

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма:
Ниво студија: Основне академске студије
Модул: Индустријски инжењеринг
Предмет: Мерење и управљање
Број индекса: 186/2009

Милан Д. Хрњак
Поређење тачности савремених
бесконтактних и контактних мерних метода
за мерење дужине
завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Петар Тодоровић - ментор
2. _____
3. _____

Датум
одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да изврши поређење тачности између оптичких – бесконтактних 3D координатних мерних система за мерење дужине и механичких – контактних 3D координатних мерних система за мерење дужине. Кандидат треба укратко да објасни принцип рада оптичких мерних уређаја за мерење дужине, да опис метода, софтвера и уређаја које је користио у свом раду. У делу практичног рада кандидат треба да изабере репрезентативни узорак на коме ће моћи да изврши поређење резултата мерења дужине горе поменутих метода.

Препоручена литература:

[1]GOM, PhotogrammetryV7.5 SR1 Manual, 2012

Крагујевац, 1. 6. 2013. године

Ментор:
Проф. др Петар Тодоровић, дипл. инг.

Резиме: Рад показује поређење тачности између оптичких – бесконтактних 3D координатних мерних система и механичких – контактних 3D координатних мерних система и упутства за алате који су потребни за рад са истим. Модули ових бесконтактних мерних система нуде мерења координата било којег жељеног обележја и омогућавају: верификацију толеранција облика и положаја (GD&T), CAD поређење и контролу спецификација из цртежа, датотека или таблице.

Кључне речи: -Мерење

- Оптички мерни системи
- Упутства и алати за оптичке мерне системе
- Тачност оптичких мерних система

Summary: This paper shows comparison of accuracy between optical – contactless 3D coordinate measuring systems and mechanical – contact 3D coordinate measuring systems and manuals for tools that are needed for work with those systems. Modules of these contactless measuring systems offer measuring coordinates of any wanted feature of interest and allow for: Verification of shape and position tolerances (GD&T), CAD comparison and inspection of specifications from drawings, files or tables.

Keywords: -Measurement

- Optical measuring systems
- Manuals and tools for optical measuring systems
- Accuracy of optical measuring systems

Садржај

1. Увод	1
2. Принципи рада оптичких мерних система	3
2.1. Мобилни оптички мерни уређај – ATOS	3
2.2. Мобилни оптички мерни уређај – TRITOP	4
3. Преглед и упутство за рад у софтверу GOM Inspect	7
3.1. Кориснички интерфејс (<i>User interface</i>)	7
3.2. Уношење скенираних података	10
3.3. Увоз STL података рачунарске томографије	10
3.4. Увожење облака тачака (<i>Point Cloud</i>) са ласерског скенера	11
3.5. Полигонизација облака тачака (<i>Point Cloud</i>)	12
3.6. Брисање фрагмената података	13
3.7. Измена и манипулација мрежа	13
3.7.1. Селектовање	13
3.7.2. Уређивање мреже	14
3.7.3. Интерактивно затварање рупа	14
3.7.4. Углађивање мреже	15
3.7.5. Проређивање мреже	16
3.7.6. Прављење мостова на рупама у мрежи	17
3.7.7. Поправљање мреже	18
3.7.8. Прерађивање мреже	19
3.8. Једноставна контрола машинског дела	20
3.8.1. Увоз измерених података и CAD података	20
3.8.2. Поравнање номиналног и стварног модела	22
3.8.3. Поређење површина	23
3.8.4. Постављање етикета одступања	25
3.8.5. Документација резултата	26
3.8.6. Чување пројекта и извоз података	29
3.9. Пресек за контролу	30
3.9.1. Прављење пресека за контролу	30
3.9.2. Примена етикета одступања	33
3.9.3. Подешавање видљивости у 3D погледу	34
3.9.4. Документација	35
3.9.5. Коришћење пресечних равни	35
3.10. Додатна поравнања	37
3.10.1. Селектовање у 3D погледу	37
3.10.2. Додатно најбоље одговарајуће поравнање (<i>Best-fit Alignment</i>)	40
3.10.3. Повратак 3D погледа из страница извештаја (<i>Report Page</i>) и писање преко постојећих страница извештаја (<i>Report Page</i>)	42
3.10.4. Ажурирање страница извештаја (<i>Report Page</i>), копирање постојећих извештаја и писање преко копија	43
3.11. Толеранције и поравнање преко референтних тачака	45
3.11.1. Подешавања толеранција на CAD моделу	46
3.11.2. Подешавања толеранције на делићима CAD модела	46
3.11.3. Прављење извештаја са приказом толеранција	47
3.11.4. Конструкција номиналних тачака	48
3.11.5. Примена мерних принципа	49
3.11.6. Поравнање преко референтних тачака	50
3.12. Контрола на основу цртежа	52

3.12.1. Прављење поравнања 3-2-1 (3-2-1 Alignment)	52
3.12.2. Мерење и контрола растојања	55
3.12.3. Контрола цилиндара.....	58
3.13. 2Д пресеци за контролу на основу цртежа.....	60
3.13.1. Прављење пресека.....	60
3.13.2. Мерење углова	61
3.13.3. Контрола кругова преко локалних пресека	65
3.14. Толеранције облика и положаја (GD&T).....	69
3.14.1. Теоријске основе	69
3.14.2. 3-2-1 поравнање на основу компензационих равни	76
3.14.3. Контрола равности	78
3.14.4. Генерисање база	80
3.14.5. Толеранције паралелности.....	80
3.14.6. Толеранције цилиндричности	82
3.14.7. Толеранција положаја	84
4. Поређење резултата мерења	88
4.1. Паралелна гранична мерила.....	88
4.2. Мерни системи коришћени за мерење	89
4.2.1. Оптички мерни систем ATOS.....	90
4.2.2. Оптички мерни систем TRITOP	90
4.2.3. Мерна рука FARO Arm Platinum.....	91
4.2.4. Мерна рука ROMER Absolute Arm	91
4.3. Поступак мерења	92
4.3.1 Мерење оптичким мерним системом ATOS	93
4.3.2. Мерење оптичким мерним системом TRITOP	94
4.3.3. Мерење мерним рукама ROMER Absolute Arm и FARO Arm Platinum	96
4.4. Резултати.....	96
4.4.1. – Апсолутне вредности измерених дужина	96
4.4.2. – Одступање у односу на просечне вредности измерених дужина ...	97
4.4.3. - Одступање у односу на називну вредност паралелних граничних мерила за дужину	99
Закључак	100
Литература	101

1. Увод

Метрологија је наука о мерењу. Она се бави мерним јединицама и њиховим еталонима, мерилима и мерењима и обухвата све теоријске и практичне проблеме који се односе на мерења без обзира на њихову тачност. Метрологија такође обухвата одређивање физичких константи и својства материјала и материје. Метрологија се може посматрати и у зависности од физичке величине коју разматра, као метрологија дужине, метрологија времена, метрологија температуре и слично, или према области примене, као техничка метрологија, астрономска метрологија, медицинска метрологија. Пораст сазнања из метрологије водио је специјализацији, тј. развоју њених појединих делова, нпр. метрологија масе, метрологија дужине, метрологија времена и фреквенције. Већина метролога који се баве историјатом метрологије везује њен почетак као науке за 18. век, односно за период око француске револуције која је дала значајан подстрек њеном развоју. Наиме у том периоду зачала се идеја о стварању децималног метарског система и о усвајању дефиниције за јединицу дужине — метар. Након потписивања Међународне метарске конвенције 20. маја 1875. године у Паризу, којој су током времена приступиле скоро све развијене земље, метрологија се као наука од општег интереса убрзано развија.

Када говоримо о методама за мерење дужине, током времена су се развили различити поступци. Основна подела мерних метода за мерење дужине је дата на слици 1.1.



Слика 1.1. – Подела мерних метода

У овом раду вршимо поређење тачности машина које раде бесконтактном оптичком методом мерења — оптички мерни системи ATOS и TRITOP и координатних мерних машина (CMM) — мерних рука ROMER Absolute Arm и FARO Arm Platinum, које раде контактном методом мерења. Будући да су оптичке методе релативно нове методе мерења, у поглављу 2 дати су основни принципи функционисања коришћених оптичких мерних уређаја.

Током 2012. године на тржишту се појавио бесплатан софтвер GOM Inspect који омогућава контролу толеранција облика и положаја. Овај софтвер користи алгоритме који су знатно побољшани у односу на софтвере који су фабрички доступни уз оптичке уређаје који су коришћени при мерењима. У поглављу 3 приказан је поступак рада овим софтвером.

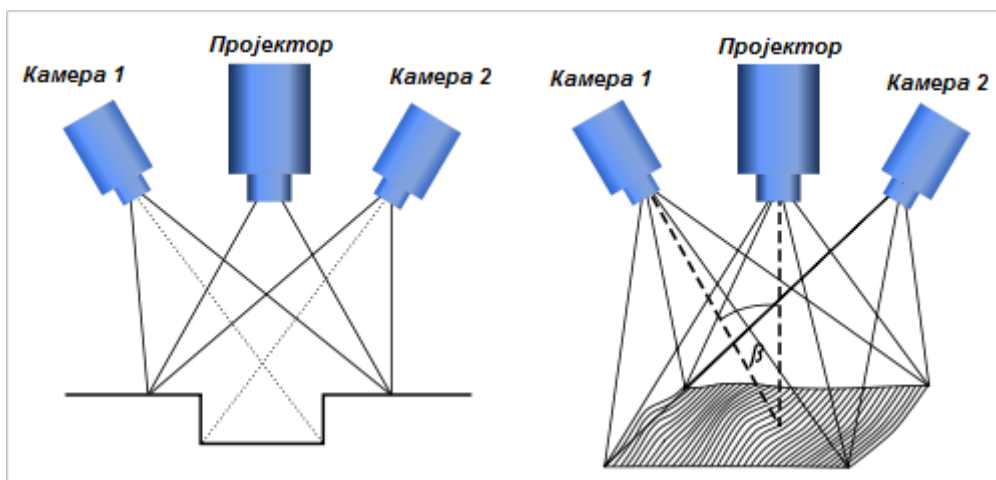
У поглављу 4 приказан је поступак мерења и поређење тачности савремених бесконтактних и контактних мерних метода за мерење дужине.

У поглављу 5 дати су закључци на основу резултата приказаних у раду.

2. Принципи рада оптичких мерних система

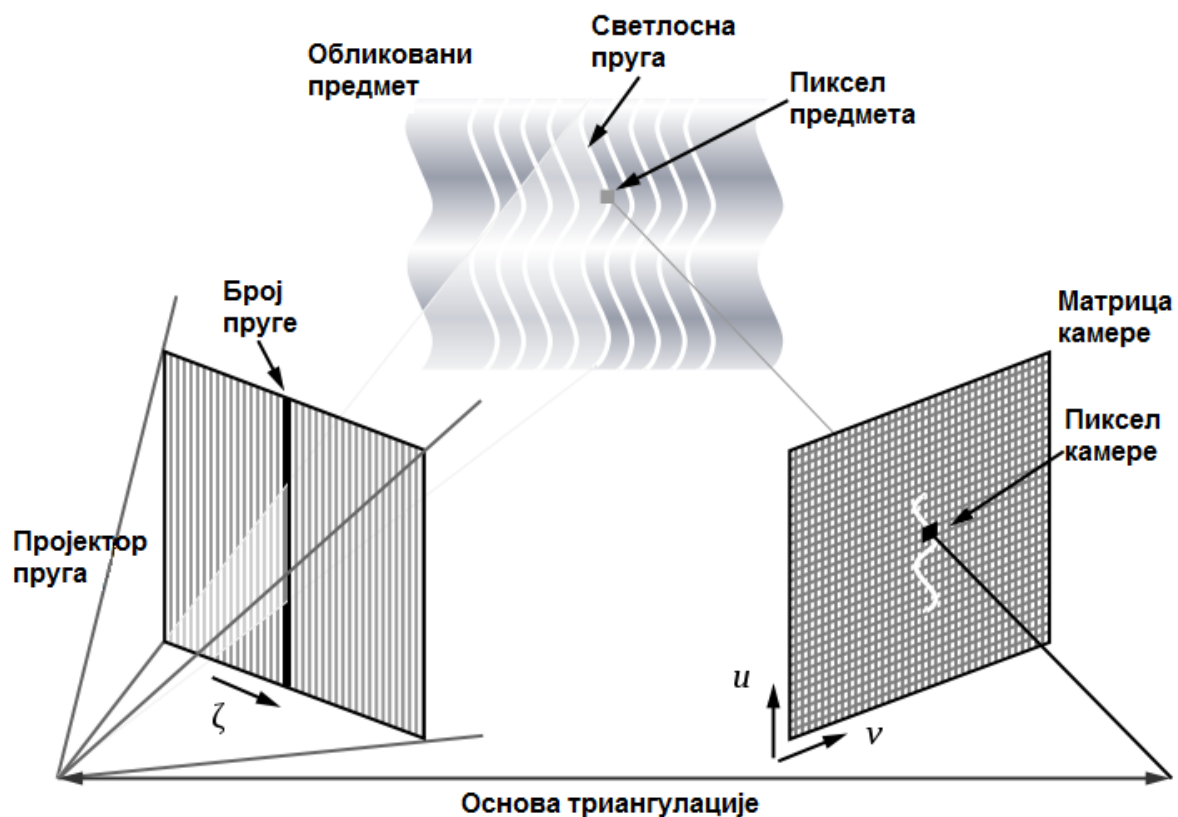
2.1. Мобилни оптички мерни уређај – ATOS

Помоћу оптичког мерног система за 3D дигитализацију ATOS могуће је детаљно одређивање облика контролисаних делова између фотограметријских тачака. Овај систем чине мерни сензор, микропроцесорски управљачки уређај и рачунар са софтвером за дигитализацију. Мерни сензор се састоји од специјалног пројектора који пројцира различите узорке паралелних линија (метода кодираног светла) и две камере које ове линије снимају под различитим углом (слика 2.1.1).



Слика 2.1.1. – Шема мерења ATOS скенером

Положај, угао и параметре објектива је потребно прецизно одредити пре снимања калибрацијом помоћу референтног крста како би се избегле евентуалне нетачности и деформације услед промене температуре, вибрација у току транспорта итд. Мерни објекат, у зависности од своје величине, скенира се део по део. При томе је код сваког снимања обухваћена површина једнака величини пројциране слике пројектора на мерном објекту. Пројцирање линија по методи фазног померања омогућује да сваки пиксел две камере постане мерна тачка, тако да код сваког снимања софтвер на принципу активне триангулације аутоматски прорачунава и преко милион тродимензионалних мерних тачака. Овако велик број тачака врло тачно и детаљно описује облик сниманог дела мерног објекта. Појединачна снимања аутоматски се поклапају у једну целину (заједнички координатни систем) помоћу претходно одређених фотограметријских тачака. Снимање се понавља све док комплетна површина није скенирана.

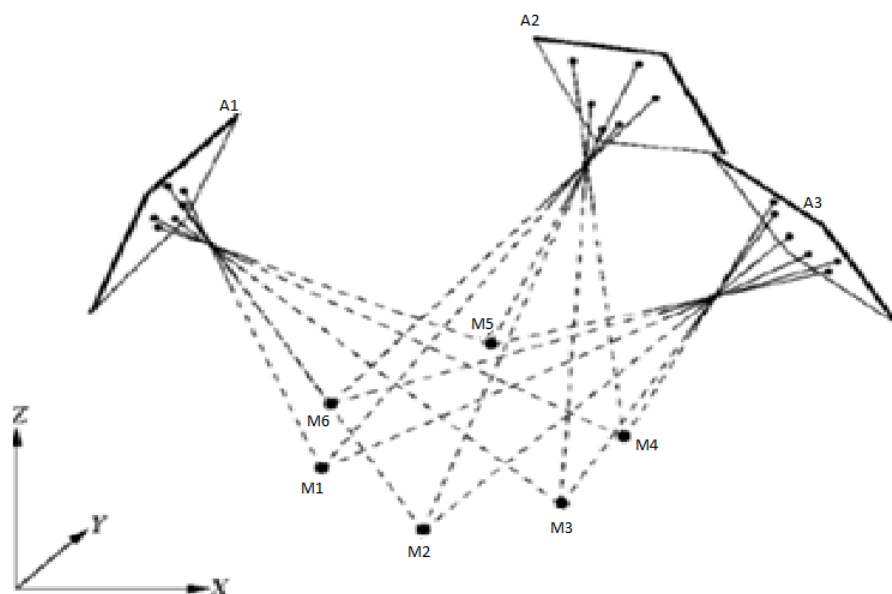


Слика 2.1.2. – Принцип триангулације приказан једном од многих линија

Измештеност ових линија омогућава прецизно одређивање 3D координата било којег површинског детаља.

