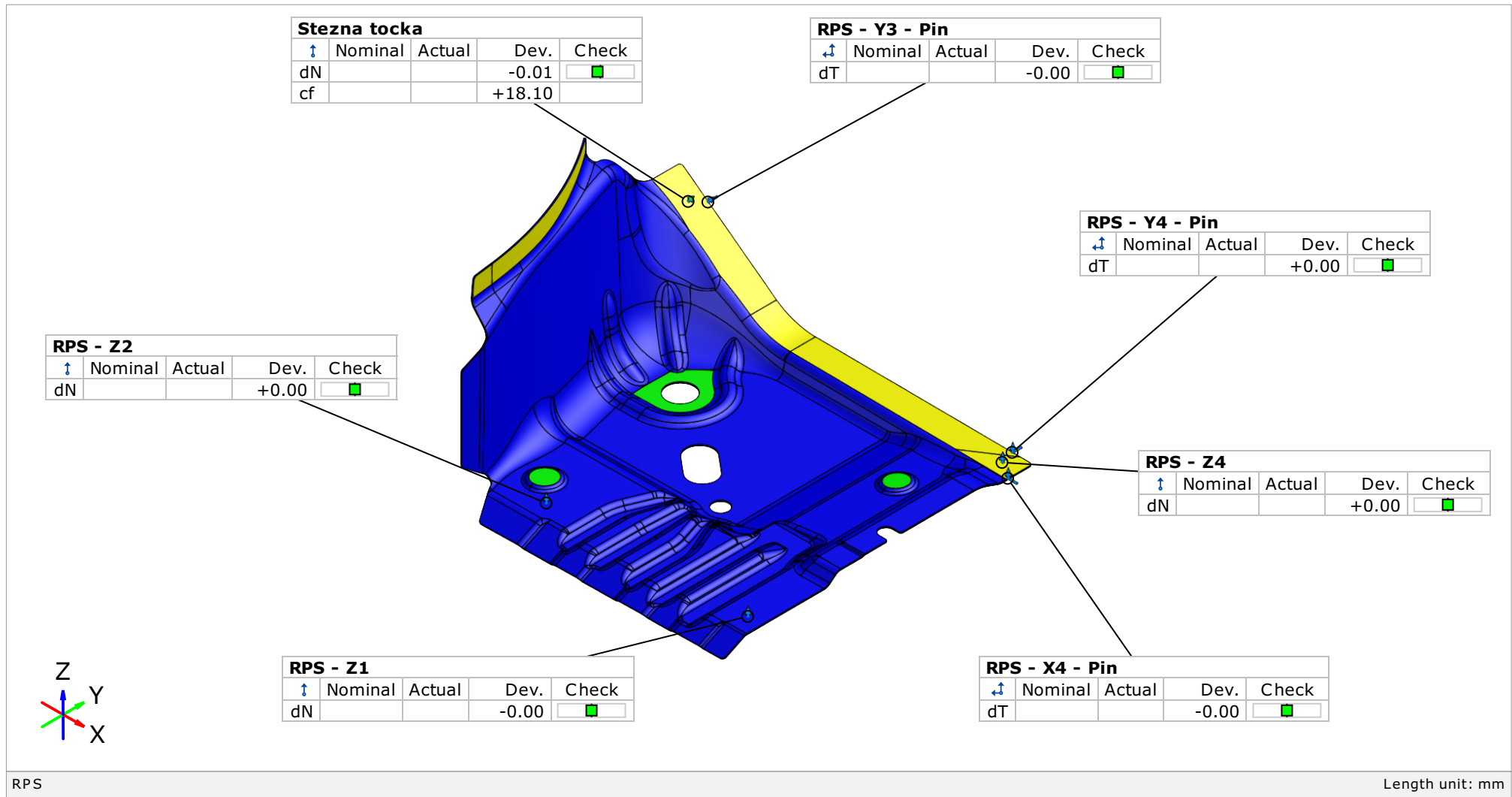
**Temperatura i vlažnost:** 22±1°C; 55%±10%

**Napomena:**

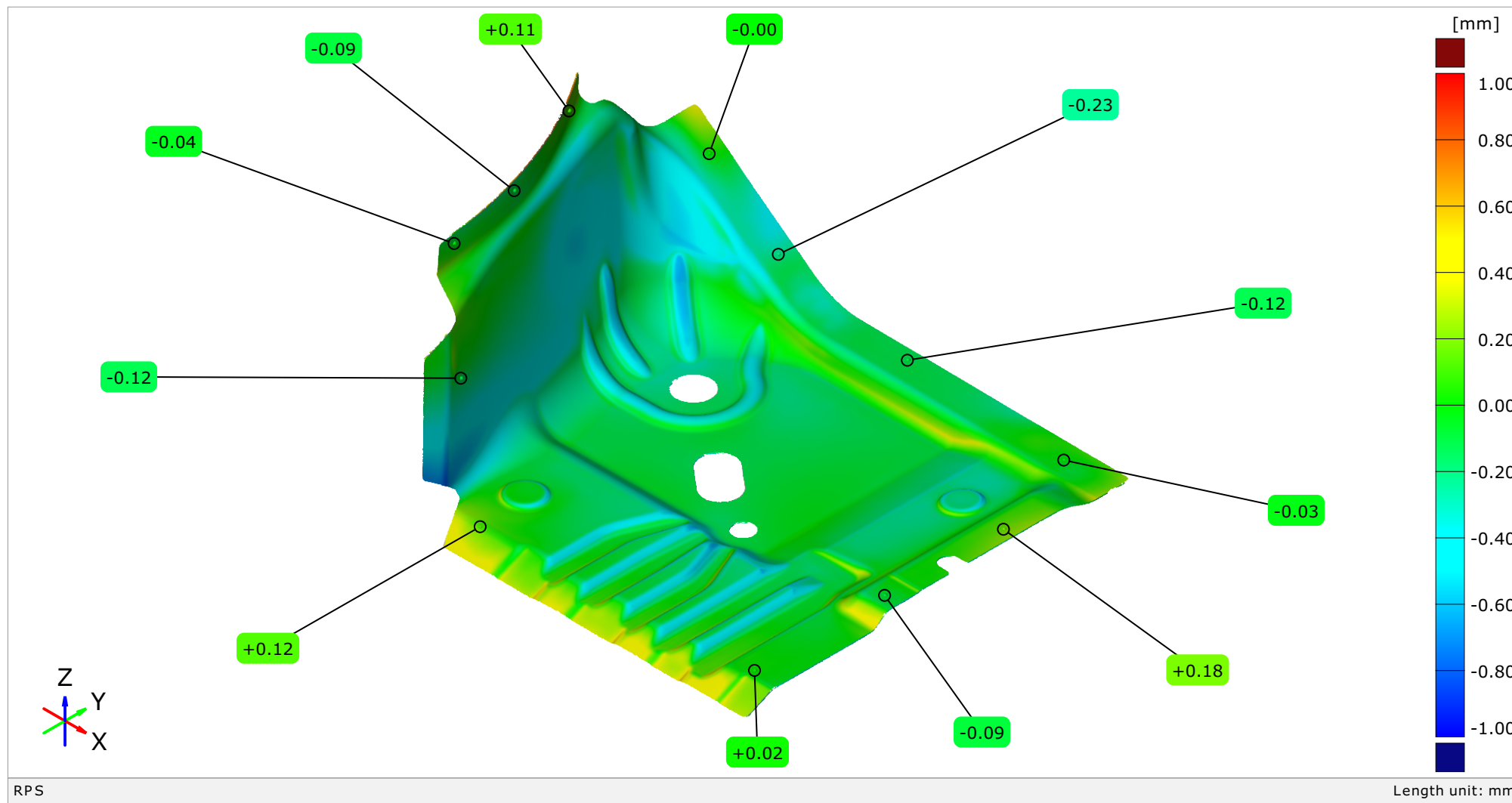
Rezultat skeniranja i poravnanje prema RPS točkama



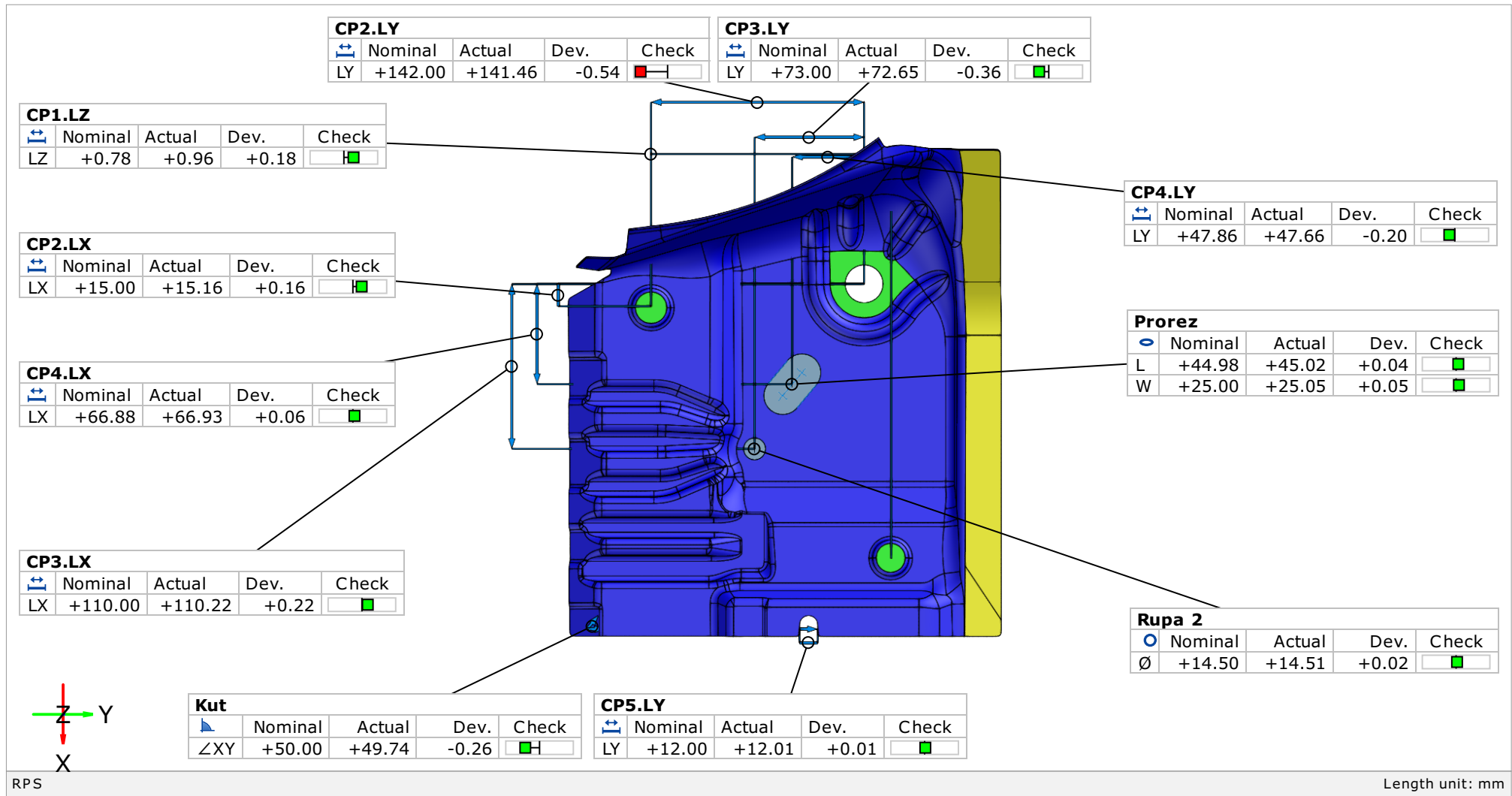
RPS poravnanje i stezna točka nakon virtualnog stezanje (cf=sila stezanja [N])