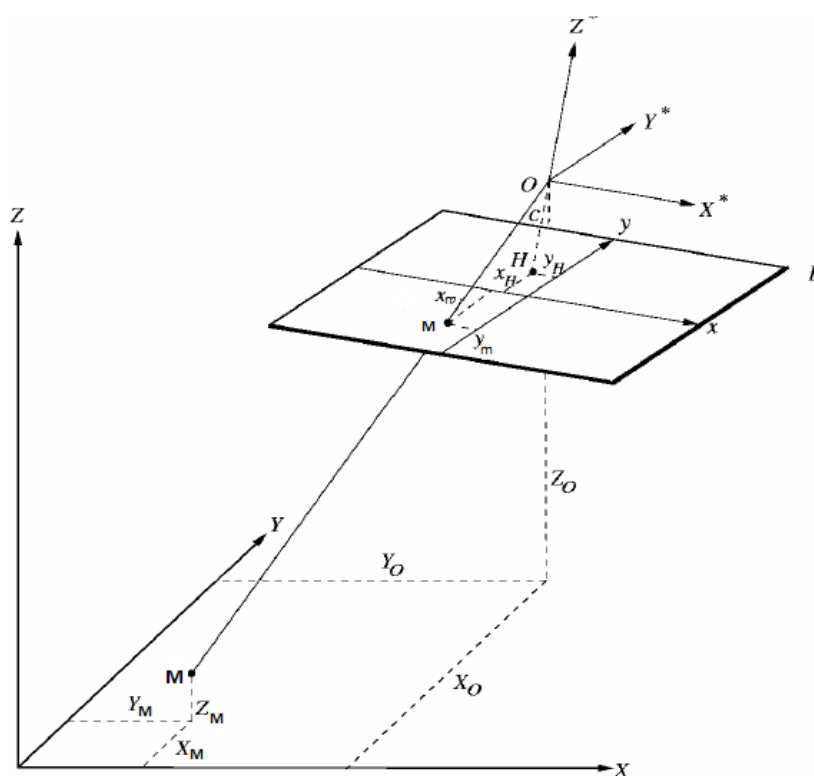
2.2. Мобилни оптички мерни уређај – TRITOR

Фотограметрија је поступак мерења где се помоћу једне или више повезаних фотографија одређује положај, величина и облик снимљеног предмета. Принципи фотограметрије су познати још од краја 19. века али је њихова примена у индустрији постала могућа тек са развојем дигиталних камера високе резолуције и развојем јачих рачунара. Величина и облик равног дводимензионалног предмета могу се одредити из само једне фотографије, а мерење просторног објекта је потребно употребити најмање две фотографије снимљене са две различите локације. Сачуване фотографије се уз помоћ посебних алата посматрају стереоскопски, док се оптички модел може искористити за мерење снимљеног предмета. Такав поступак се назива стереофотограметрија. Положај жељене тачке у простору може се одредити триангулацијом вишеструких снопова посматрачких линија. У случају да је просторна оријентација сваког снопа позната у координатном систему објекта, пресек линија пружа тачну 3D координату предмета (слика 2.2.1).



Слика 2.2.1. – Одређивање тачака М триангулацијом

На слици 2.2.2. видимо модел централне пројекције тачке предмета на површину слике.



Слика 2.2.2. – Централна пројекција тачке предмета на површину слике

Тачка објекта $M(X_M, Y_M, Z_M)$, њен опсервациони положај $M(x_M, y_M)$ у равни слике В и центар пројекције $O(X_0, Y_0, Z_0)$ су на једној линији пројекције (слика 2.2.2).

Однос између објекта и координате слике можемо описати математичким

$$\text{изразом: } \begin{bmatrix} x_M \\ y_M \end{bmatrix} = \frac{-c}{Z_M} \cdot \begin{bmatrix} \dot{X}_M \\ \dot{Y}_M \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_H \\ y_H \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} dx \\ dy \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \dot{X}_M \\ \dot{Y}_M \\ \dot{Z}_M \end{bmatrix} = R \cdot \begin{bmatrix} X_M - X_0 \\ Y_M - Y_0 \\ Z_M - Z_0 \end{bmatrix}$$

где је C - главна удаљеност,

x_H, y_H – координате слике пројигиране тачке објекта M ,

dx, dy - дисторзија објектива,

R – ротацијска матрица,

X_0, Y_0, Z_0 – координате пројекцијског центра O ,

X_M, Y_M, Z_M – координате мерене тачке објекта M

$\dot{X}_M, \dot{Y}_M, \dot{Z}_M$ – помоћне координате тачке објекта m

Параметри C (главна удаљеност), координатне главне тачке (x_H, y_H) и опис дисторзије објектива (dx, dy) су унутрашњи оријентири. Вредност средишта пројекције (X_0, Y_0, Z_0) и ротацијске матрице, која зависи од положаја камере у координатном систему утврђују спољашњу оријентацију. Ортонормална ротацијска матрица користи се за претварање општих координата у помоћне координате.

3. Преглед и упутство за рад у софтверу GOM Inspect

GOM Inspect је бесплатан софтвер за 3D контролу и обрађивање мреже направљен за анализу димензија 3D објекта и одступања израђеног дела од предвиђеног, као и прегледач скупова података из софтвера **ATOS, Tritop...**

Свеобухватни, сертифицивани инспекцијски алат

GOM Inspect садржи све евалуацијске алате потребне за свеобухватну анализу делова и конструкција.

GOM Inspect независно су тестирале и сертифициовале америчке и немачке националне мерне лабораторије (PTB, NICT). Тачност резултата софтвера потврђена је упоређивањем са референтним резултатима. GOM Inspect сврстан је у класу са најмањим одступањима односно у прву класу.

Функције које GOM Inspect омогућује су:

- Учитавање CAD модела у стандардним форматима : IGES, STEP, JT Open, ...
- Могућност вишеструког поклапања мерног резултата и CAD модела унутар истог пројекта: аутоматско поравнавање, RPC, 3-2-1, равани-линија-тачка, best-fit (метода најмањих одступања), хијерархијско поравнавање...
- Одступања облика мерног објекта од CAD оригинала: површински приказ, по пресецима и у појединачним тачкама.
- Генерисање правилних геометријских тела на основу мерног резултата и CAD модела
- Дводимензионална анализа по пресецима
- Мерне функције: удаљености, углови, пречници...
- Толеранције облика и положаја (*GD&T* анализа) по стандардима ISO 1101 и ASME Y14.5

Мерни извештаји: screenshot, рачунске таблице, PDF...

Генерисање и обрада полигонских мрежа

GOM Inspect аутоматски прерачунава облаке тачака у висококвалитетне 3D мреже и располаже бројним алатима за њихову даљу обраду:

- Учитавање 3D облака тачака у стандардним форматима: STL, ASSII...
- Претварање облака тачака у полигонизоване мреже
- Изглађивање полигонизованих мрежа
- Редукција полигонизованих мрежа
- Затварање рупа у мрежама
- Усавршавање полигонизованих мрежа
- Издвајање закривљених линија из мрежа

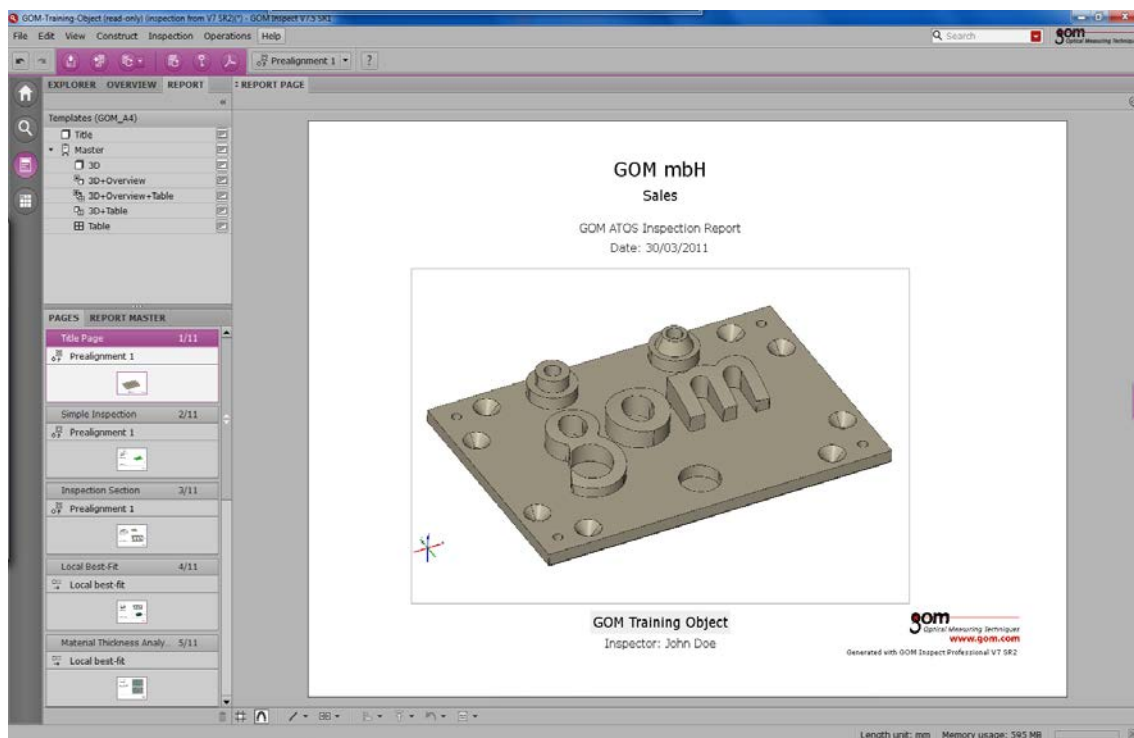
Приказ резултата у стандардним форматима: STL, ASSII, ...

3.1. Кориснички интерфејс (*User interface*)

GOM Inspect се отвара са почетним екраном на којем можемо управљати пројектима – можемо да направимо нови пројекат (*New Project*), да приступимо недавно отвореним пројектима (*Recently Used Projects*) или да директно отворимо сачувани пројекат (*Open*).

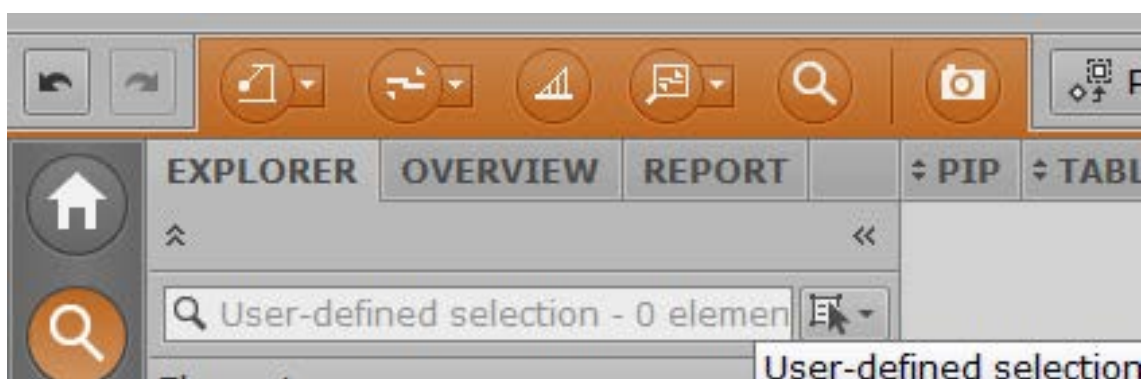
При отварању пројекта, појављује се радни простор где са леве стране можемо пречицама да се вратимо на почетни екран, вршимо контролу предмета који

прегледамо, преглед извештаја и документације (слика 3.1.1.) и уређивање мреже да би манипулисали подацима.



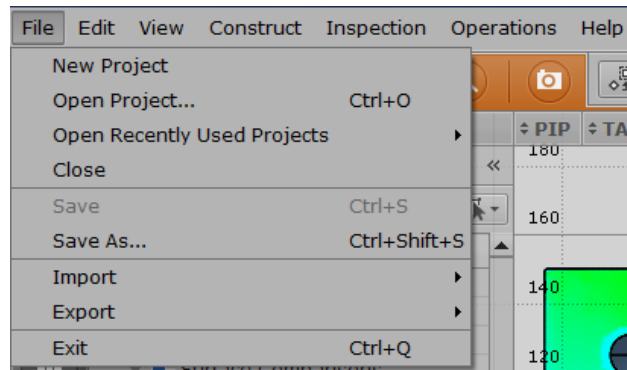
Слика 3.1.1. - Радни простор (*Workspace*) отвореног пројекта – документација

Левим кликом на различите пречице, уз промену радног простора, мења се и трака са алаткама (слика 3.1.2.) у зависности од радног простора у којем се тренутно налазимо. На пример – у радном простору где вршимо контролу предмета који прегледамо трака са алаткама се састоји из функција (редоследом са леве стране на десну): Направити поравнање, поређење површина, контролни пресек итд.



Слика 3.1.2. – Трака са алаткама (*Toolbar*)

Трака са падајућим менијима (слика 3.1.3.) је веома чисто структурирана и остаје иста независно од радног простора у којем се налазимо.

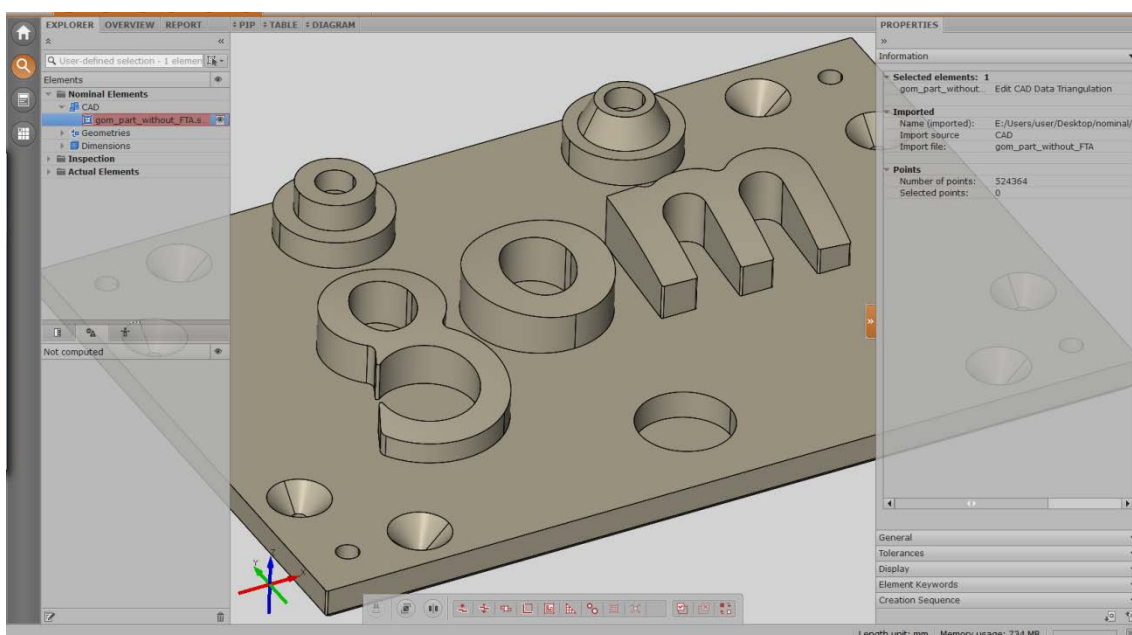


Слика 3.1.3. – Трака са падајућим менијима (Menu bar)

3D поглед се налази у средини радног простора и можемо манипулисати њиме држањем тастера CTRL и левог клика миша рачунара, а затим померањем миша у жељеном смеру. Увеличавање и умањивање погледа можемо регулисати точићем миша, где се поглед увећава окретањем точића напред, а умањује окретањем уназад. Уколико притиснемо точић, можемо померати транслаторно поглед померањем миша.

Такође, поглед можемо променити левим кликом миша на различите осе координатног система у доњем левом углу екрана између стандардних погледа и ISO стандардних погледа. Такође, левим кликом на четвртину круга у овој алатки можемо заокретати предмет у смеру казаљке на сату левим кликом на доњи део и супротно смеру казаљке на сату левим кликом на горњи део четвртине круга са подеоцима од по 15° . У зависности од тога где клинемо, угао заокретања је различит и приказује се у правоугаонику приказаном испрекиданом стрелицом на слици 5.

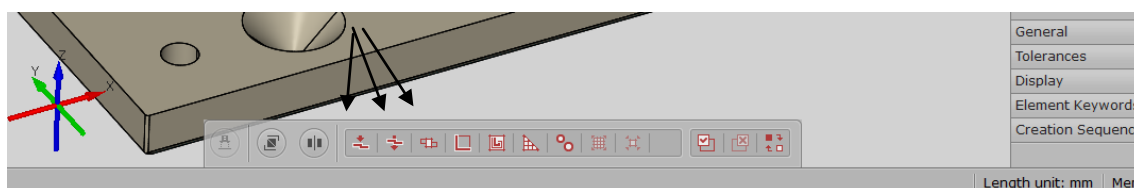
Ако желимо да променимо својства приказивања неке површине предмета, левим кликом миша одаберемо површину предмета чији начин приказивања желимо да променимо, а затим да отворимо својства (*Properties*) притискањем левог клика миша на правоугаоник у десном делу радног простора (слика 3.1.4.)



Слика 3.1.4. – Својства (*Properties*)

Левим кликом можемо одабрати својства ког аспекта предмета желимо да променимо, имамо општа подешавања (*General*), толеранције (*Tolerances*), приказивање (*Display*), основне кључне речи (*Element keywords*) и редослед стварања (*Creation sequence*) - слика 3.1.4. Прозор подешавања својстава се мења у зависности од изабраног дела предмета, односно од дела предмета на који смо кликнули левим кликом у 3D погледу.

У траци за одабир (слика 3.1.5.) можемо одабрати како желимо да селекујемо/деселекујемо делове предмета када кликнемо на њега у 3D погледу. Са лева на десно команде су: Изабери на површини (*Select/Deselect on surface*), изабери кроз површину (*Select/Deselect through surface*), изабери по парчићима (*Select Patch*) итд.



Слика 3.1.5. – Трака за одабир (*Selection toolbar*)

У горњем десном углу имамо траку за помоћ коју можемо у било ком тренутку користити, тако што ћемо уписати жељени појам на енглеском језику.

3.2. Уношење скенираних података

GOM Inspect може да управља са разним форматима скенираних података, који потичу са светлосних скенера, ласерских скенера итд. Прво отворимо нови пројекат.

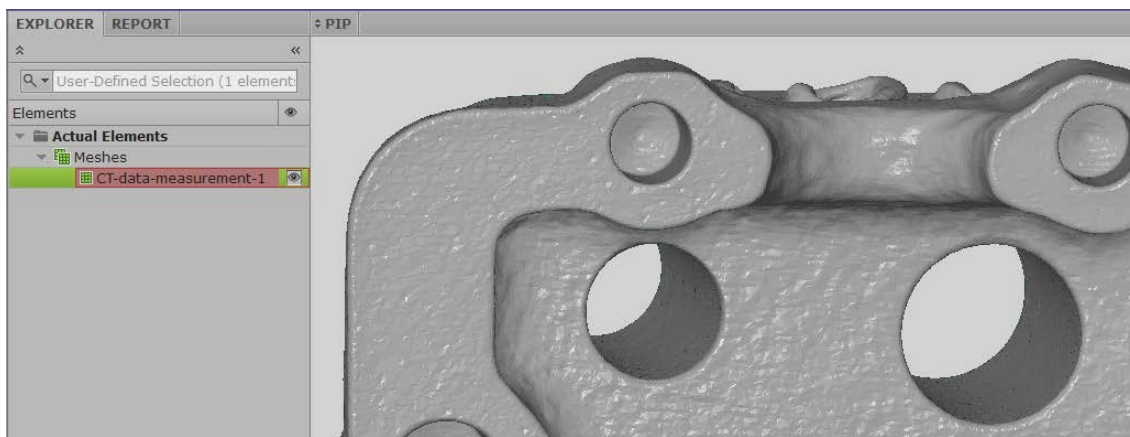
Уношење било ког податка можемо извршити преко команде *File-Import-File* у траци са падајућим менијима (*Menu bar*). Такође, можемо користити *Drag&drop* (превуци и пусти) функцију где ћемо из окружења оперативног система левим кликом миша превући и пустити жељену датотеку.

3.3. Увоз STL података рачунарске томографије

Пошто смо направили нови пројекат у софтверу, желимо да увеземо један од најчешћих формата података, STL (*Surface Tessellation Language*). Овај формат описује површину користећи полигоне (троуглове).

Увозимо STL податке са командом **File ► Import ► File ► ... ► demo_data_insp_prof_basic ► actual ► .CT-data-measurement-1.stl**.

Поред тога, можемо увести податке преко Windows explorerа користећи функцију превуци и пусти (*Drag&Drop*), а затим у дијалогу који се отвори морамо одабрати јединице (*Unit*) – милиметре, инче (mm, in, ...) и тип циљног елемента (*Target element type*). Пошто су наши подаци са скенирања, бирамо мрежу (*Mesh*). Подаци су затим учитани и аутоматски сортирани у категорију претраживача **Actual Elements ► Meshes**.



Слика 3.3.1. - STL подаци рачунарске томографије после увоза

Овим је увоз података извршен и можемо радити са њима.

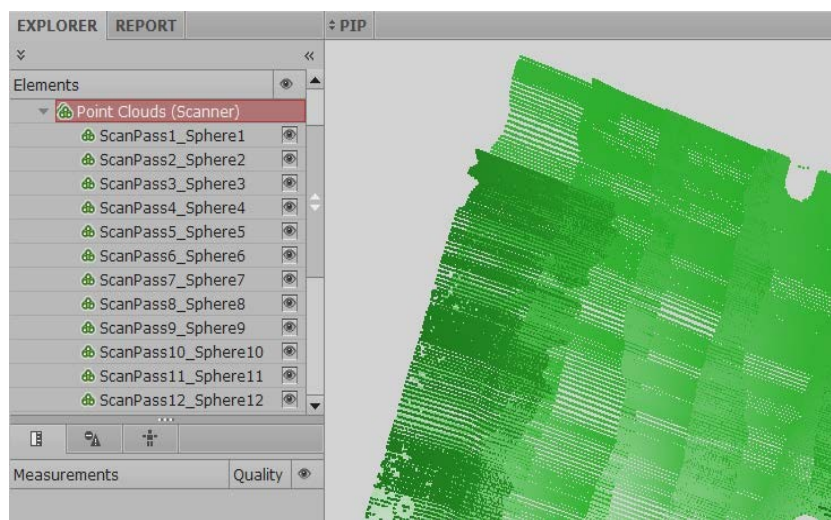
3.4. Увожење облака тачака (*Point Cloud*) са ласерског скенера

Сада желимо да унесемо основни формат ласерског скенера користећи превуци и пусти (*Drag&Drop*) функцију.

Правимо нови пројекат, а затим у Windows exploreru бирамо сва 24 податка са форматом .swl из фасцикле са демо подацима ... ► demo_data_inspprof_basic ► actual ► laserscan ► ..., и превлачимо их левим кликом миша у софтвер.

Пуштамо леви клик када се појави опција увоза података (*Import*).

После увоза, подаци су доступни у претраживачу као индивидуални облаци тачака (*Point clouds*) под опцијама **Actual Elements** ► **Point Clouds (Scanner)**, показујући пруге и преклопне области које су типичне за ласерске скенере (слика 3.4.1).

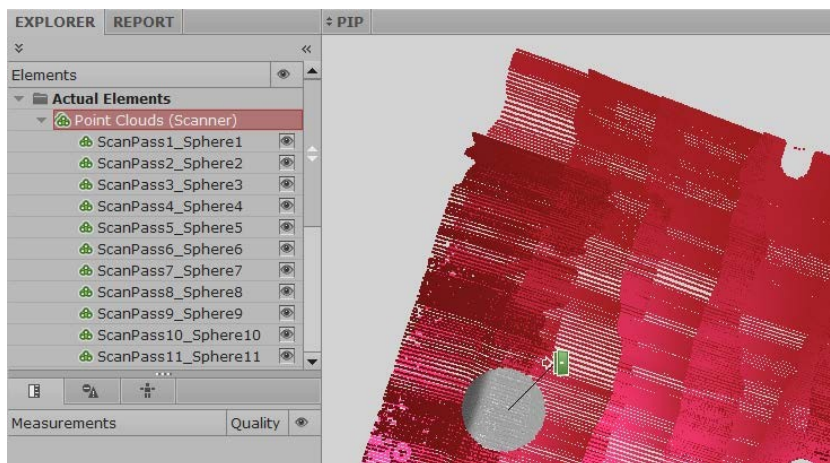


Слика 3.4.1. – SWL подаци после уношења података ласерског скенирања

Пошто су подаци доступни као облаци тачака (*Point clouds*), морамо да их променимо у полигонску мрежу да би смо даље радили са њима.

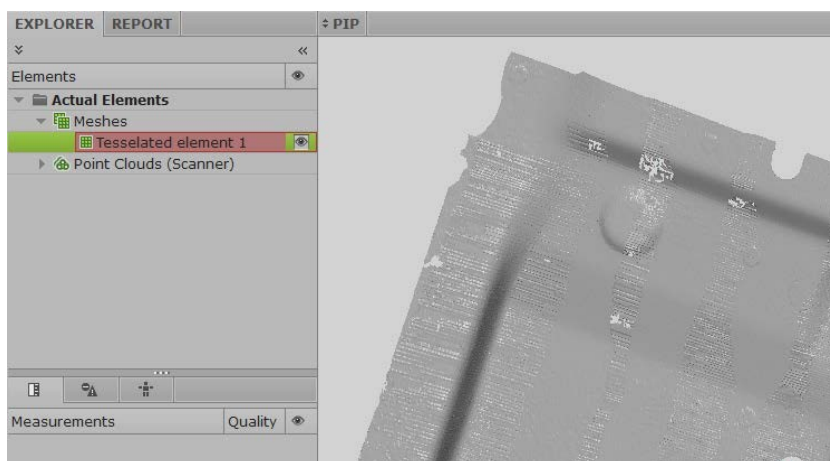
3.5. Полигонизација облака тачака (*Point Cloud*)

Изаберите жељене облаке тачака у 3D погледу и започните процес полигонизације користећи команду **Operations ► Point Cloud (Scanner) ► Polygonize point cloud ► ...**.



Слика 3.5.1. – SWL подаци ласерског скенера. Облак тачака је изабран у 3D погледу и преглед полигонизације је активираан.

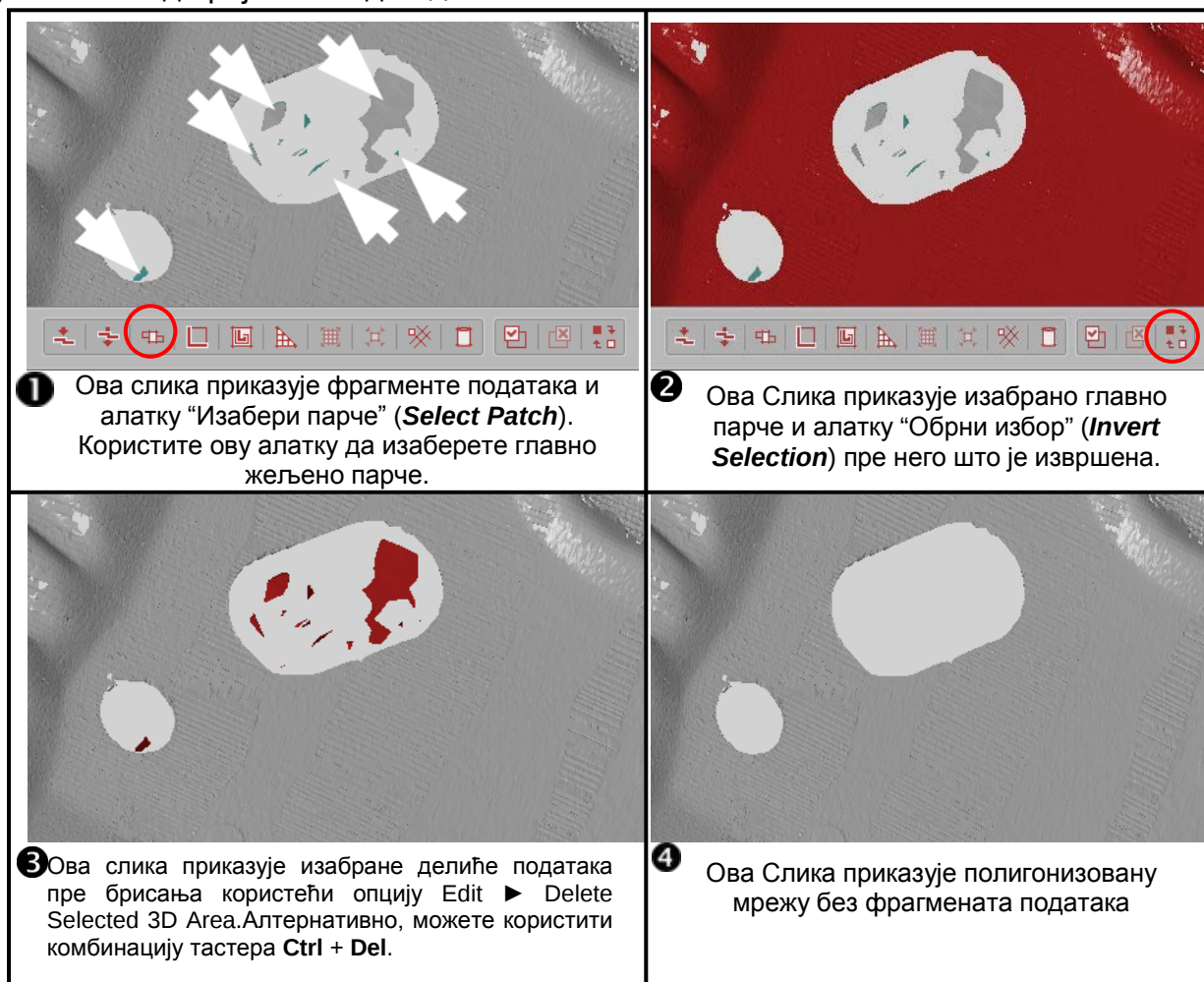
У центру екрана, софтвер рачуна полигонизациони преглед пре него што је потврђен. У дијалогу **Polygonize Point Cloud**, можете променити параметре полигонизације. Са држањем тастера Ctrl и притиском левог клика миша на област облака тачака параметри полигонизације се процењују за ту област. У прегледу можете директно видети ефекте ових промена. Ако преглед не показује жељене резултате, препоручујемо повећање вредности минималне раздаљине коришћених тачака (**Min. distance of used points**) у дијалогу.



Слика 3.5.2. - SWL подаци ласерског скенера после полигонизације

3.6. Брисање фрагмената података

После полигонизације, неки фрагменти података још увек постоје али могу бити обрисани на начин објашњен у табели под бројевима од ❶ до ❷:



Табела 3.6.1. – Брисање фрагмената података

3.7. Измена и манипулација мрежа

Показаћемо: интерактивно затварање рупа у мрежи, углађивање мреже, проређивање мреже, прављење мостова мреже, поправљање мреже и прерађивање мреже.

Пошто многе од ових функција захтевају избор у 3D погледу, прво ћемо приказати алатке за избор у њему.

3.7.1. Селектовање

Најчешће коришћене команде за селектовање се налазе у траци са алаткама (*Toolbar*) на дну 3D погледа. Додатне команде, попут нпр. Селектовање на основу геометрије (*Geometry Based Selections*) , налазе се под командом **Edit ► Selection in 3D ►**

Трака за селектовање је подељена у два дела:

Стандардне наредбе за селектовање (слика 3.7.1.1.)

Најчешће коришћене наредбе за селектовање (слика 3.7.1.2.)



Слика 3.7.1.1. – Стандардне наредбе за селектовање

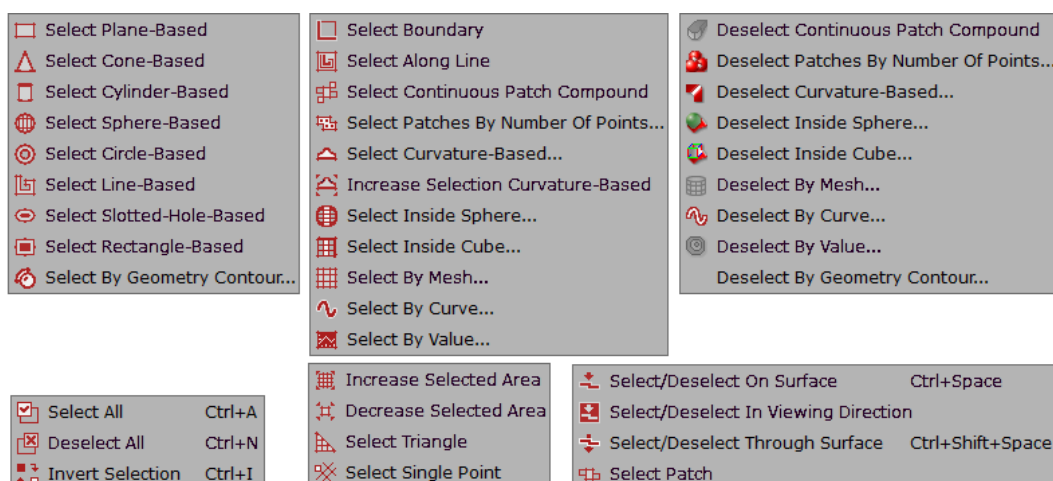


Слика 3.7.1.2. – Најчешће коришћене наредбе за селектовање

Стандардне наредбе за селектовање са лева на десно: Селектуј све, деселектуј све, обрни избор.

Најчешће коришћене наредбе за селектовање

Када користимо софтвер први пут, избор основних алатки за селектовање се овде појављује. Ако користимо даље наредбе, на пример **Edit ► Selection in 3D ► ...**, алатке за избор које најчешће користите овде ће бити приказане.