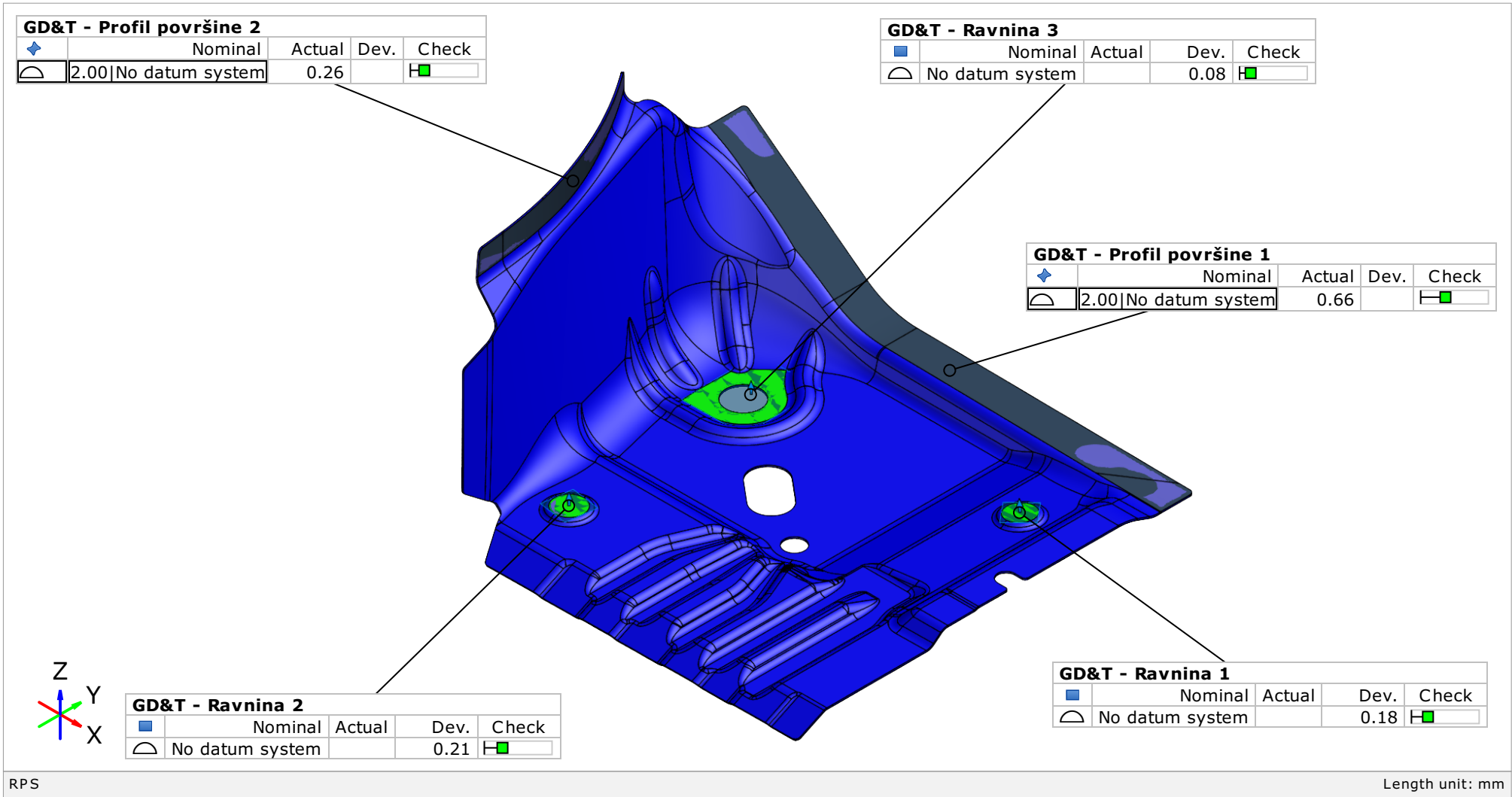
Usporedba površina CAD-Mesh u RPS poravnanju



Mjerenje duljina

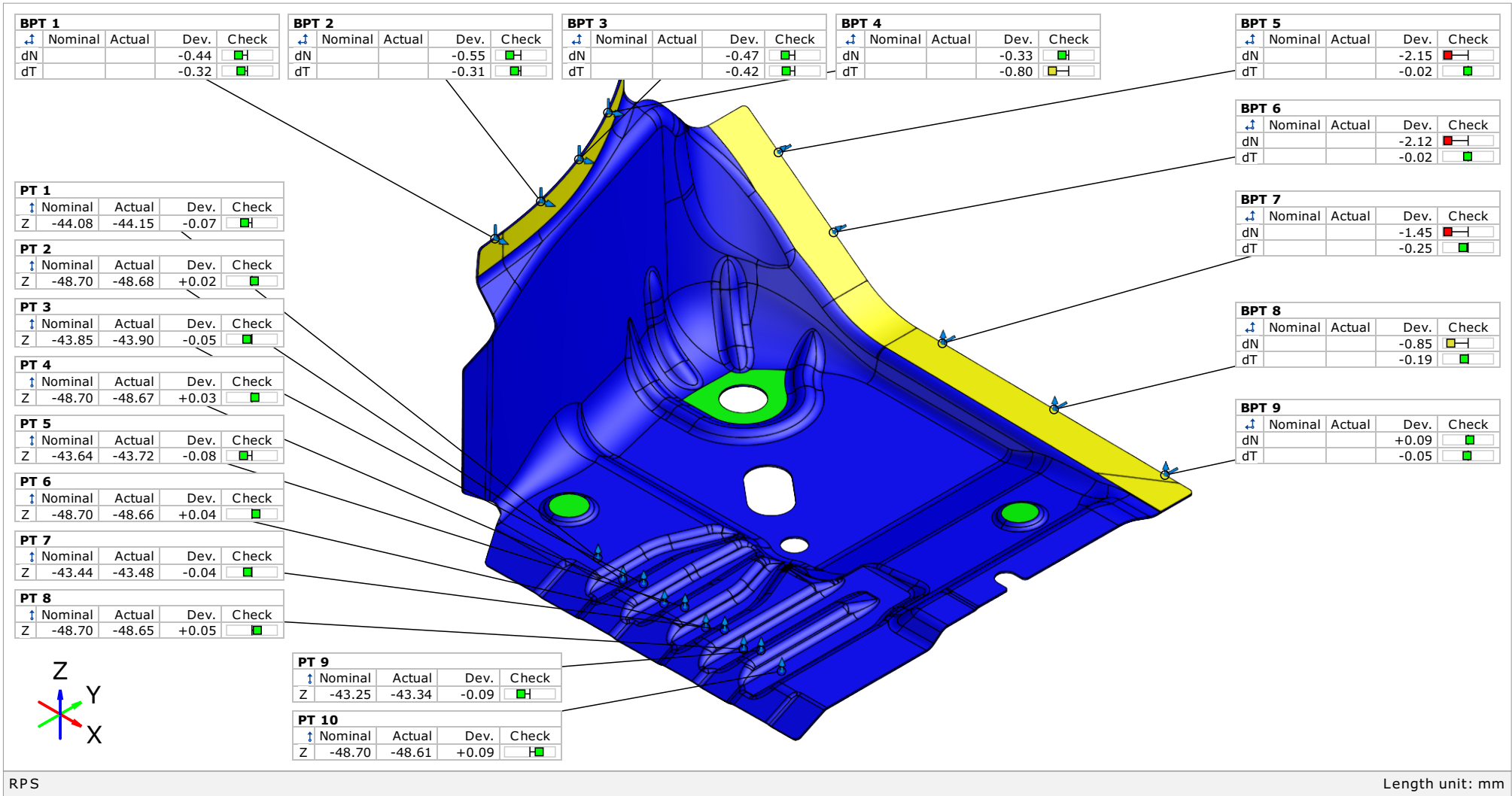


Tolerancija oblika i položaja

































Kontrola površinskih i rubnih točaka



## Tablica

8/8

Element	Datum	Property	Nominal	Actual	Tol -	Tol +	Dev	Check	Out
▶ Kut		∠XY	+50.00	+49.74	-0.50	+0.50	-0.26		
↕ CP5		LY	+12.00	+12.01	-0.50	+0.50	+0.01		
↕ CP4		LY	+47.86	+47.66	-1.00	+1.00	-0.20		
↕ CP4		LX	+66.88	+66.93	-1.00	+1.00	+0.06		
↕ CP3		LY	+73.00	+72.65	-1.00	+1.00	-0.36		
↕ CP3		LX	+110.00	+110.22	-1.00	+1.00	+0.22		
↕ CP2		LY	+142.00	+141.46	-0.50	+0.50	-0.54		-0.04
↕ CP2		LX	+15.00	+15.16	-0.50	+0.50	+0.16		
↕ CP1		LZ	+0.78	+0.96	-0.50	+0.50	+0.18		
◆ GD&T - Profil površine 2			+0.00	+0.26	+0.00	+2.00	+0.26		
◆ GD&T - Profil površine 1			+0.00	+0.66	+0.00	+2.00	+0.66		
○ Prorez		W	+25.00	+25.05	-0.50	+0.50	+0.05		
○ Prorez		L	+44.98	+45.02	-0.50	+0.50	+0.04		
○ Rupa 2		∅	+14.50	+14.51	-0.50	+0.50	+0.02		
■ GD&T - Ravnina 3			+0.00	+0.08	+0.00	+1.00	+0.08		
■ GD&T - Ravnina 2			+0.00	+0.21	+0.00	+1.00	+0.21		
■ GD&T - Ravnina 1			+0.00	+0.18	+0.00	+1.00	+0.18		
↕ RPS - Y4 - Pin		dT			-0.05	+0.05	+0.00		
↕ RPS - Y3 - Pin		dT			-0.05	+0.05	-0.00		
↕ RPS - X4 - Pin		dT			-0.05	+0.05	-0.00		
↑ Stezna tocka		cf					+18.10		
↑ Stezna tocka		dN			-0.05	+0.05	-0.01		
↑ RPS - Z4		dN			-0.05	+0.05	+0.00		
↑ RPS - Z2		dN			-0.05	+0.05	+0.00		
↑ RPS - Z1		dN			-0.05	+0.05	-0.00		