Слика 3.7.1.3. – Наредбе за селектовање/деселектовање

3.7.2. Уређивање мреже

Мрежу можемо преуређивати у простору за уређивање мреже (*Mesh Editing*)



Слика 3.7.2.1. – Наредба простора за уређивање мреже

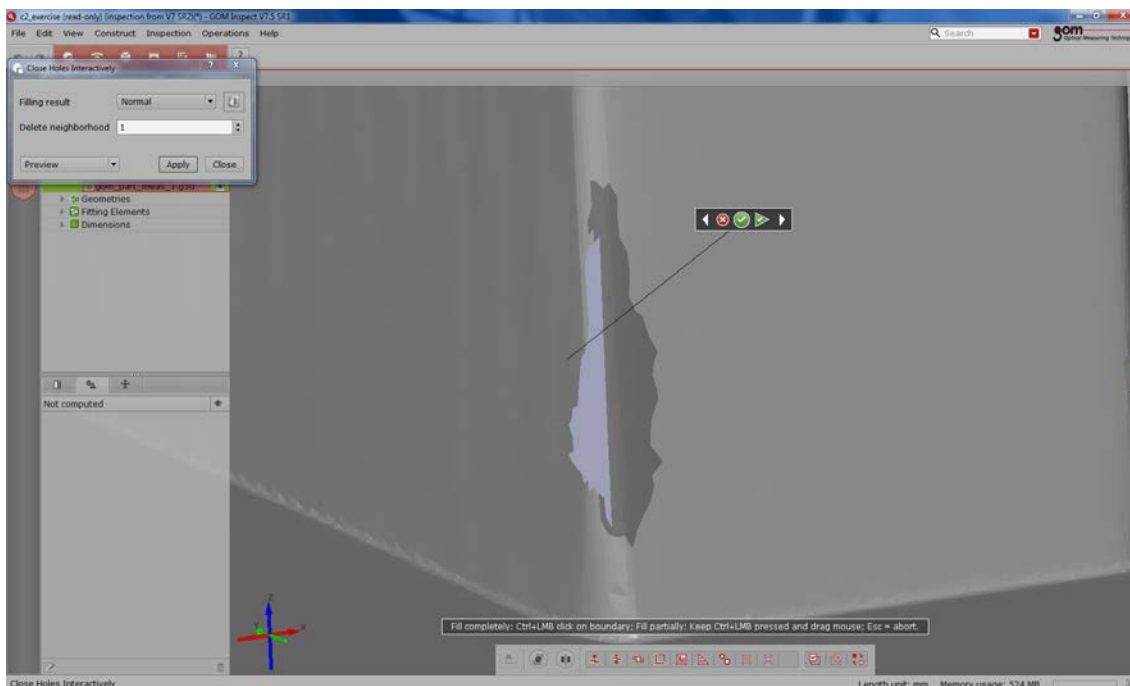
3.7.3. Интерактивно затварање рупа



Слика 3.7.3.1 – Наредба за затварање рупа(*Close Holes Interactively*)

Рупе можемо затворити потпуно или делимично пратећи инструкције у 3D погледу на слици 3.7.3.2. Потпуно попуњавање рупе (*Fill completely*) тастер Ctrl + леви клик миша на границу рупе, делимично попуњавање рупе (*Fill partially*)

тастер Ctrl + држање левог клик миша и повлачење делом који желимо да попунимо, а затим одабир стране коју желимо да попунимо.



Слика 3.7.3.2 – Попуњавање рупа у мрежи

“Паметна” алатка за формације (слика 3.7.3.3.) по командама са лева на десно служи за: враћање на претходну рупу, потврђивање жељеног резултата, потврђивање резултата а затим пребацивање на следећу рупу и пребацивање на следећу рупу.



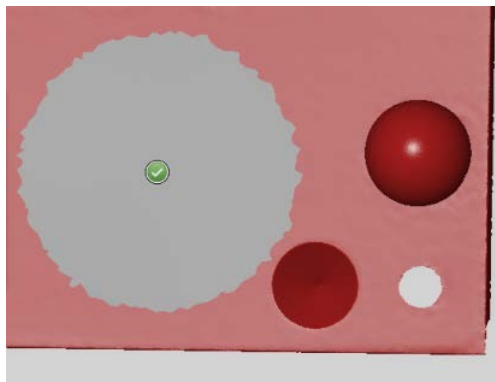
Слика 3.7.3.3. – „Паметна“ алатка

3.7.4. Углађивање мреже



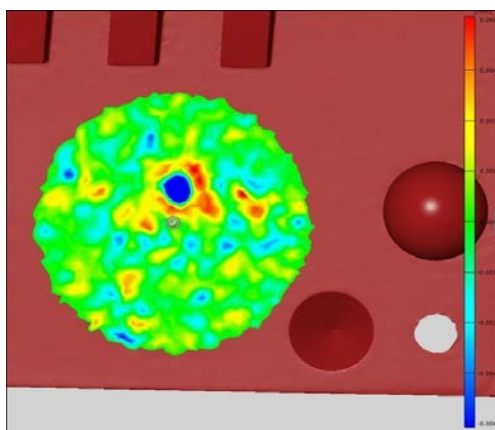
Слика 3.7.4.1. – Наредба за углађивање мреже(*Smooth Mesh*)

Са овом наредбом можемо угладити мрежу на селектованом подручју. Овом наредбом морамо руковати пажљиво и добро одабрати параметре јер може смањити квалитет података мреже. Ако је одабран већи део мреже, појављује се аутоматски кружни претходни приказ.



Слика 3.7.4.2. – Претходни приказ одабраног дела мреже

Мрежа може бити углађена на основи подесиве површинске толеранције. У случају равни, ефекти функције углађивања су видљиви само у обојеном погледу одступања (слика 3.7.4.3.).



Слика 3.7.4.3. – Поглед одступања приказан бојама

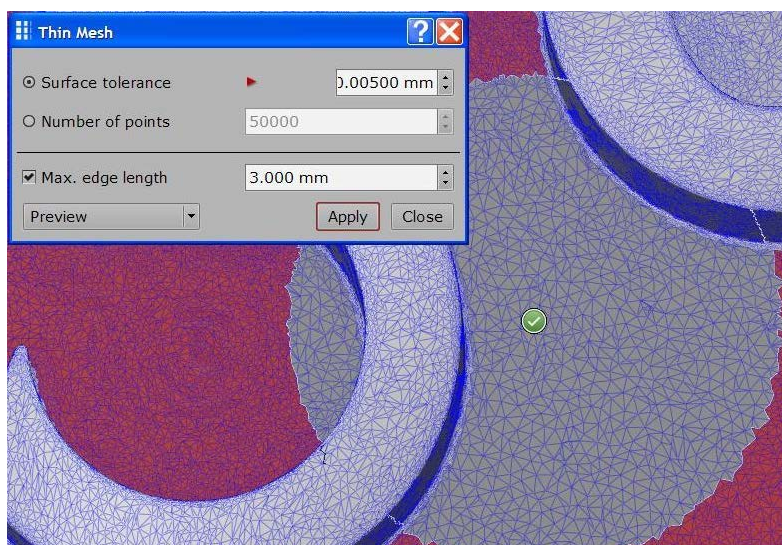
3.7.5. Проређивање мреже



Слика 3.7.5.1. – Наредба за проређивање мреже(*Thin Mesh*)

Са овом наредбом можемо проредити изабрана подручја мреже. Мрежа може бити проређена на основу подесивог површинског одступања. Проређивање је важна наредба да би смањили обим података мреже.

Овом наредбом морамо руковати пажљиво и добро одабрати параметре јер може смањити квалитет података мреже.



Слика 3.7.5.2. – Дијалог за проређивање мреже (*Thin Mesh*)

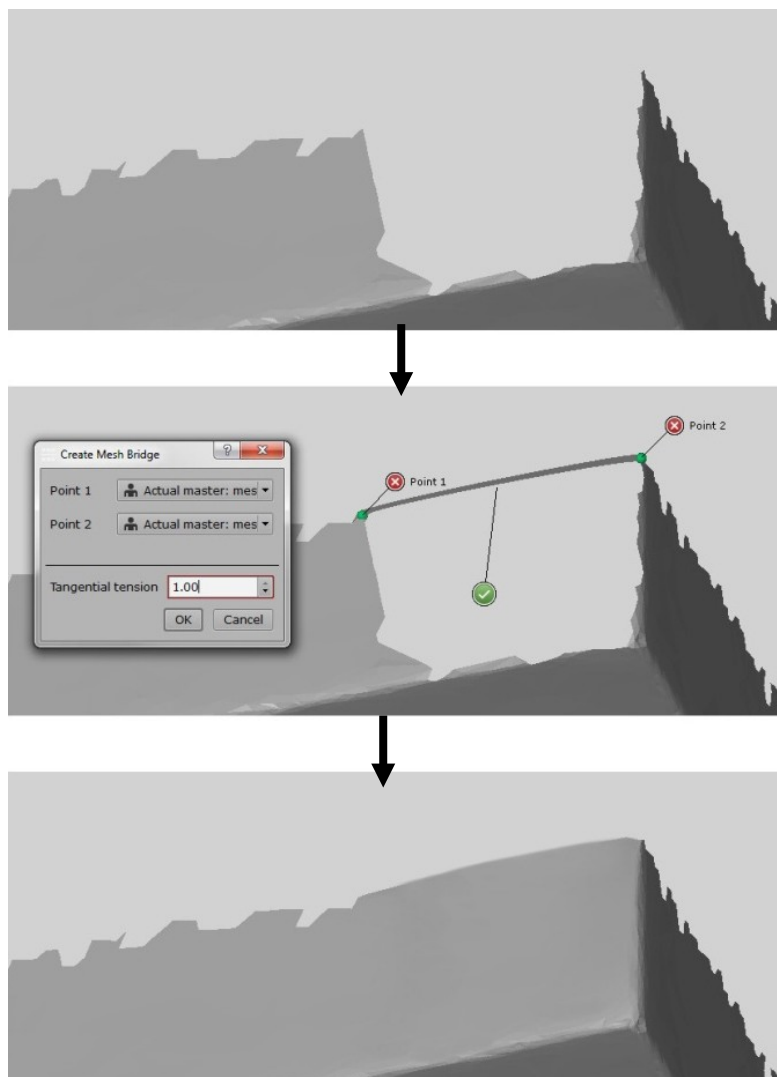
Ако је одабран већи део мреже, аутоматски се појављује претходни приказ одабраног дела мреже.

3.7.6. Прављење мостова на рупама у мрежи



Слика 3.7.6.1. – Наредба за прављење мостова мреже (*Create Mesh Bridge*)

Користећи мостове мреже можемо спојити парчице мреже да би направили затворену рупу у мрежи, коју евентуално можемо после затворити са наредбом ***Close Holes Interactively***. Ова функција се може користити и на дефектима који се појављују на ивицама мреже.



Слика 3.7.6.3. – Прављење мостова на мрежи

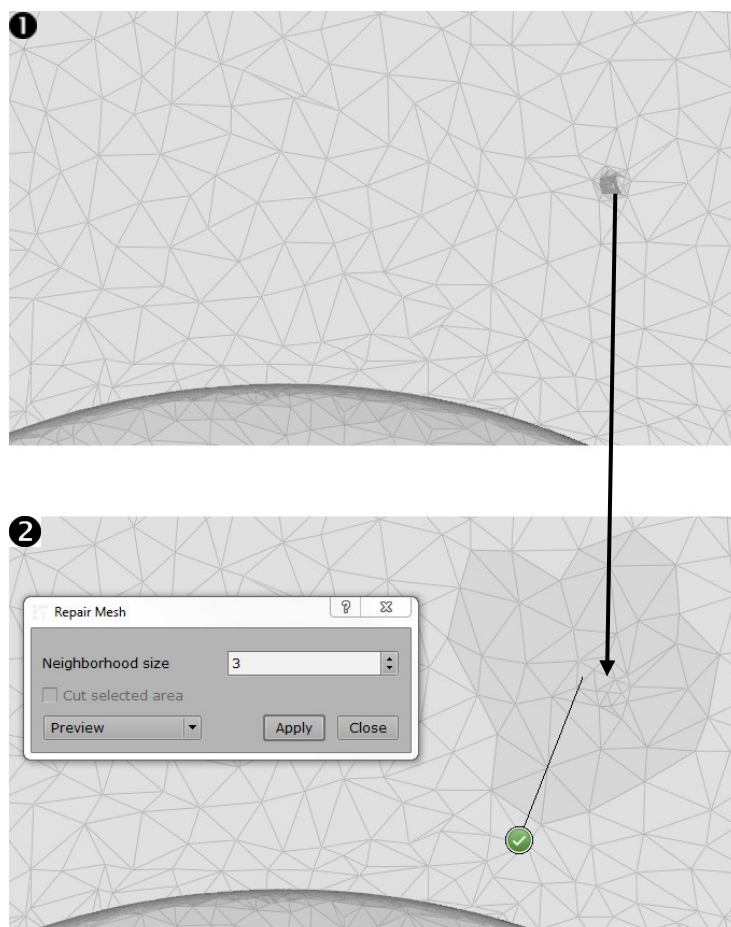
Функција је поступно објашњена на слици 3.7.6.3. По отварању дијалога потребно је комбинацијом тастера Ctrl и левог клика миша кликнути на две тачке између којих желимо да направимо мост на мрежи. Користећи тангенцијалну напрегнутост (*Tangential tension*) можемо утицати на траг криве моста који правимо.

3.7.7. Поправљање мреже



Слика 3.7.7.1. – Наредба за поправљање мреже(*Repair Mesh*)

Користећи наредбу за поправљање мреже (***Repair Mesh***), можемо поправити површинске неправилности мереног објекта (прашина, огреботине, струготина, улубљења...) у полигонизованој мрежи. Изаберите жељено подручје у 3D погледу или кликните комбинацијом тастера Ctrl и левог клика миша на жељени дефект (слика 3.7.7.2).



Слика 3.7.7.2. – Пре - ❶ и после - ❷ поправљања дефекта мреже

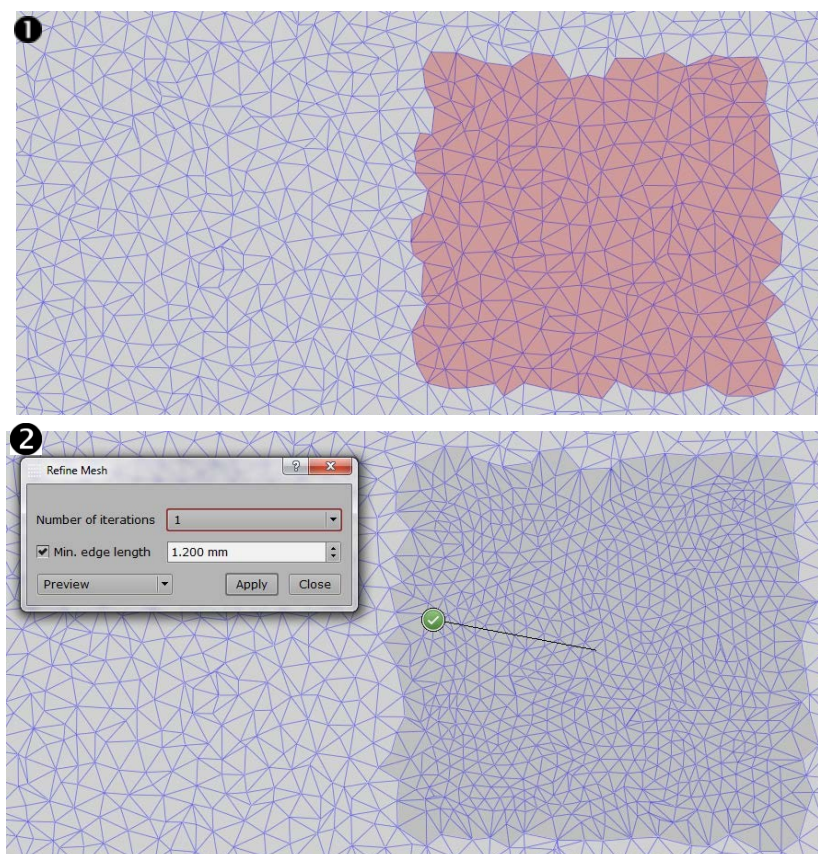
У дијалогу који се појављује повећавамо или смањујемо утицај поправљања мреже на околину изабраног дефекта, односно ширину подручја коју ће поправљање обухватити.

3.7.8. Прерађивање мреже



Слика 3.7.8.1. – Наредба за прерађивање мреже (*Refine Mesh*)

Користећи наредбу за прерађивање мреже (***Refine Mesh***), повећавамо густину полигонизације у жељеном подручју, односно густину троуглова на изабраним површинама. Овом функцијом се повећава финоћа нпр. ивица, радијуса итд.



Слика 3.7.8.2. – Прерађивање мреже(одабрано подручје пре - ❶ и после - ❷)

Са овом функцијом морамо манипулисати пажљиво јер се густина површине мења само на одабраном месту. Под опцијом број понављања (*Number of iterations*) у дијалогу који се појављује, са једним понављањем број троуглова одабраног подручја се умножава три пута.

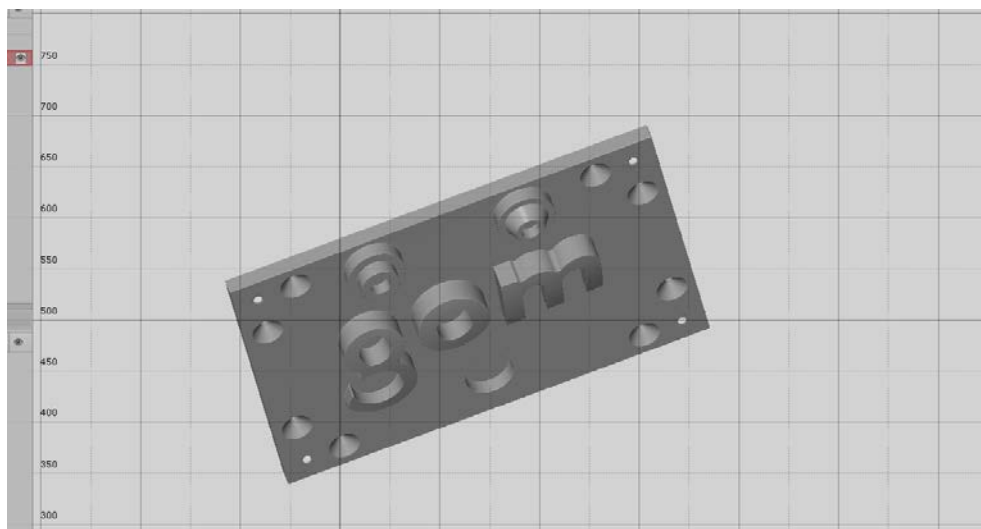
3.8. Једноставна контрола машинског дела

Показаћемо увоз измерених података и CAD података, извођење поравнања, поређење површина, постављање етикета одступања, документацију резултата и чување пројекта и извоз података.

3.8.1. Увоз измерених података и CAD података

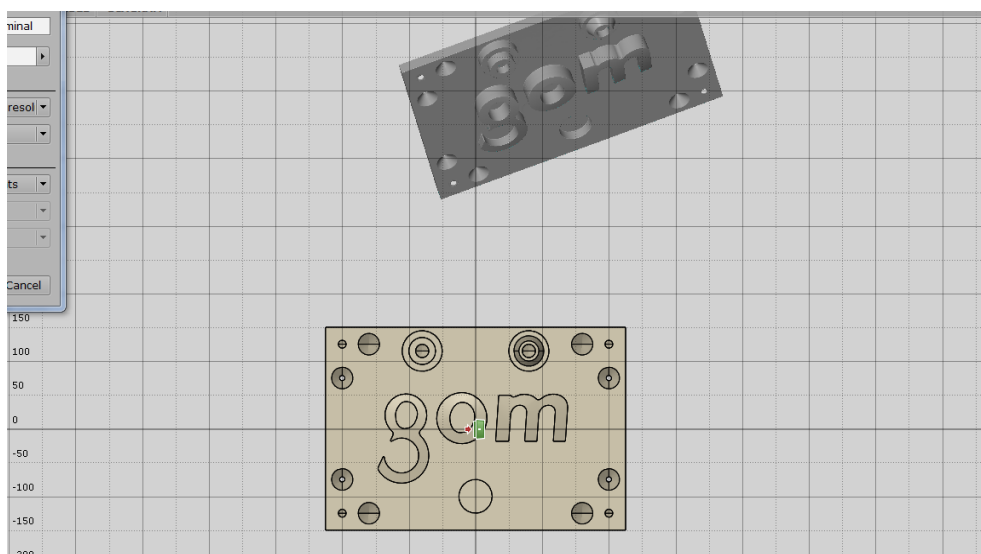
Прво отварамо нови пројекат, а затим увозимо скениране податке преко наредбе **File ► Import ► File ► ... ► inspection_1 ► actual ► gom_part_meas_1.g3d** или преко функције превуци и пусти (*Drag&Drop*).

Увозом ових података са ATOS скенера добијамо стварни измерени модел, односно његову мрежу високе резолуције у прозору 3D погледа (слика 3.8.1.1)



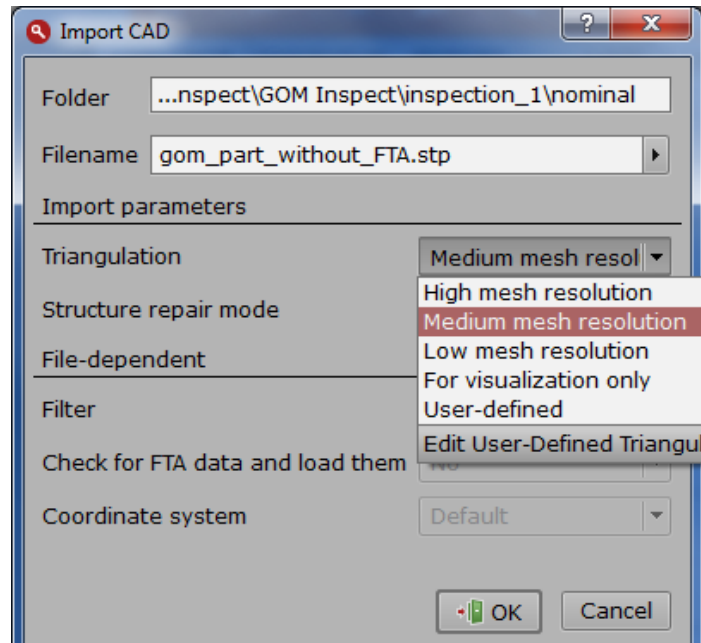
Слика 3.8.1.1. – Измерени модел (мрежа високе резолуције)

Следећи корак је увоз жељеног CAD модела, који такође можемо извршити преко наредбе **File ► Import ► File ► ... ► inspection_1 ► nominal ► gom_part_without_FTA.stp** или функције превуци и пусти (*Drag&Drop*). По увозу жељеног CAD модела претходни преглед тог модела се аутоматски активира да би видели да ли је CAD модел могао бити учитан (слика 3.8.1.2).



Слика 3.8.1.2. – Претходни преглед увезеног CAD модела

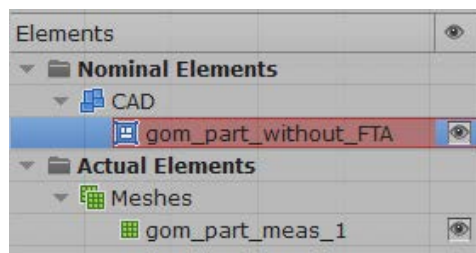
CAD подаци се претварају у мрежу троуглова, тако да у дијалогу можемо изабрати резолуцију мреже (слика 3.8.1.3) да би упоредили мрежу модела стварног дела са мрежом CAD модела.



Слика 3.8.1.3. – Дијалог за увоз CAD модела

У падајућем менију за триангулацију бирамо коју резолуцију мреже желимо, између високе (*High mesh resolution*), средње (*Medium mesh resolution*), ниске (*Low mesh resolution*), са намером за само визуализацију (*For visualization only*) или кориснички дефинисане (*User-defined*) у којој можемо дефинисати резолуцију мреже коју желимо.

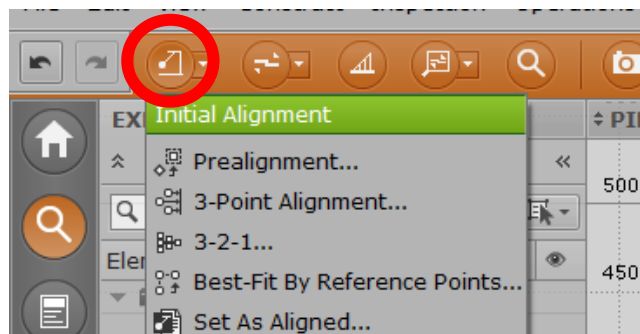
После потврђивања у дијалогу за увоз CAD модела, тај модел је сада увезен. Мрежа стварног-измереног модела је сада у **зеленој** боји, а мрежа номиналног-CAD модела је у **плавој** боји (слика 3.8.1.4).



Слика 3.8.1.4. – Мреже номиналног и стварног модела

3.8.2. Поравнање номиналног и стварног модела

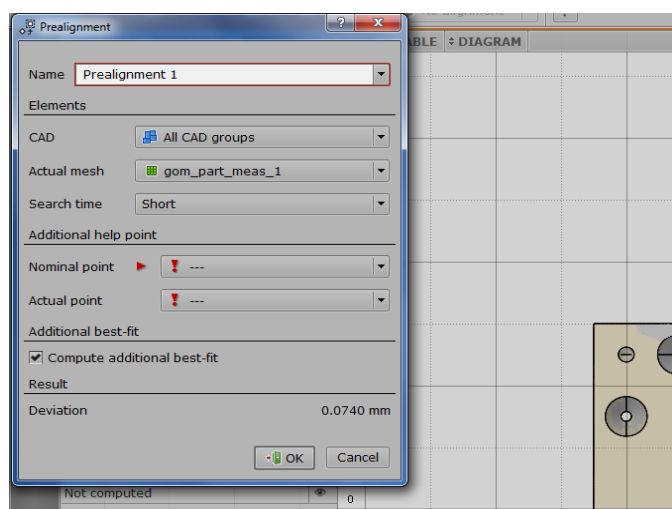
После увоза измереног и CAD модела, потребно је извршити њихово поравнање да би смо могли да их упоредимо. Да бисмо урадили ово, док се налазимо у радном простору за контролу морамо да кликнемо на наредбу направи поравнање (*Create Alignment*) у траци са алаткама (*Toolbar*). Овим отварамо падајући мени за прављење поравнања (слика 3.8.2.1), у којем бирамо како желимо да правимо поравнање.



Слика 3.8.2.1. – Падајући мени наредбе направи поравнање (*Create alignment*)

GOM Inspect нуди много различитих метода за поравнање, аутоматских и ручно дефинисаних. Поравнање поравнава оба скупа података, стварни и номинални, независно од почетног положаја унетог модела.

Можемо изабрати аутоматско поравнање које највише одговара, у дијалогу предпоравнања (*Prealignment...*) преко свих мерених тачака, штиклирајући функцију израчунај додатно најбоље поравнање (*Compute additional best-fit*) - слика 3.8.2.2.



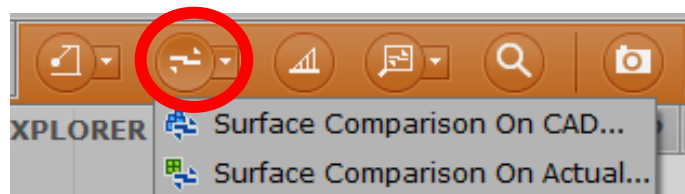
Слика 3.8.2.2. – Дијалог предпоравнања (*Prealignment...*) и опција израчунај додатно најбоље поравнање (*Compute additional best-fit*)

Претходни преглед поравнања се аутоматски приказује при активирању ове наредбе, где можемо видети да ли је поравнање добро или требамо да користимо још неке референтне тачке.

Пошто је поравнање добро, потврђујемо у дијалогу и спремни смо да поредимо ове две мреже.

3.8.3. Поређење површина

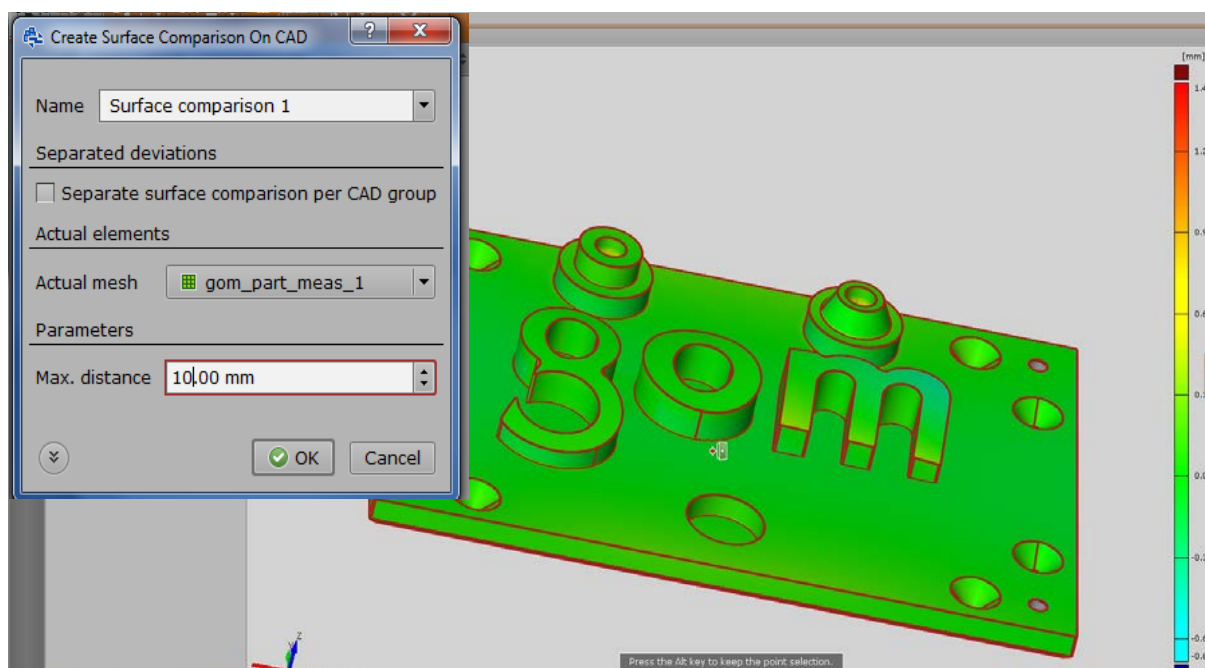
Пошто има много координата које се могу упоредити, GOM Inspect може приказати одступање стварног од номиналног модела кроз графички приказ одступања површина (*Surface Comparison*). Ова наредба се такође налази у главној траци са алаткама (*Toolbar*) - слика 3.8.3.1.



Слика 3.8.3.1. – Падајући мени наредбе поређења површина (*Surface Comparison*)

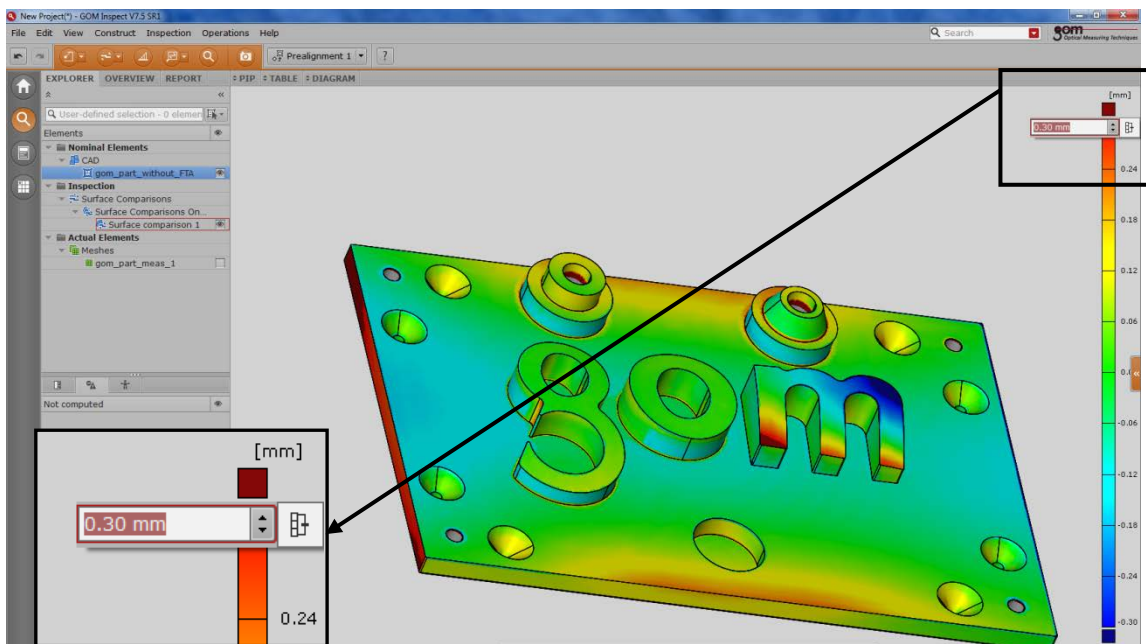
У падајућем менију који се појављује при употреби левог клика миша на ову наредбу (слика 3.8.3.1) бирамо да ли желимо да упоредимо површину стварног модела у односу на површину CAD модела (*Surface Comparison On CAD...*) или површину CAD модела у односу на површину стварног модела (*Surface Comparison On Actual...*). Бирамо прву опцију јер желимо да упоредимо површину стварног модела, односно измереног, са површином номиналног, односно CAD модела.

У дијалогу који се појављује (слика 3.8.3.2) морамо да подесимо вредност максималне раздаљине (*Max. Distance*), која означава вредност очекиваног одступања да би одржали кратко време прорачунавања одступања. Графички приказ сада приказује одступања бојама – **црвена** за материјал изнад површине CAD модела и **плава** за материјал испод површине CAD модела.