RPS

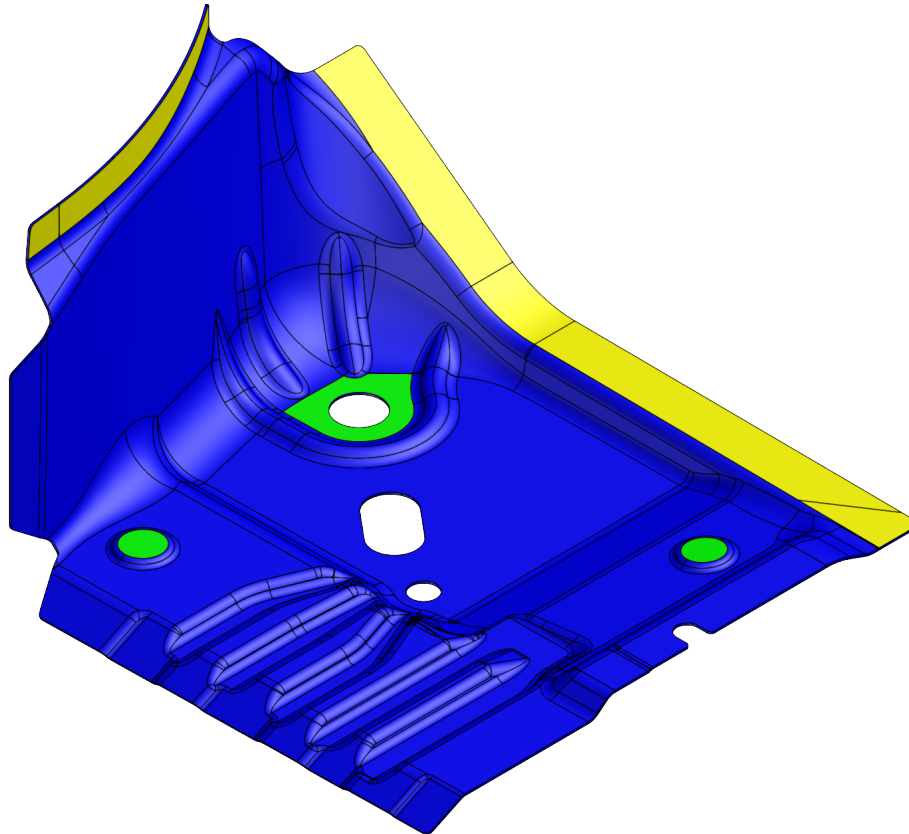
Length unit: mm

## Izvješće o mjerenju: IOM-Mehanicko stezanje

**Datum izdavanja:** 2020-09-21

**Izvješće izdao:** Luka Lukačić, bacc.ing.mech.

📍 **Sjedište:** Ilica 231, HR-10000 Zagreb  
**Laboratorij:** Industrijska ulica 3, Novaki  
HR-10431 Sveta Nedelja  
T: + 385 1 349, 6010; F: + 385 1 599 9722  
E-mail: info@topomatika.hr  
🏦 **IBAN:** PBZ HR85 2340 0091 1100 8406 2  
**ZABA** HR46 2360 0001 1028 1902 3  
**OIB/VAT:** HR51475743156



Length unit: mm

**Naručitelj:** Topomatika

**Predmet mjerenja:** Corner Plare

**Datum mjerenja:** 2020-08-03

**Lokacija:** Topomatika d.o.o.

**Mjeritelj:** Luka Lukačić

**Rezultati mjerenja:** na stranicama 2 do 8

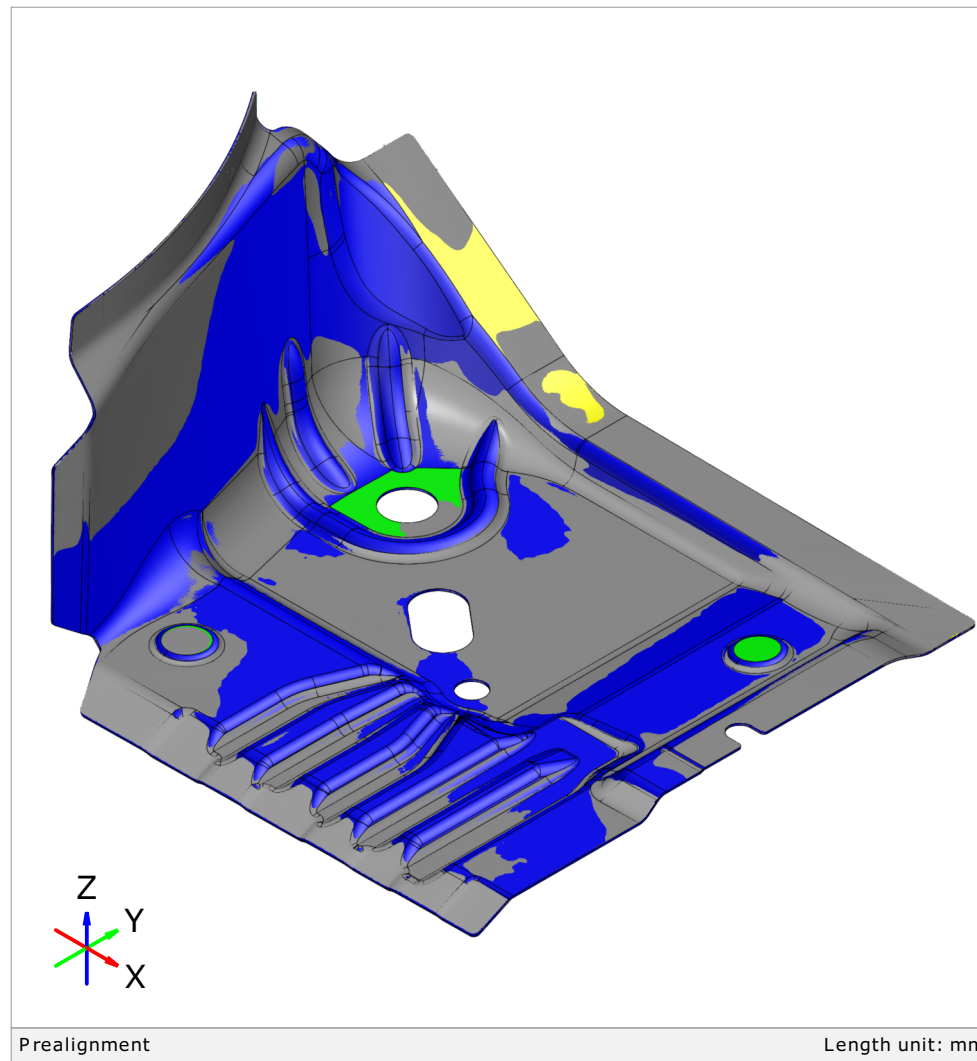
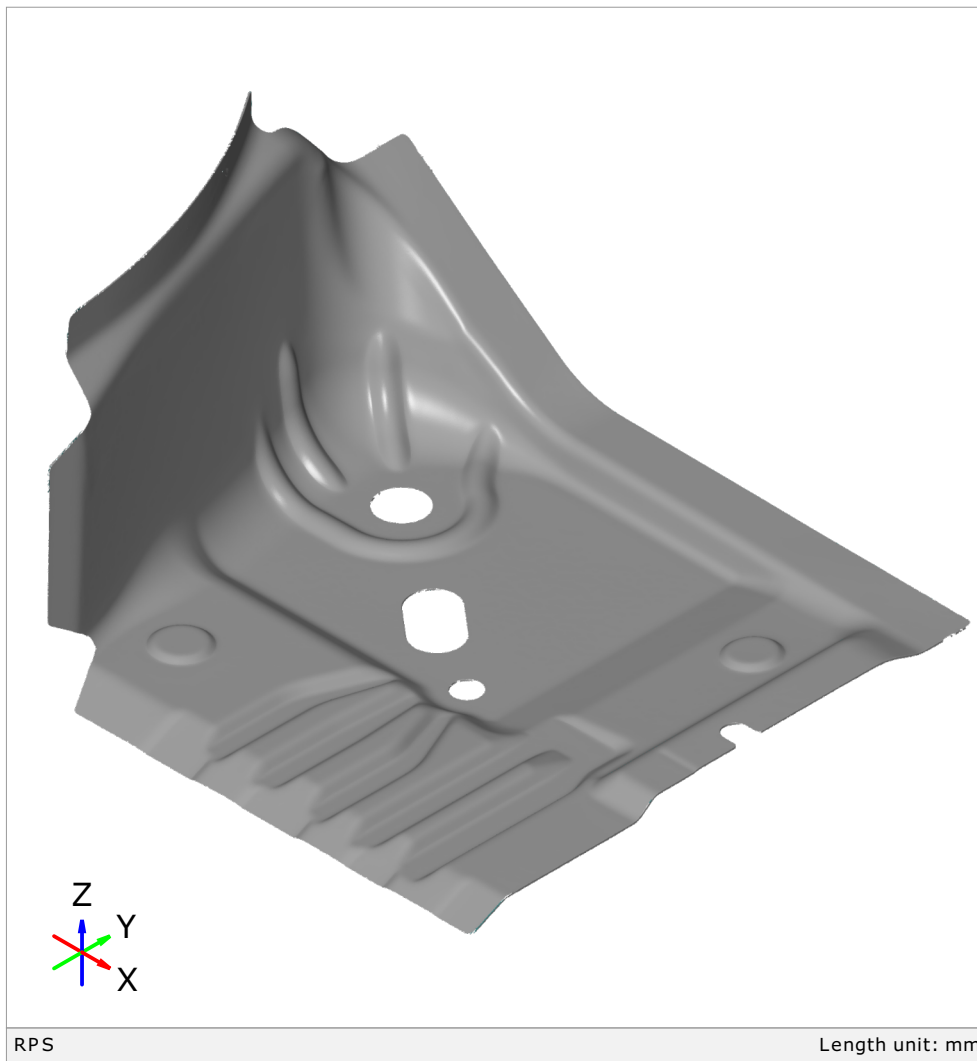
**Mjerni sustav:** ATOS ScanBox 5120

**Mjerno područje:** MV500

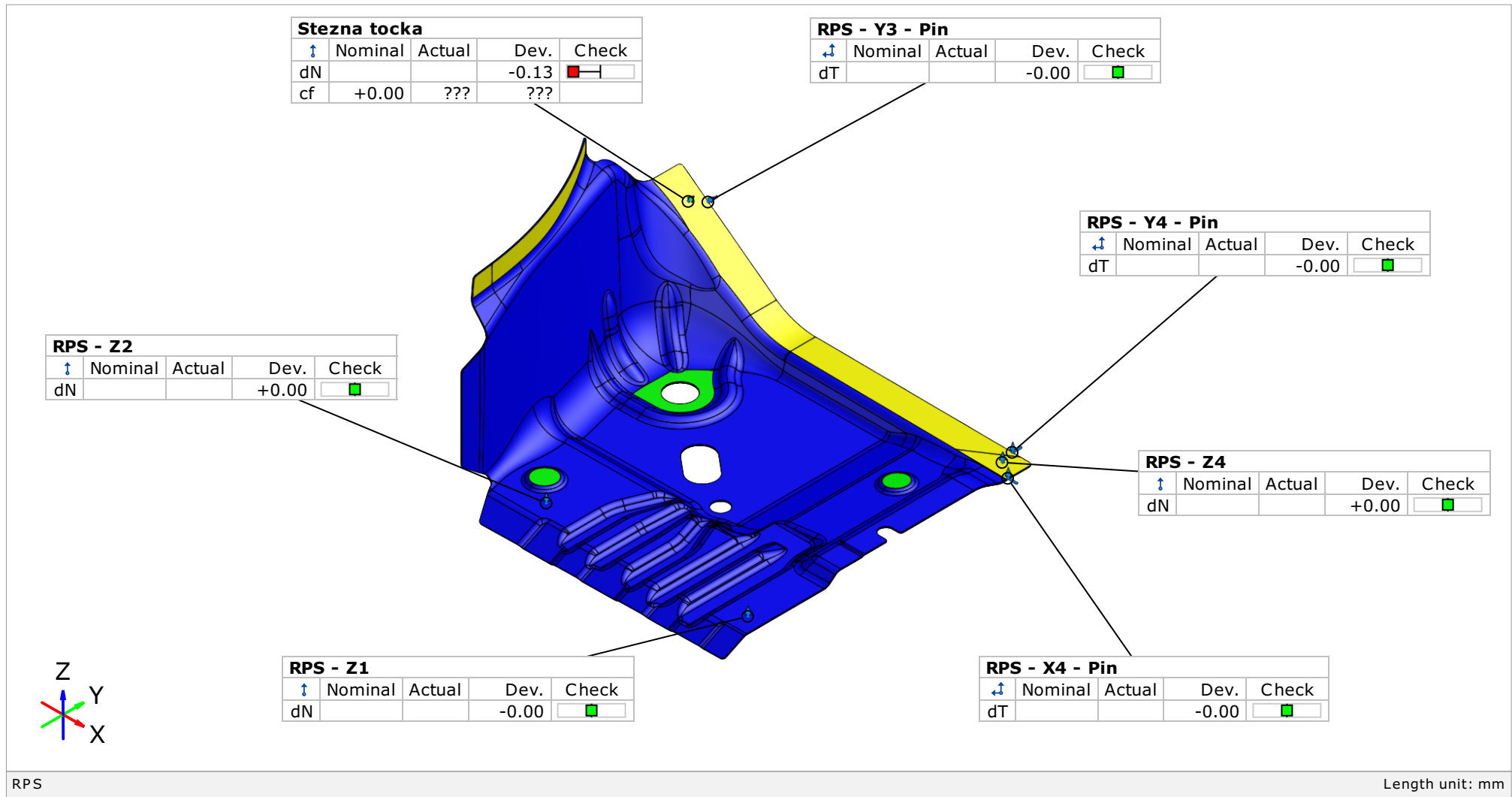
**Serijski broj:** 181039

**Temperatura i vlažnost:** 22±1°C; 55%±10%

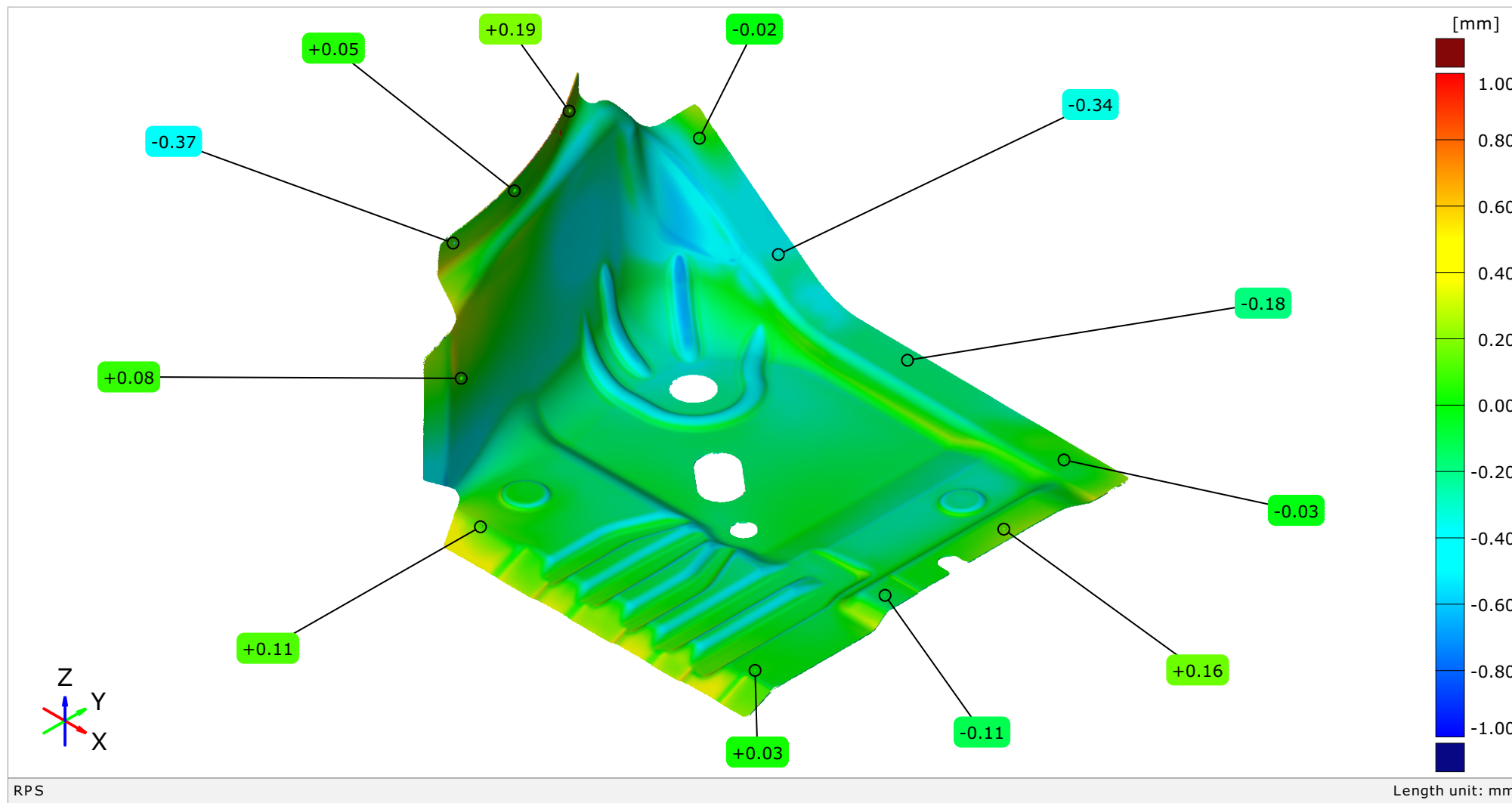
**Napomena:**



RPS poravnanje i stezna točka (cf=sila stezanja [N])