Слика 3.8.3.2. – Дијалог поређења површина између стварног и CAD модела (*Surface Comparison On CAD*)

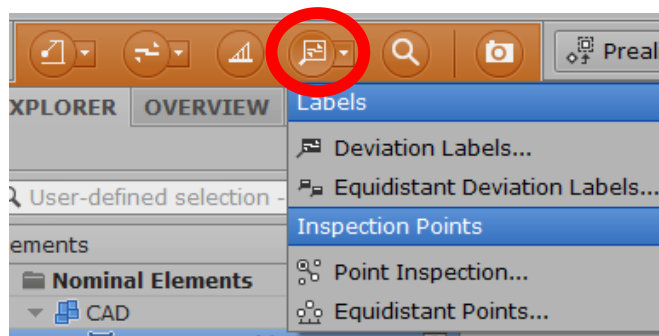
На слици 3.8.3.3 је приказана размера приказа одступања, коју можемо променити коришћењем брзог двоклика левог клика миша на бројку на врху размере, затим уносом крајње мере за горње одступање која се преноси симетрично и на доње одступање и потврђивањем уноса тастером Ентер. Приказ се мења у складу са размером приказа одступања од тренутка када је размера потврђена.



Слика 3.8.3.3. – Размера приказа одступања

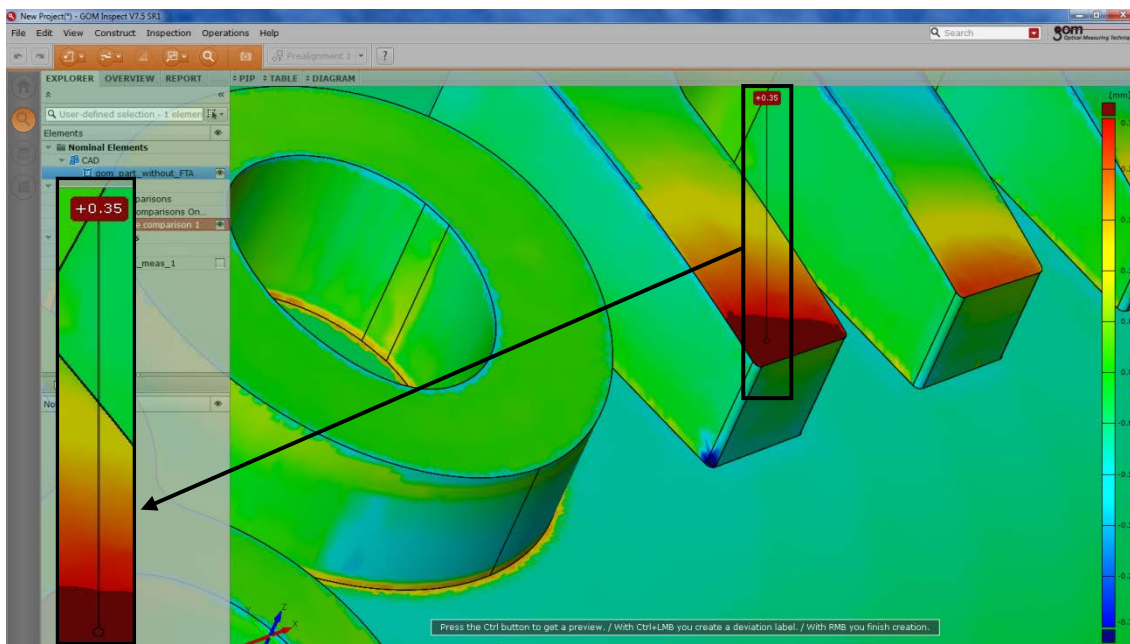
3.8.4. Постављање етикета одступања

Графички приказ сада приказује одступања стварног модела од CAD модела за целу површину. Сада је могуће приказати издвојена одступања за одабрана подручја. Наредба којом ово постижемо зове се етикета одступања (*Deviation Labels*). Ова наредба се налази такође у главној траци са алатима (*Toolbar*) - слика 3.8.4.1.



Слика 3.8.4.1. – Наредба за етикете одступања (*Deviation Labels*)

После активирање ове команде, курсор миша се претвара у крстић, који превлачењем преко различитих површина док држимо тастер Ctrl приказује одступања за циљану површину (слика 3.8.4.2).



Слика 3.8.4.2. – Постављање етикете одступања (*Deviation Label*)

Етикете постављамо левим кликом миша док држимо тастер Ctrl, а када смо завршили са постављањем етикета, потврђујемо са десним кликом миша и тиме завршавамо са овом командом.

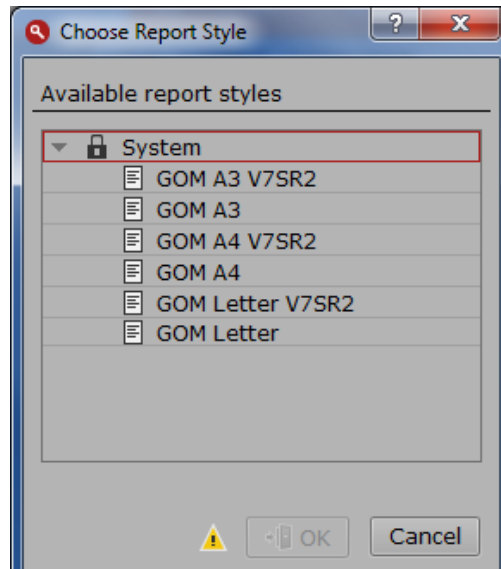
3.8.5. Документација резултата

Резултати овог мерења сада могу бити докуметовани страницом за извештај (*Report Page*). Да бисмо ово урадили морамо кликнути на наредбу која се налази у главној траци са алаткама (*Toolbar*) - слика 3.8.5.1, или користити комбинацију тастера CTRL+P.



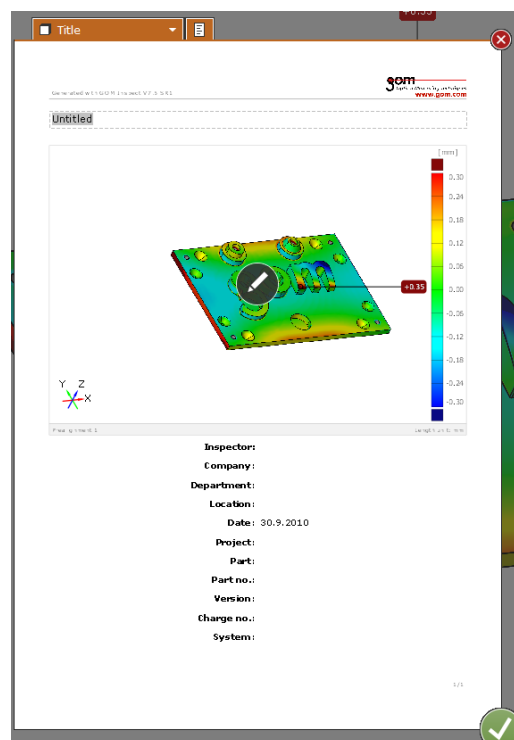
Слика 3.8.5.1. – Наредба за прављење странице за извештај (*Create Report Page*)

Ако први пут отварамо ову наредбу, GOM Inspect ће тражити формат странице за извештај (A3, A4 итд...слика 3.8.5.2).



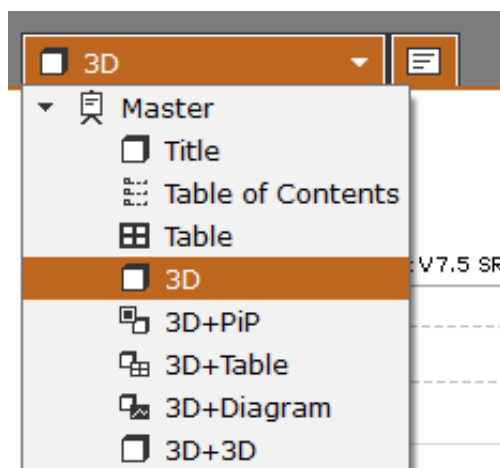
Слика 3.8.5.2. – Одабир формата странице за извештај (*Report Page*)

Када одаберемо жељени формат странице, нпр. GOM A4, отвара нам се преглед странице документације са моделом у њој у зависности од тога како смо окренули модел у 3D погледу када смо отворили наредбу за прављење странице за извештај (*Create Report Page*) - слика 3.8.5.3.



Слика 3.8.5.3. – Претходни преглед странице за извештај (*Report Page*)

Можемо пронаћи различите типове страница за извештај у падајућем менију (слика 3.8.5.4) где бирајући различите врсте страница за извештај добијамо различите претходне прегледе тих страница.

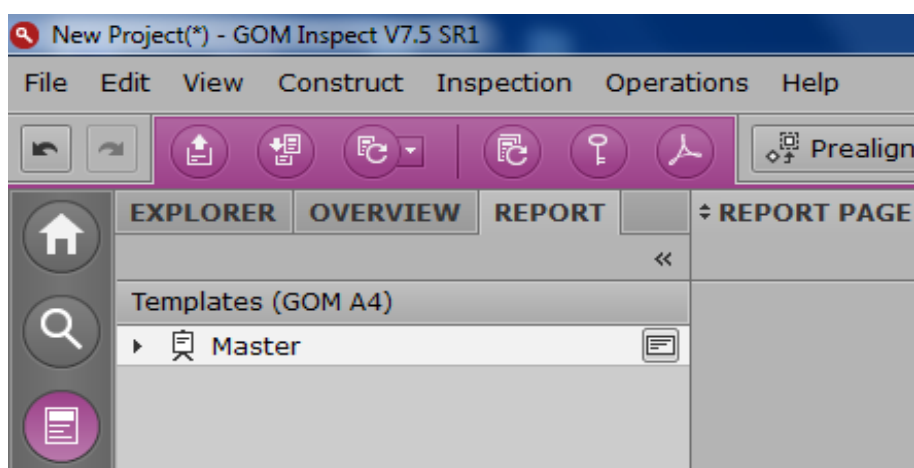


Слика 3.8.5.4. – Избор различитих стилова страница за извештај(*Report Page*) у падајућем менију

Левим кликом миша на наредбу која је поред падајућег менија (слика 3.8.5.4) бирамо између „Пејзаж“ односно положеног формата папира и „Портрет“ односно усправног формата папира. У било ком тренутку, ако нам се положај модела не свиђа, можемо променити поглед левим кликом на оловчицу која се налази у средини када превучемо миш преко модела.

Пошто је поглед подешен по нашој жељи, кликћемо на зелену штиклицу да бисмо потврдили.

Када смо потврдили то, одлазимо у радни простор са документацијом (*Report* - Слика 3.8.5.5).



Слика 3.8.5.5. – Радни простор са документацијом, таб извештај (*Report*)

Пошто се налазимо у радном простору извештаја можемо дефинисати кључне речи нашег пројекта са наредбом дефинисање кључних речи (*Define Project Keywords*) која се налази у главној траци са алаткама (*Toolbar*), која се променила сходно промени радног простора у ком се налазимо (Слика 3.8.5.6).



Слика 3.8.5.6. – Наредба дефинисања кључних речи пројекта (*Define Project Keywords*)

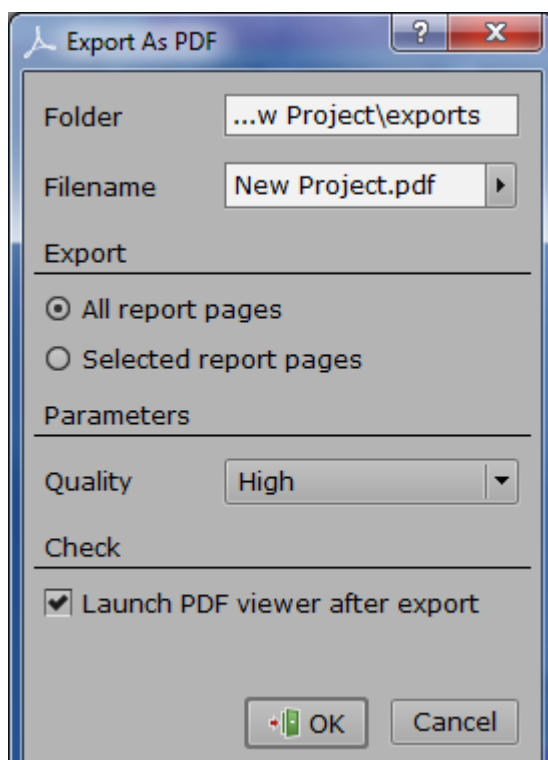
Сада видимо дијалог ове наредбе (слика 3.8.5.7)

Слика 3.8.5.7. – Дијалог наредбе дефинисања кључних речи пројекта (*Define Project Keywords*)

У овом дијалогу можемо променити кључне речи које дефинишу овај пројекат, односно податке о делу на којем је вршена контрола, податке о извршиоцу контроле итд. Ове кључне речи сада постоје у тренутним извештајима, као и у извештајима које ћемо убудуће правити. После њихове потврде, оне се аутоматски убацују у садашњи извештај.

3.8.6. Чување пројекта и извоз података

Пројекат може бити сачуван наредбом **File ► Save As...** док странице извештаја могу бити извезене у формату PDF помоћу наредбе која се налази скроз десно на главној траци са алаткама (*Toolbar*) или преко **File ► Export ► Report ► PDF**. После активирања ове наредбе отвара се њен дијалог (слика 3.8.6.1).



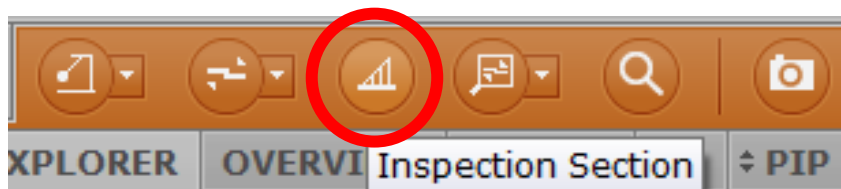
Слика 3.8.6.1. – Дијалог извоза извештаја у документ PDF формата (*Export As PDF*)

3.9. Пресек за контролу

Показаћемо: Прављење пресека за контролу, примена етикета одступања, подешавање видљивости у 3D погледу, коришћење пресечних равни и прегледних слика и документација.

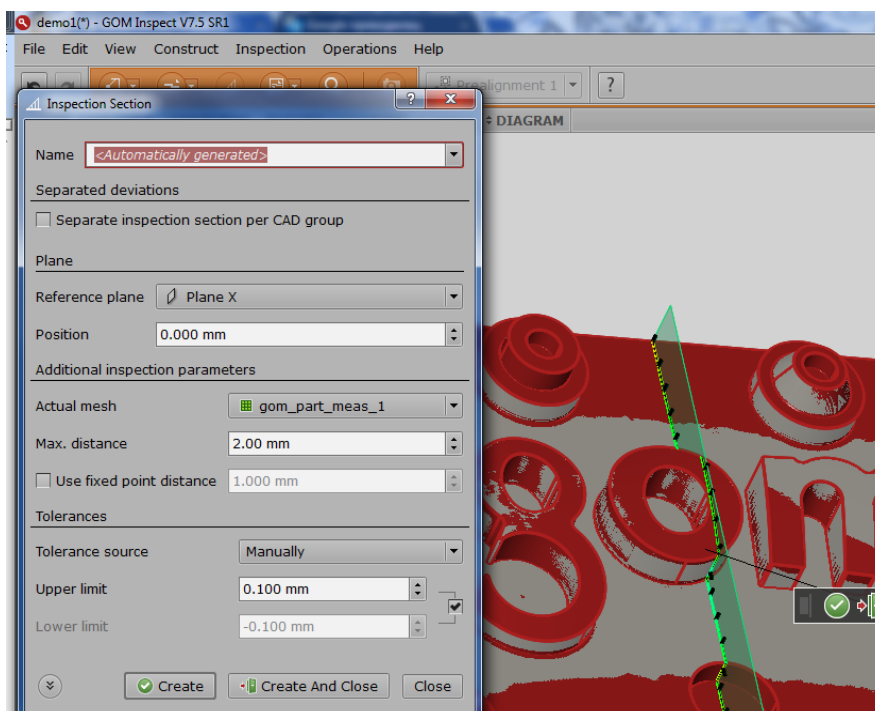
3.9.1. Прављење пресека за контролу

До сада смо научили да извршимо 3D графички приказ одступања целе површине али је такође могуће извршити поређење на основу равански паралелних пресека. Да бисмо ово урадили морамо да кликнемо на наредбу пресек за контролу (*Inspection Section*) која се налази у главној траци са алаткама (*Toolbar*) у радном простору за контролу (слика 3.9.1.1).



Слика 3.9.1.1. – Наредба пресек за контролу (*Inspection Section*)

На слици 3.9.1.2 видимо дијалог при отварању ове наредбе.