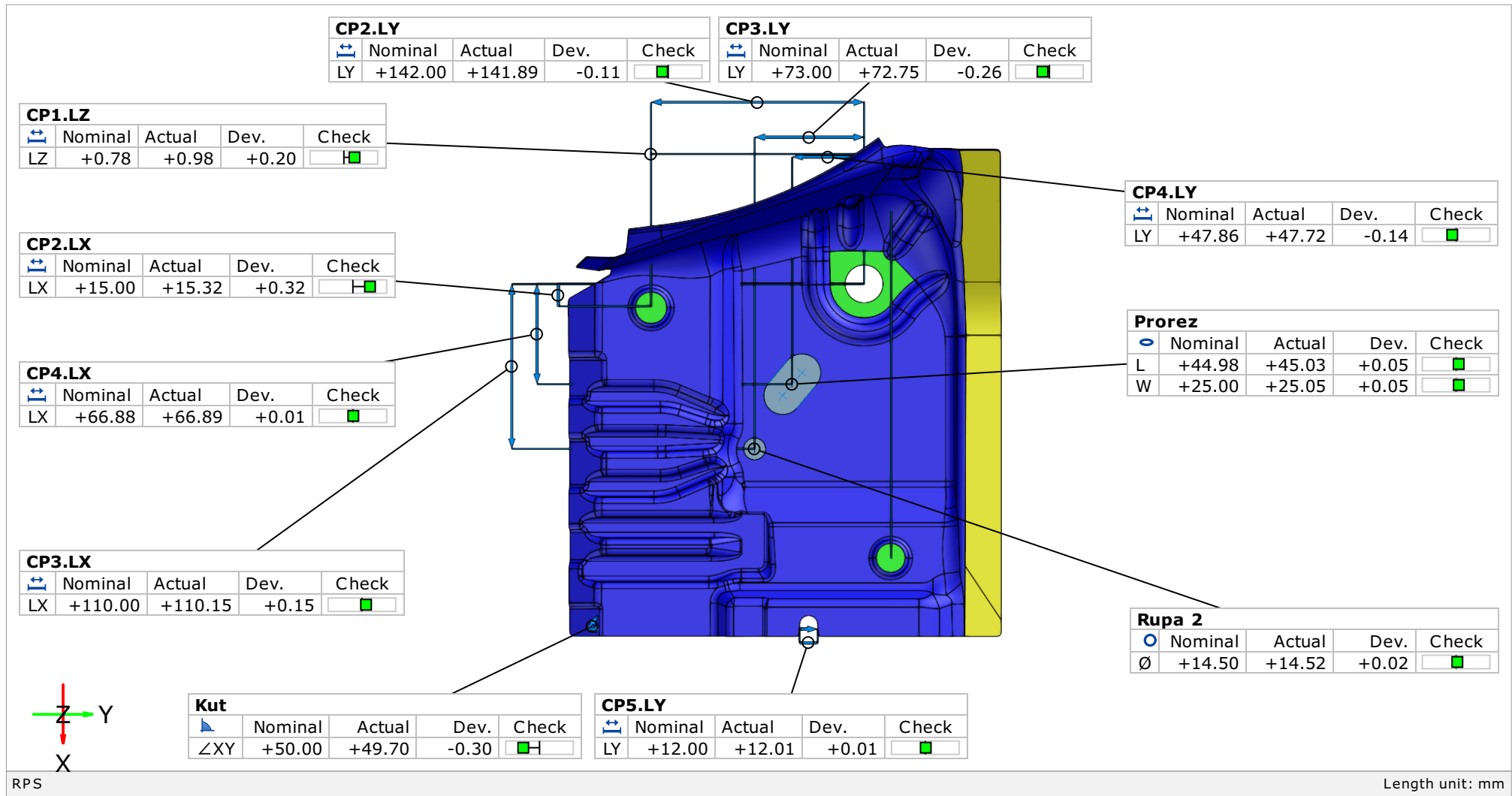


Usporedba površina CAD-Mesh u RPS poravnanju

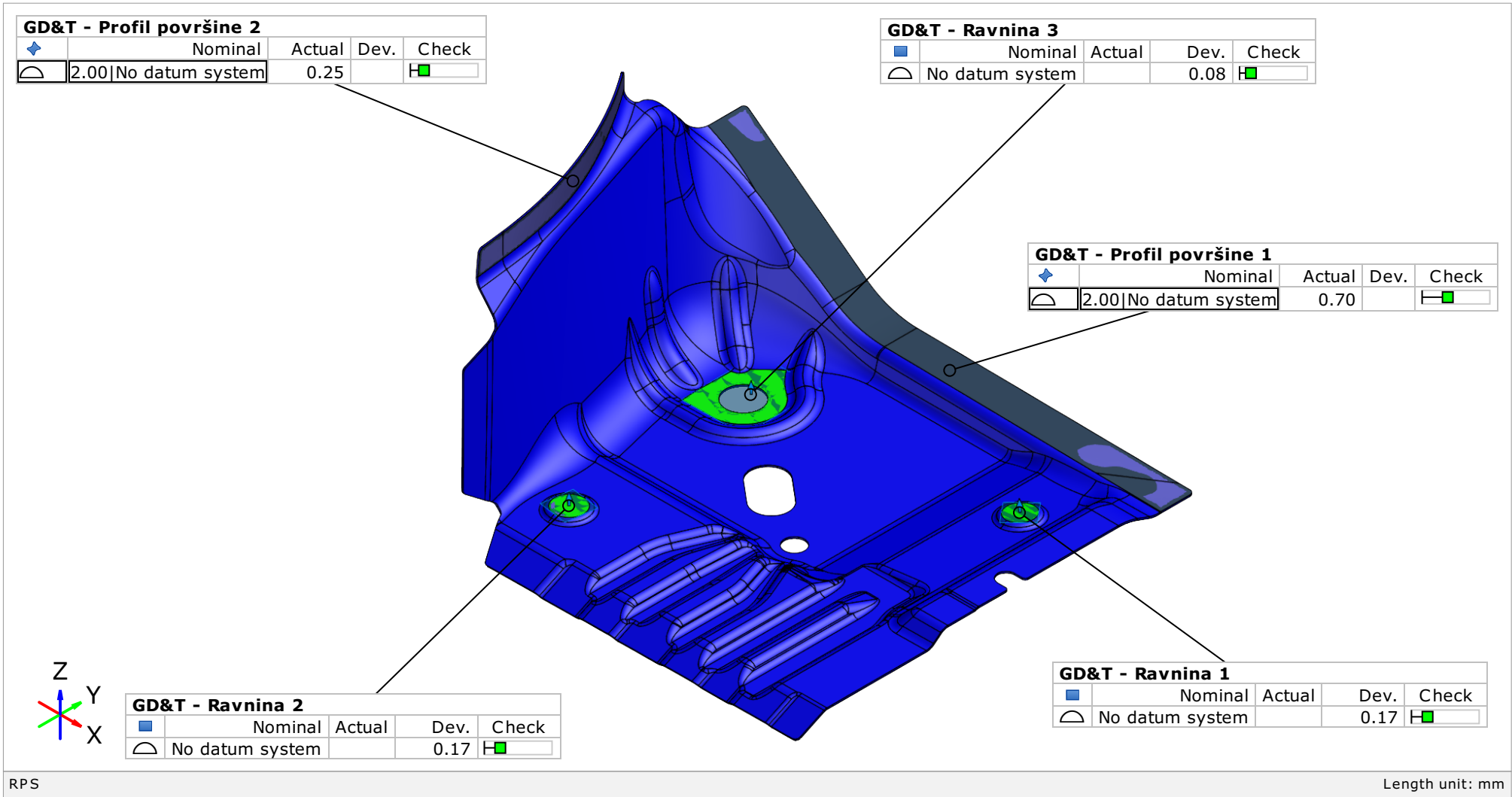


RPS

Mjerenje duljina

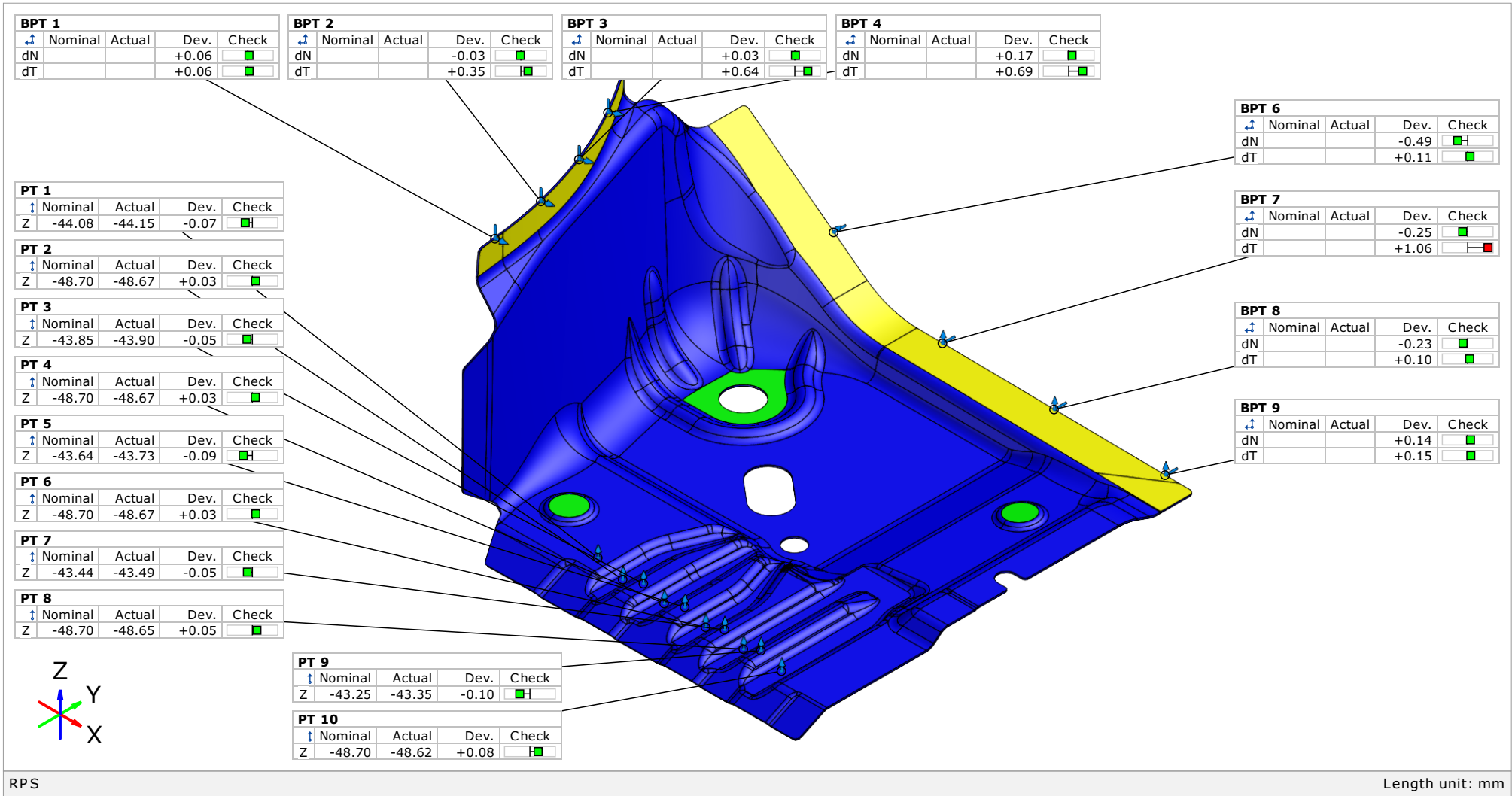


Tolerancija oblika i položaja


































Kontrola površinskih i rubnih točaka



## Tablica

8/8

Element	Datum	Property	Nominal	Actual	Tol -	Tol +	Dev	Check	Out
▶ Kut		∠XY	+50.00	+49.70	-0.50	+0.50	-0.30		
↕ CP5		LY	+12.00	+12.01	-0.50	+0.50	+0.01		
↕ CP4		LY	+47.86	+47.72	-1.00	+1.00	-0.14		
↕ CP4		LX	+66.88	+66.89	-1.00	+1.00	+0.01		
↕ CP3		LY	+73.00	+72.75	-1.00	+1.00	-0.26		
↕ CP3		LX	+110.00	+110.15	-1.00	+1.00	+0.15		
↕ CP2		LY	+142.00	+141.89	-0.50	+0.50	-0.11		
↕ CP2		LX	+15.00	+15.32	-0.50	+0.50	+0.32		
↕ CP1		LZ	+0.78	+0.98	-0.50	+0.50	+0.20		
◆ GD&T - Profil površine 2			+0.00	+0.25	+0.00	+2.00	+0.25		
◆ GD&T - Profil površine 1			+0.00	+0.70	+0.00	+2.00	+0.70		
○ Prorez		W	+25.00	+25.05	-0.50	+0.50	+0.05		
○ Prorez		L	+44.98	+45.03	-0.50	+0.50	+0.05		
○ Rupa 2		∅	+14.50	+14.52	-0.50	+0.50	+0.02		
■ GD&T - Ravnina 3			+0.00	+0.08	+0.00	+1.00	+0.08		
■ GD&T - Ravnina 2			+0.00	+0.17	+0.00	+1.00	+0.17		
■ GD&T - Ravnina 1			+0.00	+0.17	+0.00	+1.00	+0.17		
↕ RPS - Y4 - Pin		dT			-0.05	+0.05	-0.00		
↕ RPS - Y3 - Pin		dT			-0.05	+0.05	-0.00		
↕ RPS - X4 - Pin		dT			-0.05	+0.05	-0.00		
↑ Stezna tocka		cf	+0.00	???			???		
↑ Stezna tocka		dN			-0.05	+0.05	-0.13		-0.08
↑ RPS - Z4		dN			-0.05	+0.05	+0.00		
↑ RPS - Z2		dN			-0.05	+0.05	+0.00		
↑ RPS - Z1		dN			-0.05	+0.05	-0.00		

RPS

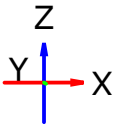
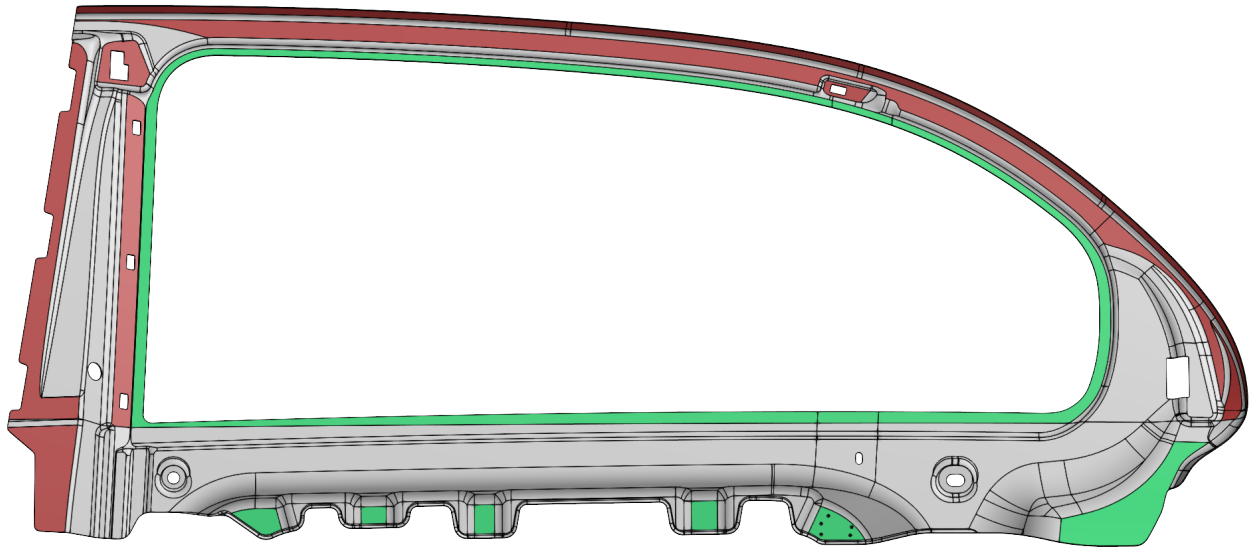
Length unit: mm