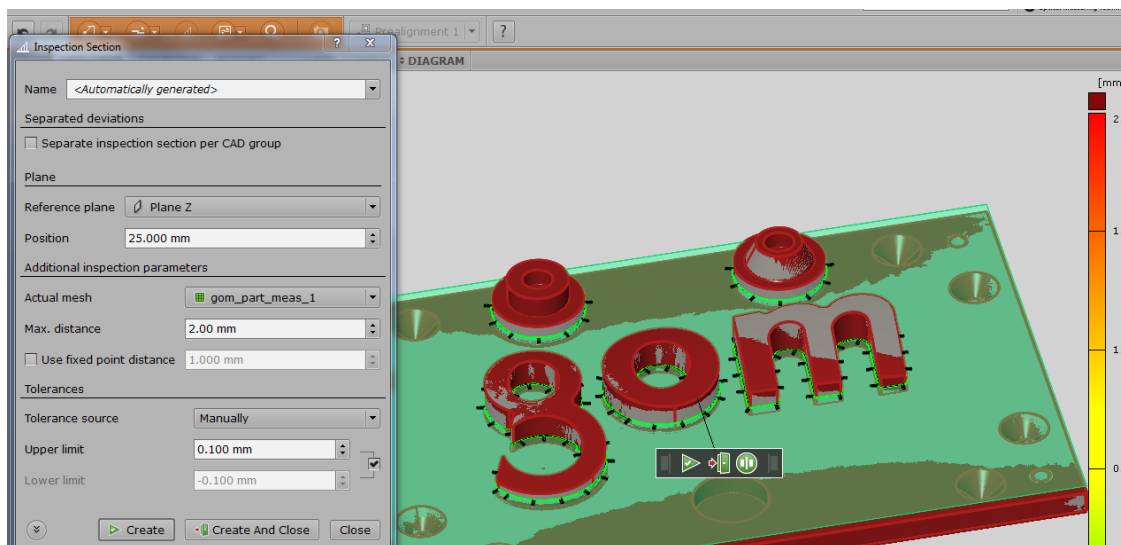
Слика 3.9.1.2. – Дијалог и претходни преглед наредбе пресека за контролу (*Inspection Section*)

У овом дијалогу можемо дефинисати назив пресека како ми желимо или ће га софтвер аутоматски направити.

Под опцијом референтне равни (*Reference plane*) у овом дијалогу, бирамо са којом равни желимо да наш пресек буде паралелан (Кориснички дефинисана раван, раван X, раван Y или раван Z).

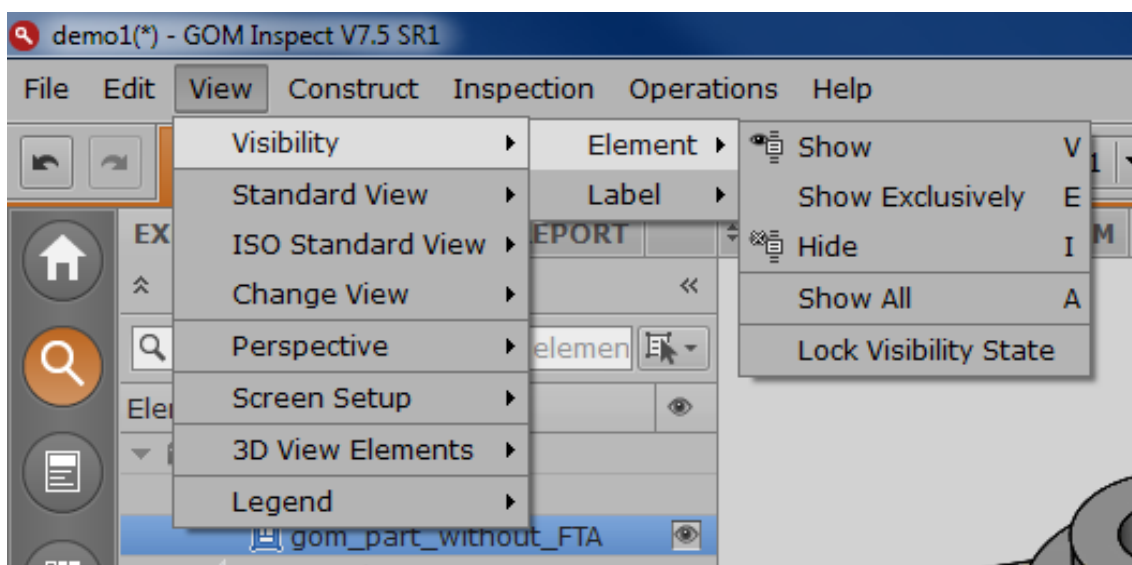
На слици 3.9.1.3. видимо да се променом подешавања пресека у дијалогу ове наредбе пресек помера у складу са подешавањима. Тако је положај (*Position*) удаљеност пресека од референтне равни (*Reference plane*) и променом ове величине у претходном прегледу 3D погледа видимо резултате.

Левим кликом миша на ову величину, а затим употребом точића миша можемо је мењати са кораком промене од по 1mm, комбинацијом тастера Ctrl и употребе точића миша – корак промене од по 0.1mm, а комбинацијом тастера Shift и употребе точића миша – корак промене од по 10mm. Такође, поново морамо подесити вредност максималне раздаљине (*Max. distance*).



Слика 3.9.1.3. – Подешавање пресечне равни (*Inspection section*)

Када смо завршили са подешавањима, креирамо пресек и остајемо у овом дијалогу за пресеке, ако желимо да правимо још пресека, са наредбом креирај (*Create*), а ако желимо да направимо пресек и завршимо са прављењем пресека, користимо наредбу креирај и затвори (*Create And Close*). Сада желимо да подесимо видљивост (*Visibility*) пресека у 3D погледу, а то можемо урадити наредбом коју налазимо под падајућим менијем *View* у главној траци са падајућим менијима (*Menu bar* - слика 3.9.1.4).

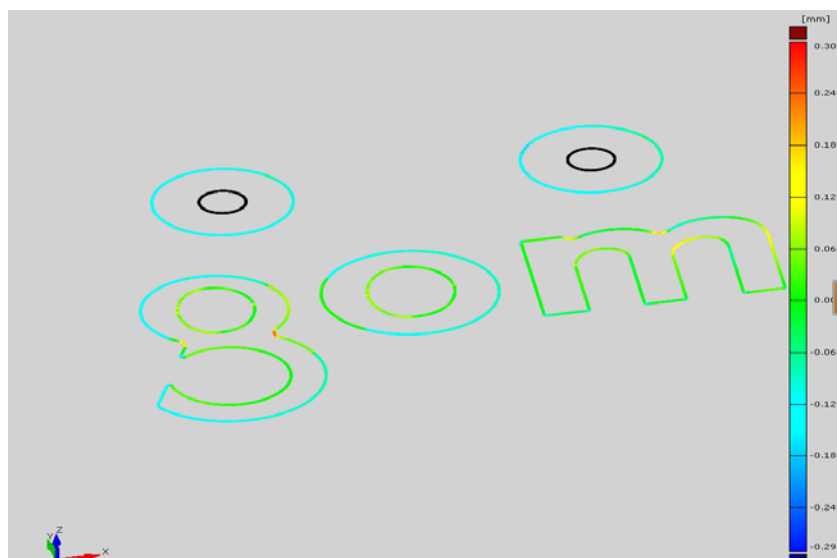


Слика 3.9.1.4. – Видљивост (*Visibility*) елемента

Као предуслов, елемент којем желимо да подесимо видљивост мора да буде селектован у претраживачу (*EXPLORER*). Под менијем **View ► Visibility ► Element** имамо опцију искључивог приказивања елемента (*Show Exclusively*) коју после селектовања пресека можемо активирати пречицом преко слова “E” на тастатури. Пречице су приказане на слици 3.9.1.4. где је опција прикажи (*Show*), опција прикажи само селектовано (*Show Exclusively*), опција сакриј

(Hide), опција прикажи све (Show All) и опција закључај стање видљивости (Lock Visibility State).

У случају пресека за контролу, има смисла приказати само засебно (Show Exclusively - слика 3.9.1.5).



Слика 3.9.1.5. – Засебни преглед селектованог пресека (Show Exclusively)

3.9.2. Примена етикета одступања

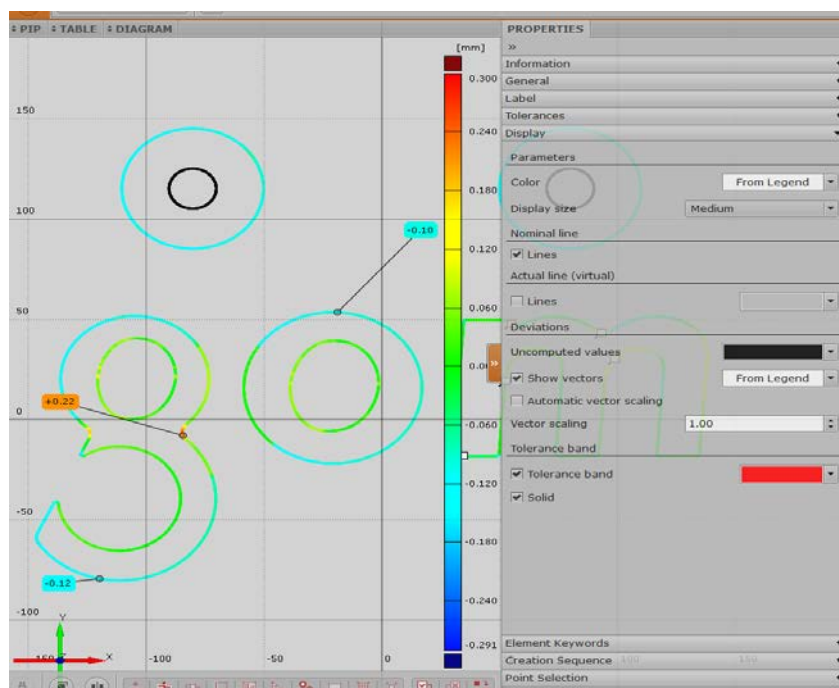
Као и у постављању етикета одступања (3.8.4) у једноставној контроли машинског дела (3.8), активирамо опцију креирања етикета одступања (Deviation labels - слика 3.8.4.1) жељену етикету исто као и пре постављамо левим кликом миша на жељено подручје, док држимо тастер Ctrl. Овај приказ је на слици 3.9.2.1. Завршавамо са постављањем етикета притиском на десни клик миша.



Слика 3.9.2.1. – Постављање етикета одступања (Deviation Labels) на пресек контроле (Inspection Section)

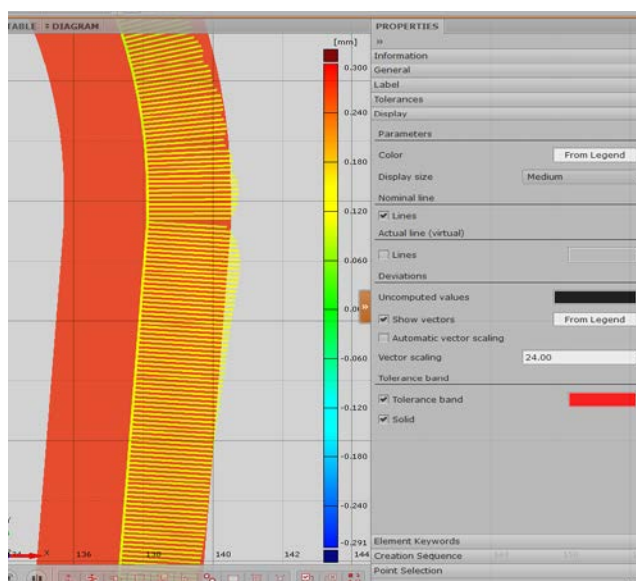
3.9.3. Подешавање видљивости у 3D погледу

Приказ пресека за контролу (*Inspection Section*) може бити промењен у приказ са векторима. У претраживачу (*EXPLORER*) прво селекујемо пресек за контролу (*Inspection Section*) по имену које смо му задали или по које му је софтвер дао, а затим отворимо прозор својстава (*Properties* - слика 3.1.6) , затим одлазимо под таб приказа (*Display*- слика 3.9.3.1).



Слика 3.9.3.1. – Својства (*Properties*) приказа пресека за контролу (*Inspection Section*) под табом приказа (*Display*)

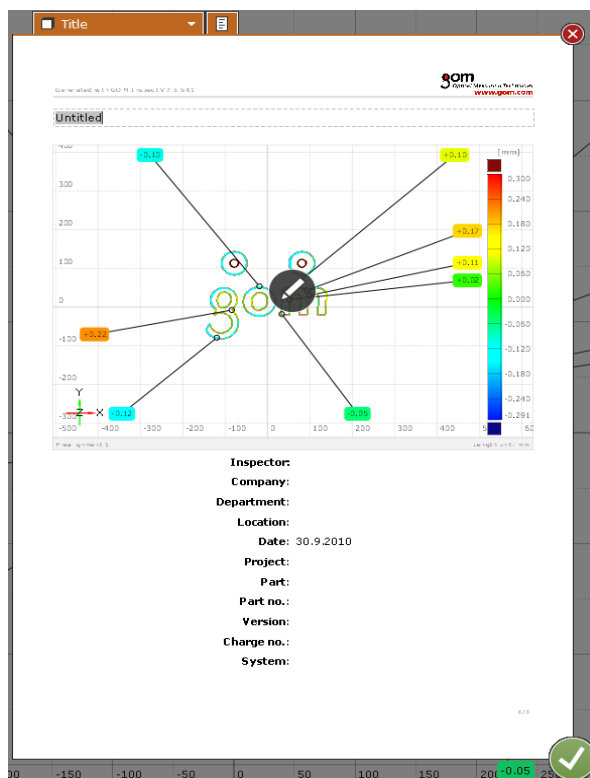
Када повећамо величину размере приказивања вектора (*Vector scaling*) и увећамо приказ у 3D погледу, видимо да се одступања сада приказују у виду вектора (слика 3.9.3.2).



Слика 3.9.3.2. – Приказ одступања у виду вектора

3.9.4. Документација

Сада ово можемо документовати наредбом за прављење странице за извештај (*Create Report Page* - слика 3.8.5.1), део 3.8.5. На слици 3.9.4.1 видимо дијалог где поново бирамо одговарајући тип документације (3.8.5).



Слика 3.9.4.1. – Документација издвојеног пресека за контролу (*Inspection Section*)

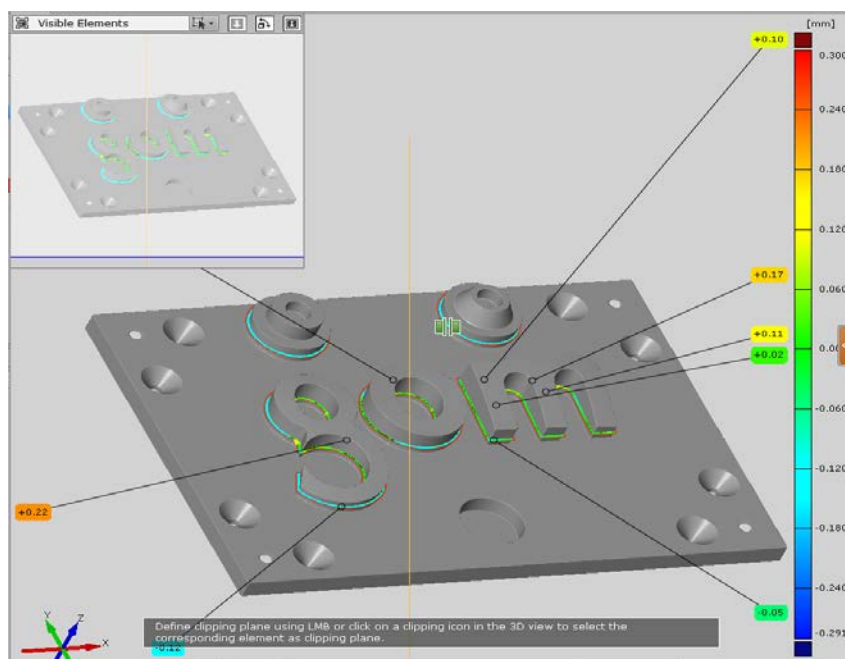
3.9.5. Коришћење пресечних равни

Могуће је коришћење пресечних равни да бисмо видели унутар модела или CAD мреже. Морамо да употребимо наредбу сечења уз помоћ равни (*Clipping At Plane*) која се налази у траци са алаткама (*Toolbar*) на дну 3D погледа (Слика 3.9.5.1).



Слика 3.9.5.1. – Наредба сечења уз помоћ равни (*Clipping At Plane*)

При активирању ове наредбе, можемо пресећи модел према тренутном погледу померањем линије пресека са померањем миша (слика 3.9.5.2) и потврдити односно пресећи модел левим кликом миша. Сада нам се појављује и поглед слике у слици (*Picture In Picture*).