# Izvješće o mjeranju: IOM- Mjerenje deformabilnog proizvoda

**Datum izdavanja:** 2020-09-21

**Izvješće izdao:** Luka Lukačić, bacc.ing.mech.

📍 Sjedište: Ilica 231, HR-10000 Zagreb  
Laboratorij: Industrijska ulica 3, Novaki  
HR-10431 Sveta Nedelja  
T: +385 1 349, 6010; F: +385 1 599 9722  
E-mail: info@topomatika.hr  
🏦 IBAN: PBZ HR85 2340 0091 1100 8406 2  
ZABA HR46 2360 0001 1028 1902 3  
OIB/VAT: HR51475743156



Length unit: mm

**Naručitelj:** Diplomski rad

**Predmet mjerenja:** Door frame

**Datum mjerenja:** 2020-08-12

**Lokacija:** Topomatika d.o.o.

**Mjeritelj:** Luka Lukačić

**Rezultati mjerenja:** na stranicama 2 do 11

**Mjerni sustav:** ATOS 5

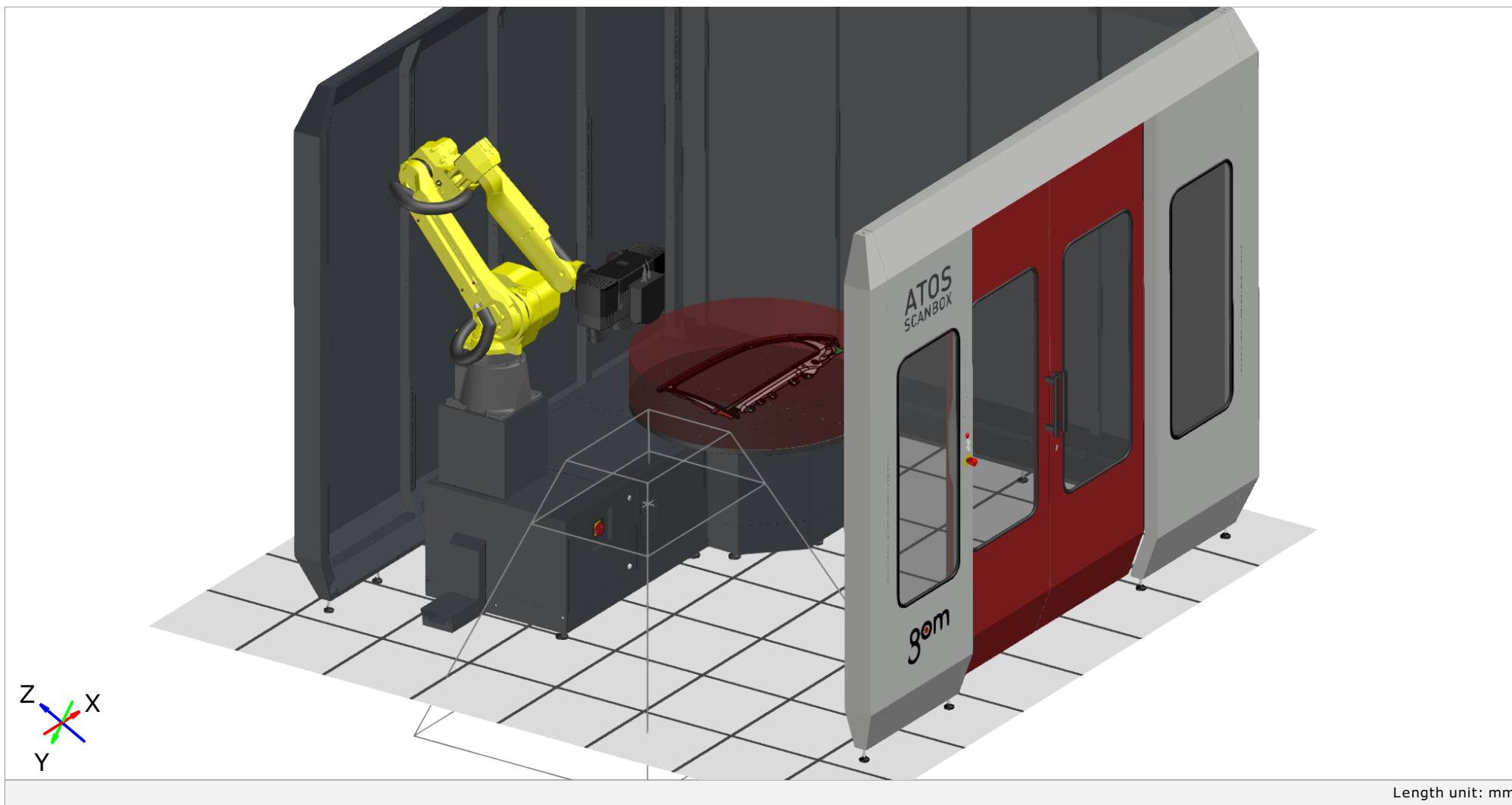
**Mjerno područje:** MV500 + Fotogrametrija MV1000

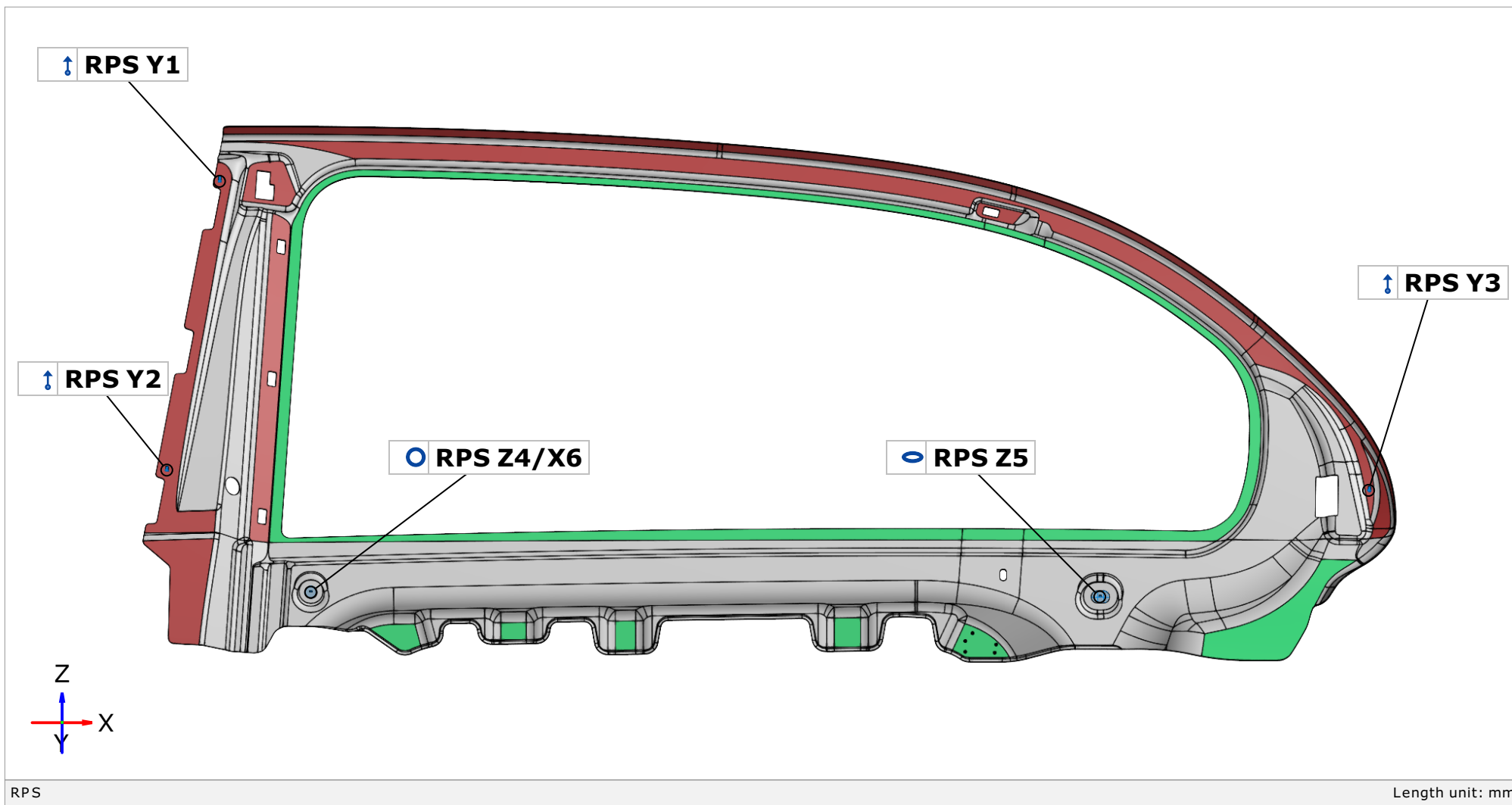
**Serijski broj:** 181039

**Temperatura i vlažnost:** 22±1°C; 55%±10%

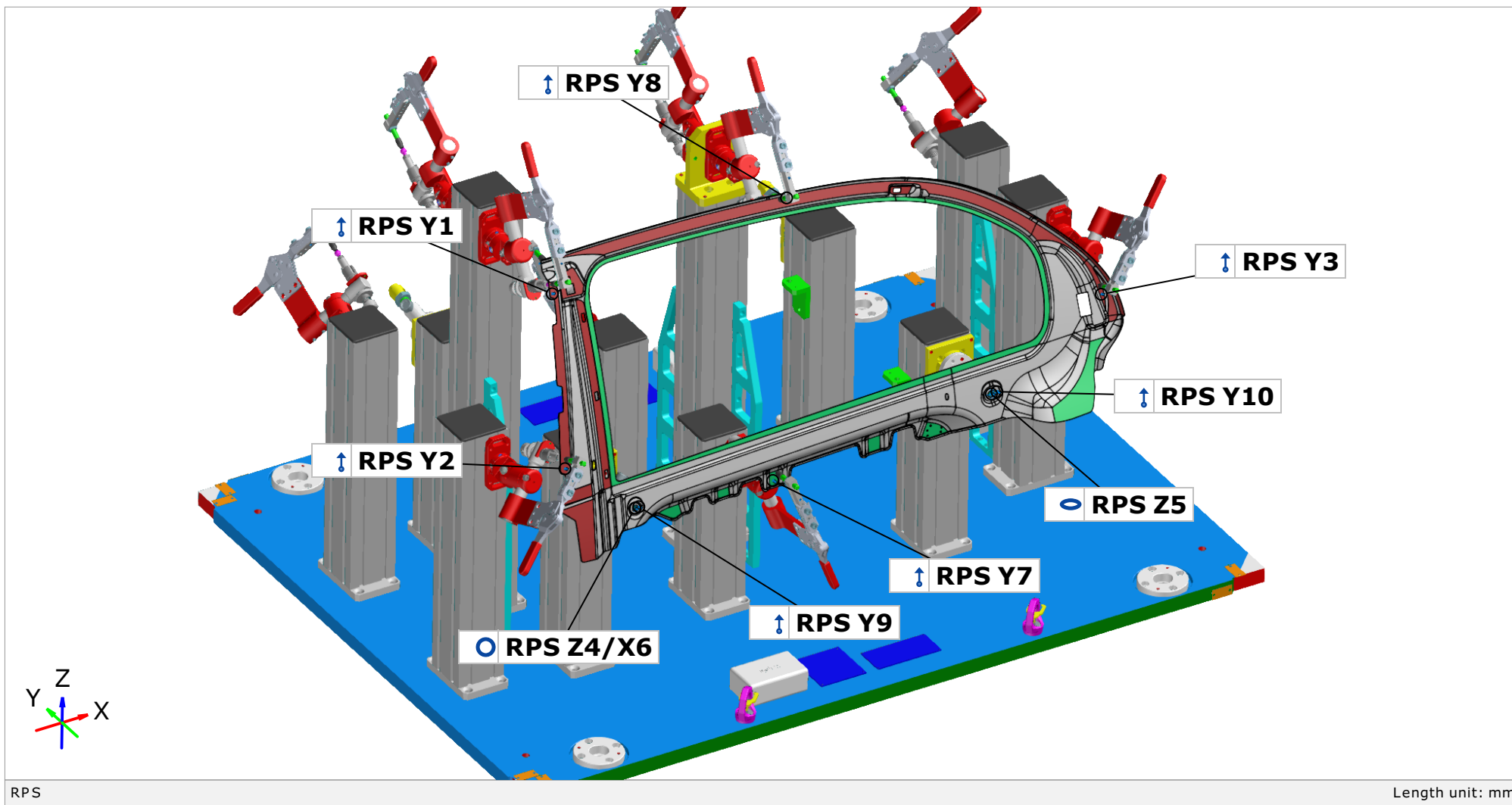
**Napomena:**

Naslovna.....	1
Sadržaj.....	2
Mjerna postava: ScanBox 5120 - ATOS 5 MV500 - PlusBox MV1000.....	3
CAD model i RPS elementi limenog proizvoda karoserije vrata automobila.....	4
RPS i Stezne točke na kontrolniku [Holding points - Y1, Y2, Y3, Z4/X6, Z5 --- Clamping points - Y7, Y8, Y9, Y10].....	5
Mapa boja - Horizontalno mjerenje.....	6
Mapa boja - Horizontalno mjerenje - bez utjecaja gravitacije.....	7
Mapa boja - Montazno stanje - dodan utjecaj gravitacije.....	8
Mapa boja - Montazno stanje - Virtualno stezanje.....	9
Mjerenje dimenzija provrta lima.....	10
Tablični prikaz rezultata mjerenja dimenzija provrta.....	11

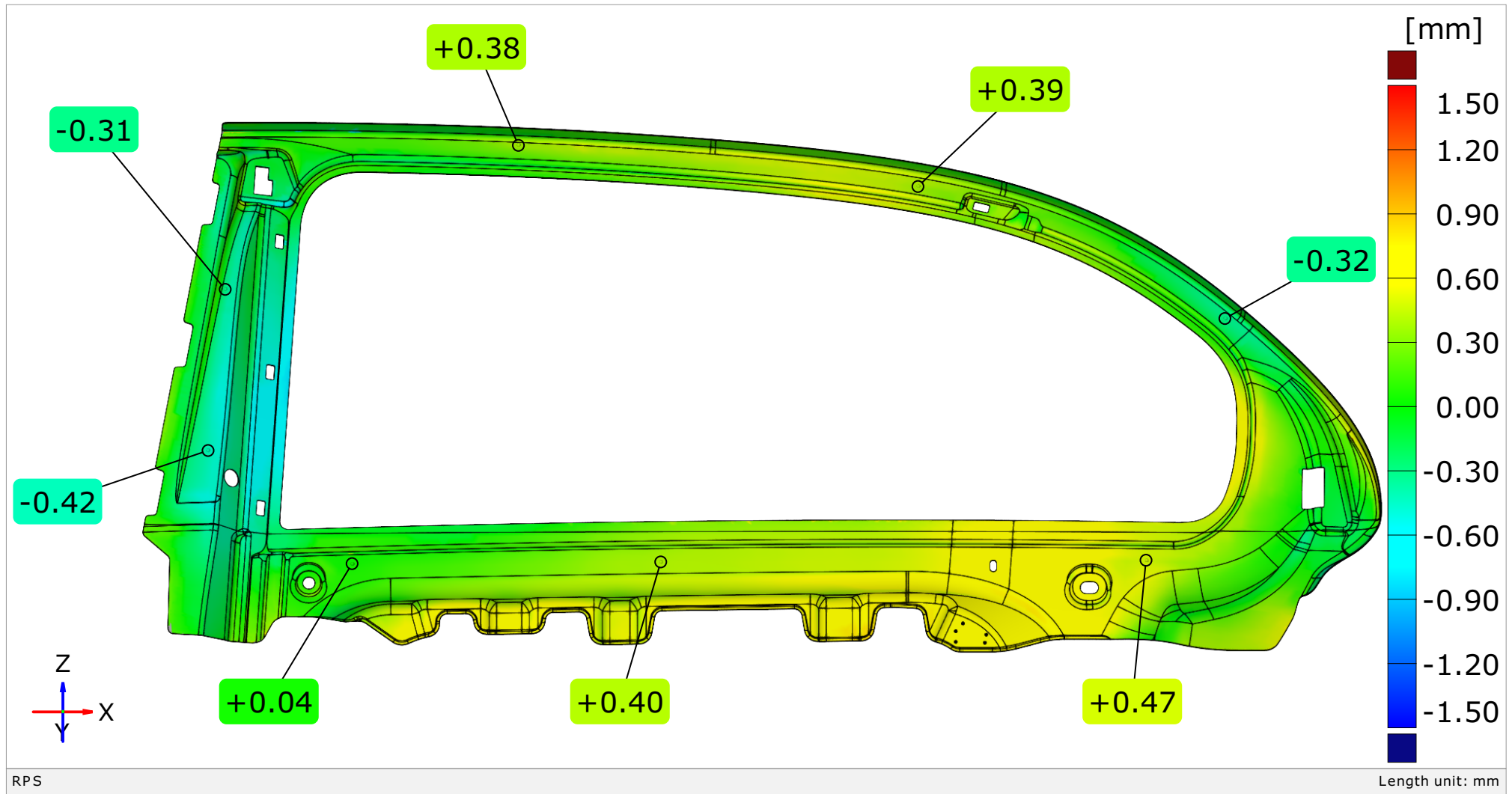




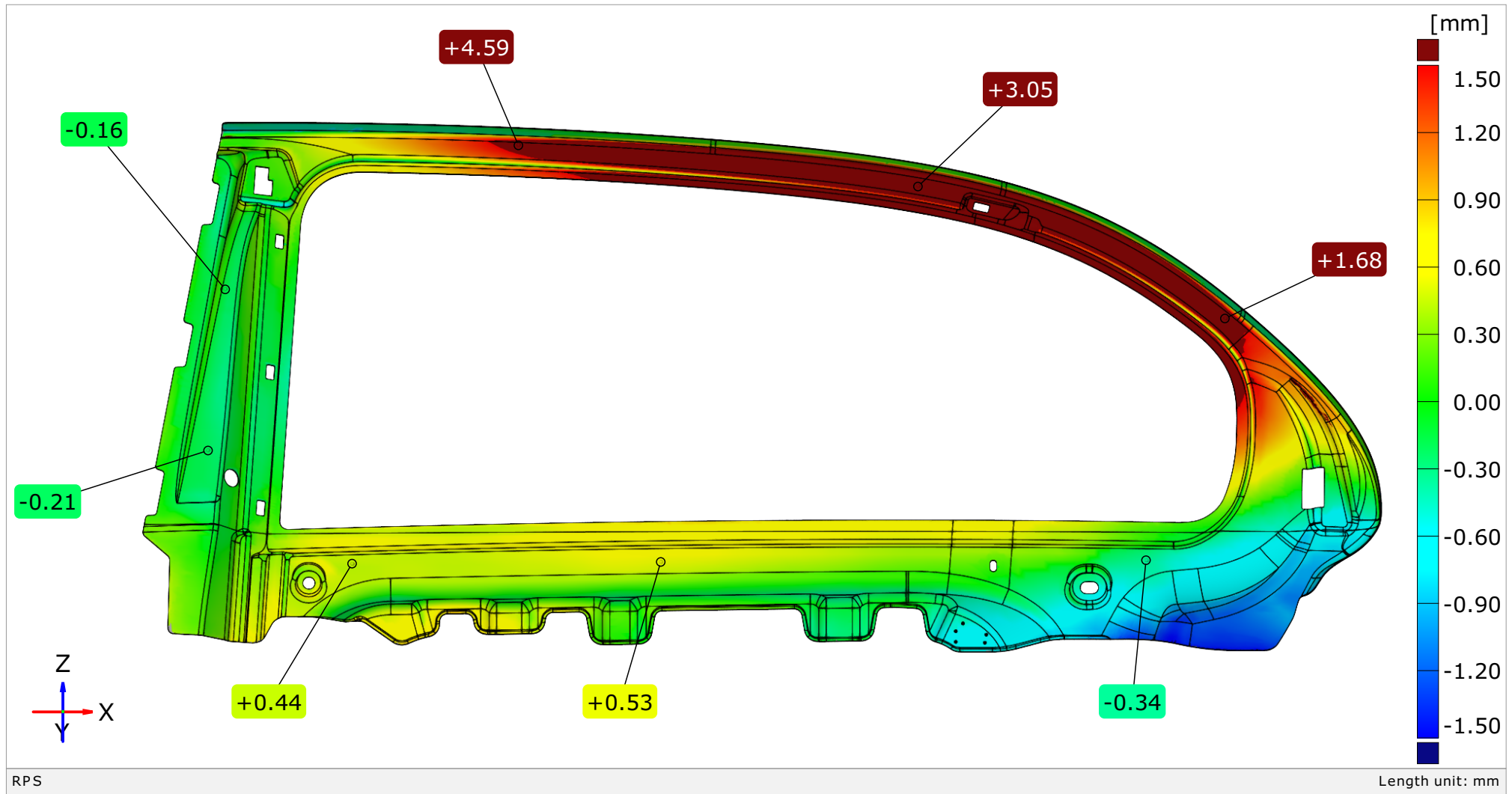
RPS i Stezne točke na kontrolniku [Holding points - Y1, Y2, Y3, Z4/X6, Z5 --- Clamping points - Y7, Y8, Y9, Y10] 5/11

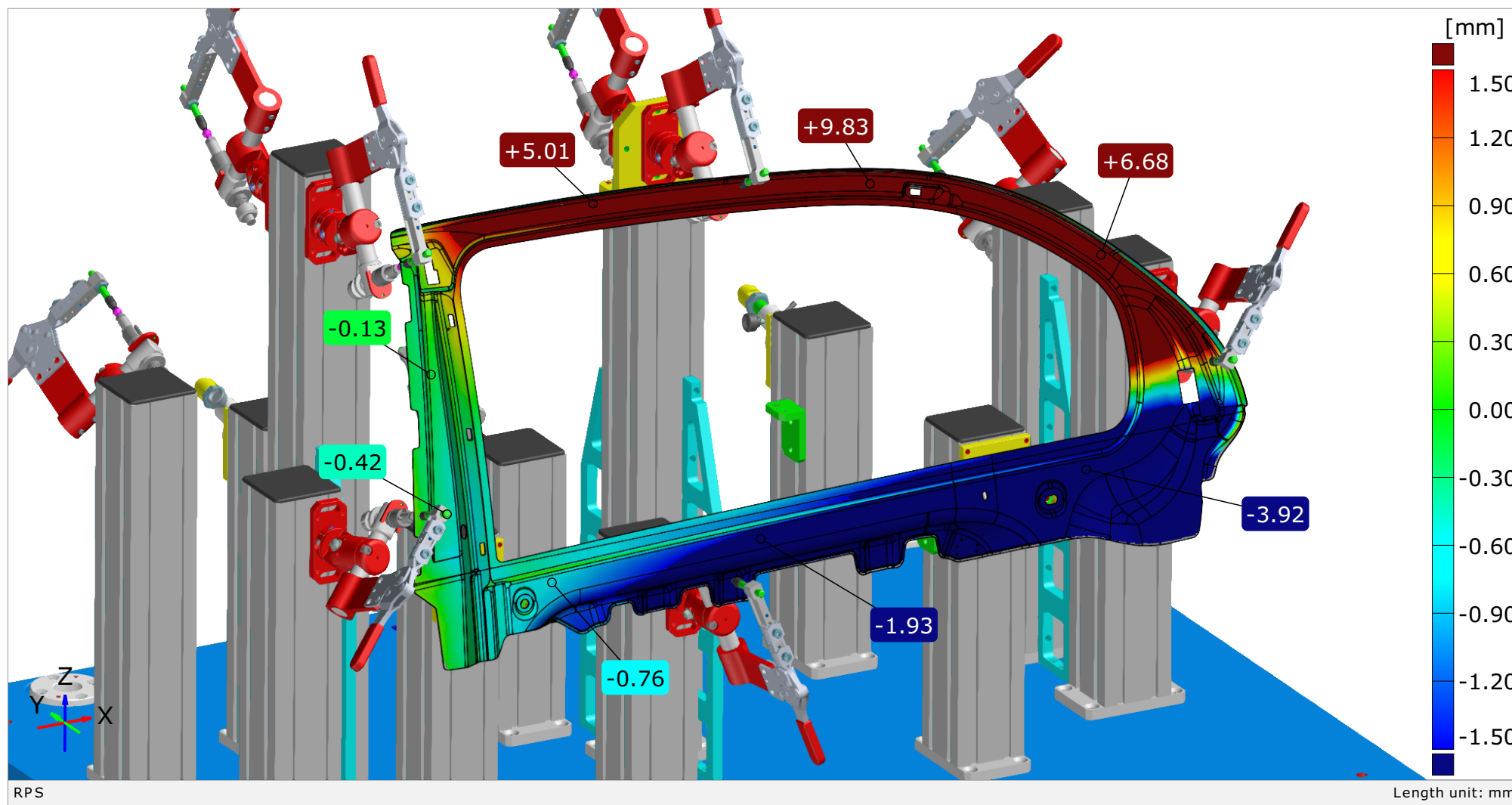


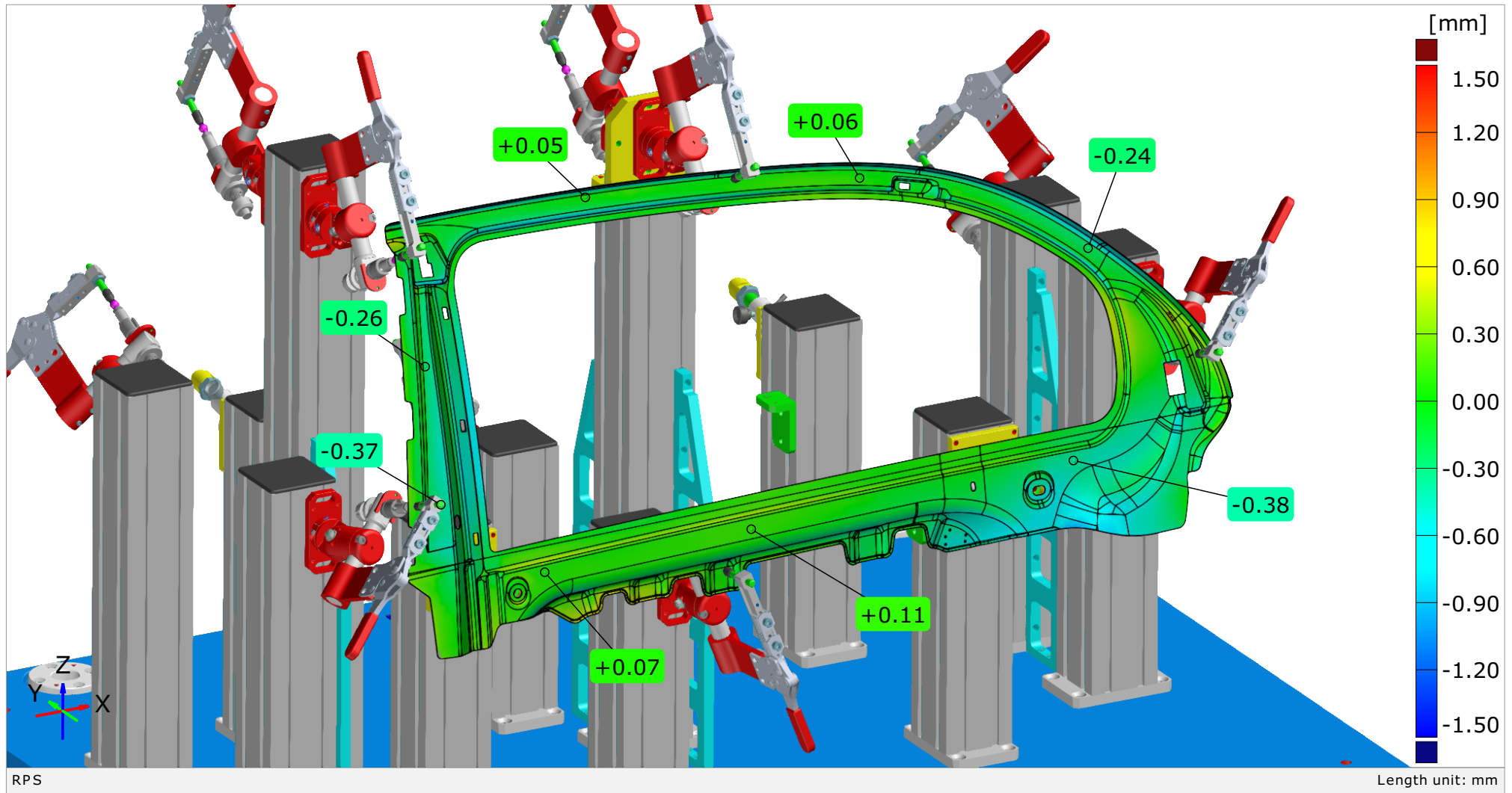
Mapa boja - Horizontalno mjerjenje



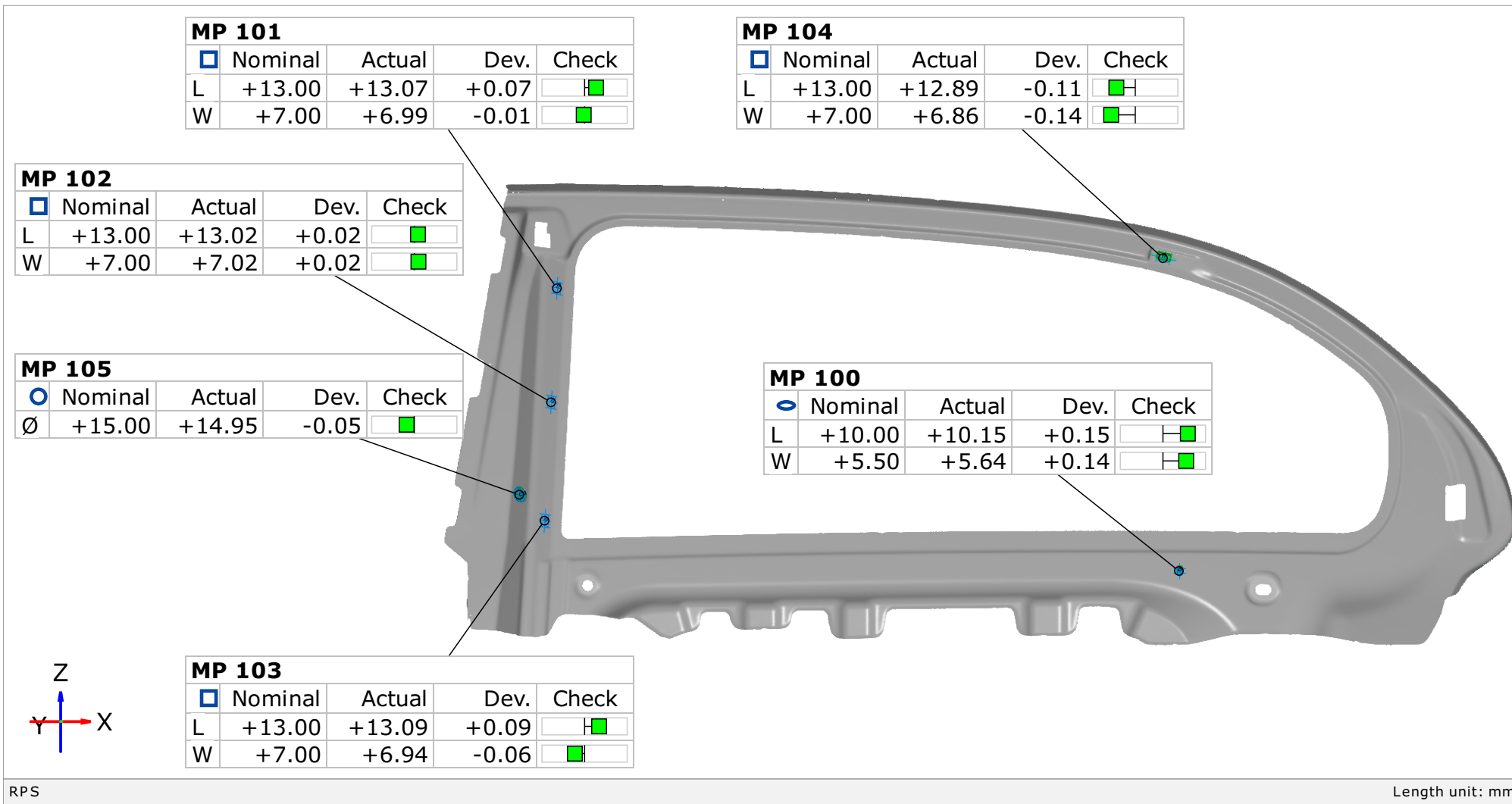


















Mjerenje dimenzija provrta lima



## Tablični prikaz rezultata mjerenja dimenzija provrta

11/11

Element	Datum	Property	Nominal	Actual	Tol -	Tol +	Dev	Check	Out
○ MP 105		Ø	+15.00	+14.95	-0.20	+0.20	-0.05		
○ MP 100		L	+10.00	+10.15	-0.20	+0.20	+0.15		
○ MP 100		W	+5.50	+5.64	-0.20	+0.20	+0.14		
□ MP 101		L	+13.00	+13.07	-0.20	+0.20	+0.07		
□ MP 101		W	+7.00	+6.99	-0.20	+0.20	-0.01		
□ MP 102		L	+13.00	+13.02	-0.20	+0.20	+0.02		
□ MP 102		W	+7.00	+7.02	-0.20	+0.20	+0.02		
□ MP 103		L	+13.00	+13.09	-0.20	+0.20	+0.09		
□ MP 103		W	+7.00	+6.94	-0.20	+0.20	-0.06		
□ MP 104		L	+13.00	+12.89	-0.20	+0.20	-0.11		
□ MP 104		W	+7.00	+6.86	-0.20	+0.20	-0.14		

RPS

Length unit: mm