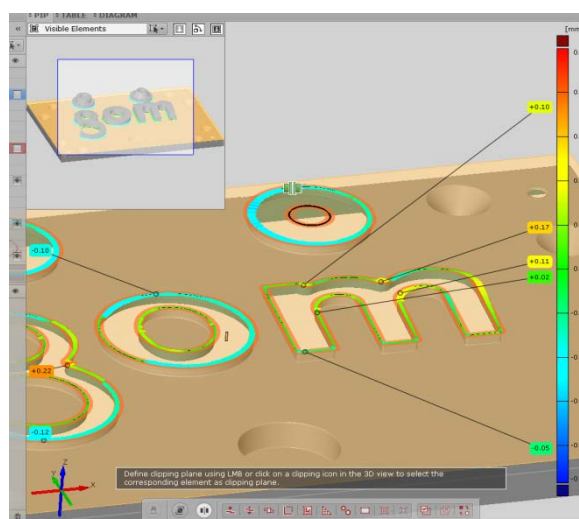


Слика 3.9.5.2. – Сечење уз помоћ равни (*Clipping At Plane*) и приказ слика у слици (*Picture In Picture*)

Превлачењем показивача миша преко иконице сечења елементом (*Clipping Icon* - Слика 3.9.5.3) можемо пресећи модел са пресеком за контролу (*Inspection Section*), само морамо да одлучимо на коју страну ћемо га пресећи превлачењем показивача миша на десну или леву страну иконице сечења елементом (*Clipping Icon*) - слика 3.9.5.4.

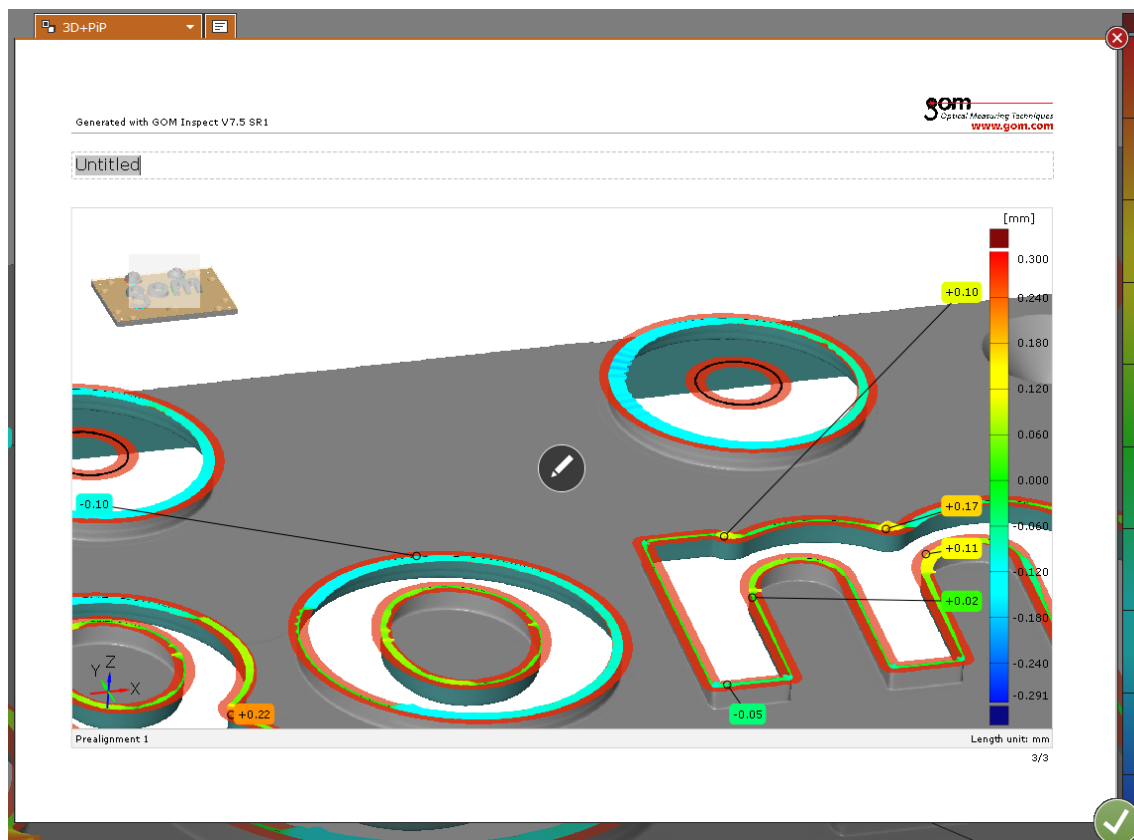


Слика 3.9.5.3. – Иконица сечења елементом (*Clipping Icon*)



Слика 3.9.5.4. – Сечење модела елементом

На слици 3.9.5.5 видимо да ако после потврђивања стране жељеног пресека левим кликом миша желимо да направимо страницу за извештај (*Create Report Page*), у дијалогу бисмо имали избор 3D погледа + слика у слици (*3D+PiP*).



Слика 3.9.5.5. – Документација 3D погледа + слика у слици (*3D+PiP*)

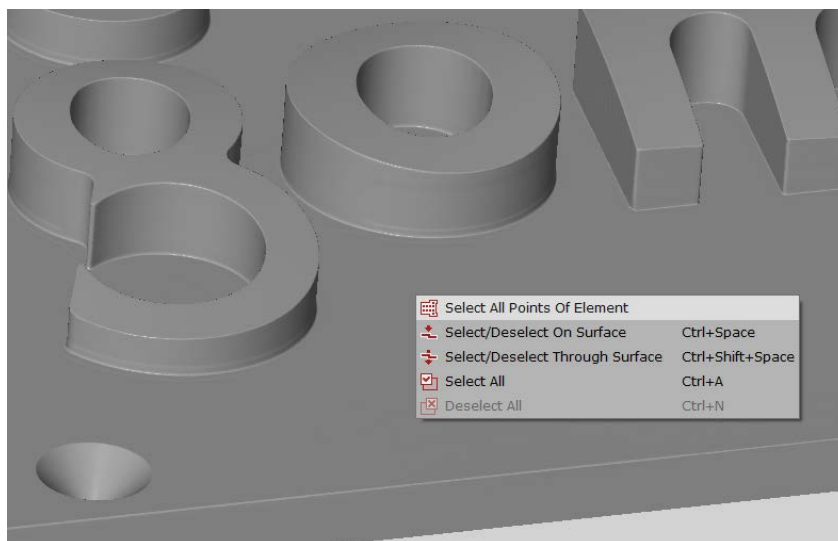
Слика у слици (*Picture In Picture*) приказује цео модел и на њему део погледа који је увећан, тако да се јасно може разазнати који се део модела налази у увећаном делу 3D погледа.

3.10. Додатна поравнања

Показаћемо: Селектовање у 3D погледу, додатно најбоље одговарајуће поравнање (*Best-fit Alignment*), повратак 3D погледа из страница извештаја (*Report Page*), писање преко постојећих страница извештаја (*Report Page*), ажурирање страница извештаја (*Report Page*) и копирање постојећих извештаја и писање преко копија.

3.10.1. Селектовање у 3D погледу

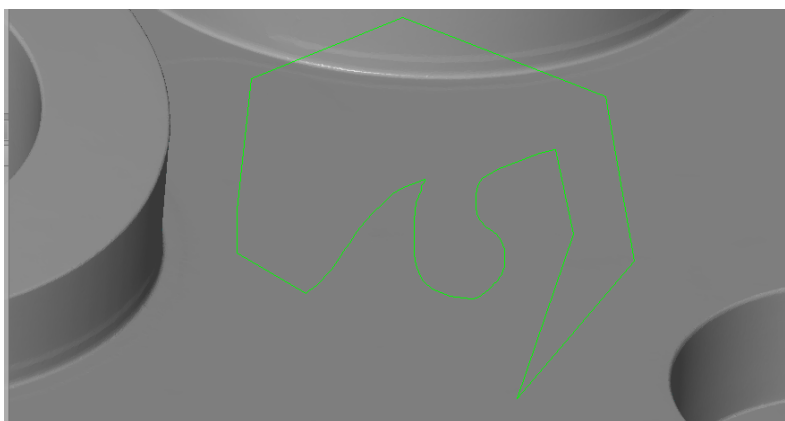
Најбоље одговарајуће поравнање (*Best-fit Alignment*) се базира на основу селекције на мрежи тако да се морамо посветити мало више селекцији у 3D погледу. Употребом десног клика миша на моделу у 3D погледу добијамо падајући мени са основним, најчешће коришћеним наредбама за селекцију (Слика 3.10.1.1.).



Слика 3.10.1.1. - Најчешће коришћене наредбе за селекцију које се појављују употребом десног клика миша

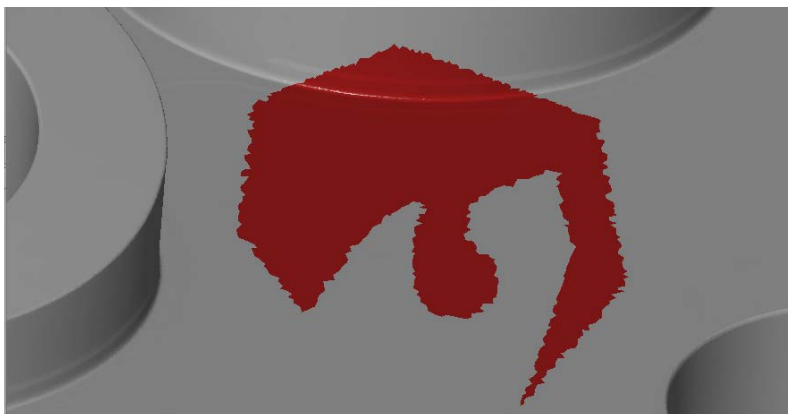
- Наредба селектуј све тачке елемента (*Select All Points Of Element*) са којом бирамо све тачке елемента са којим радимо
- Наредба селектуј или деселектуј одабрано на површини (*Select/Deselect On Surface*) са којом бирамо област која се налази на површини модела или поништавамо избор изабране области са површине модела
- Наредба селектуј или деселектуј кроз површину (*Select/Deselect Through Surface*) са којом бирамо или поништавамо избор области која сече кроз модел до краја обухватајући све тачке испод места одабира, у зависности од положаја модела у 3D погледу
- Наредба селектуј све (*Select All*) са којом бирамо све области модела
- Наредба деселектуј све (*Deselect All*) са којом поништавамо све изборе области и тачака

На слици 3.10.1.2 видимо да наредбом селектуј или деселектуј одабрано на површини (*Select/Deselect On Surface*) управљамо повлачењем левог клика миша да бисмо нацртали жељено подручје за селектовање или прављењем више тачака које аутоматски спаја права линија.



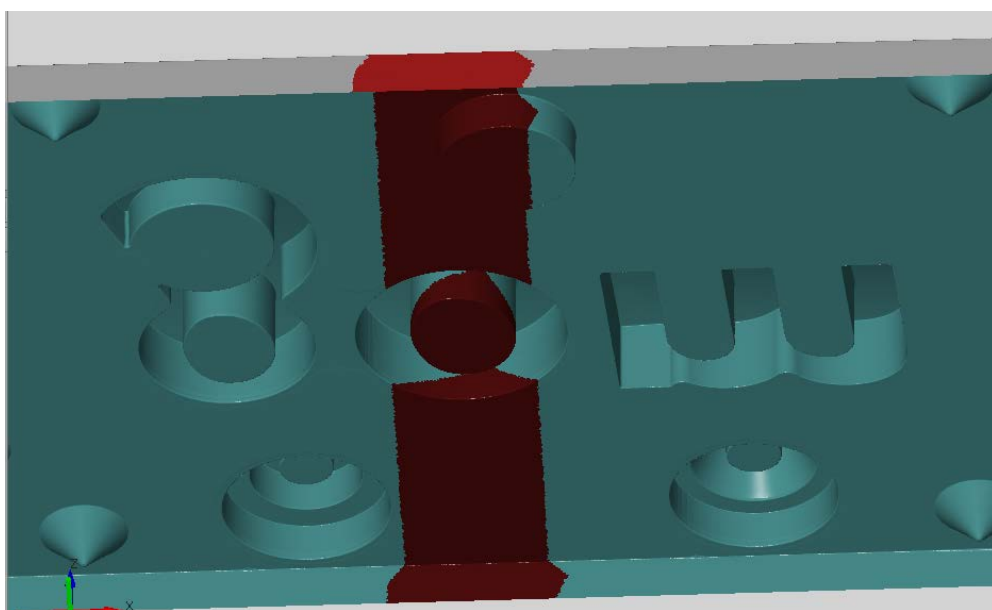
Слика 3.10.1.2. – Употреба наредбе селектуј или деселектуј одабрано на површини (*Select/Deselect On Surface*)

Ову наредбу завршавамо, односно селекујемо заокружену област потврђивањем са десним кликом миша, а сада је одабрана област обојена у црвено (слика 3.10.1.3).



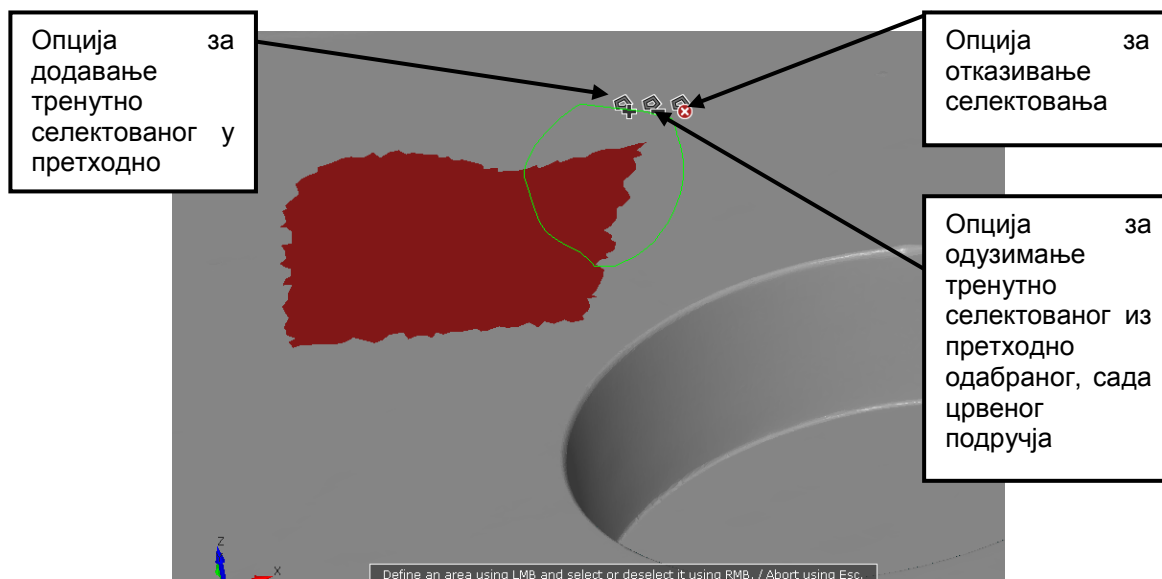
Слика 3.10.1.3. – Селекована област на површини модела

Наредбом селекуј или деселекуј кроз површину (*Select/Deselect Through Surface*) управљамо исто као са наредбом селекуј или деселекуј одабрано на површини (*Select/Deselect On Surface*), само што ће нам сада резултат бити селековање кроз целу површину до краја (слика 3.10.1.4).



Слика 3.10.1.4. – Употреба наредбе селекуј или деселекуј кроз површину (*Select/Deselect Through Surface*) - селекована област

На слици 3.10.1.4 видимо да селековањем области у 3D погледу са стране, „продиремо“ кроз цео модел до његове друге стране. Деселековање односно поништавање дела избора у обе наредбе можемо постићи покретањем истих наредби, селековањем жељеног подручја левим кликом миша, а затим држањем десног клика миша и превлачењем на жељену опцију у алатки која се појављује (Слика 3.10.1.5.).

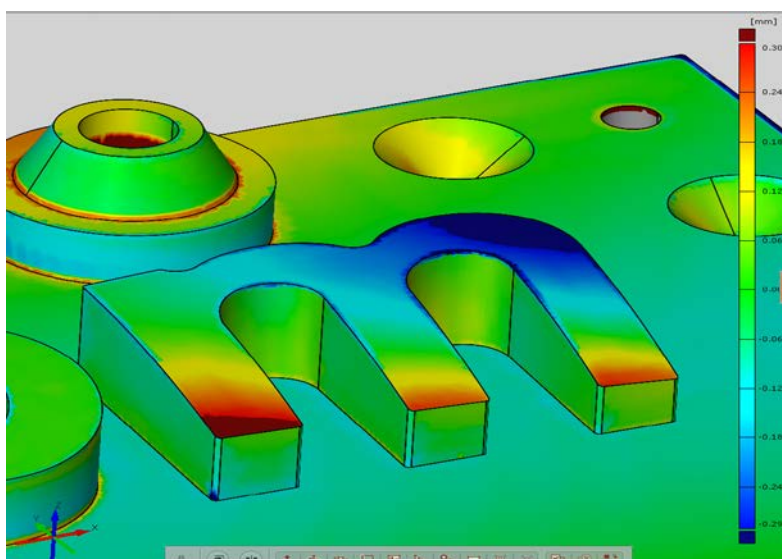


Слика 3.10.1.5. – Алатка за селектовање/деселектовање која се појављује држањем десног клика миша

Остале функције за селектовање се налазе под командом **Edit ► Selection in 3D ►** (3.7.1 - слика 3.7.1.3).

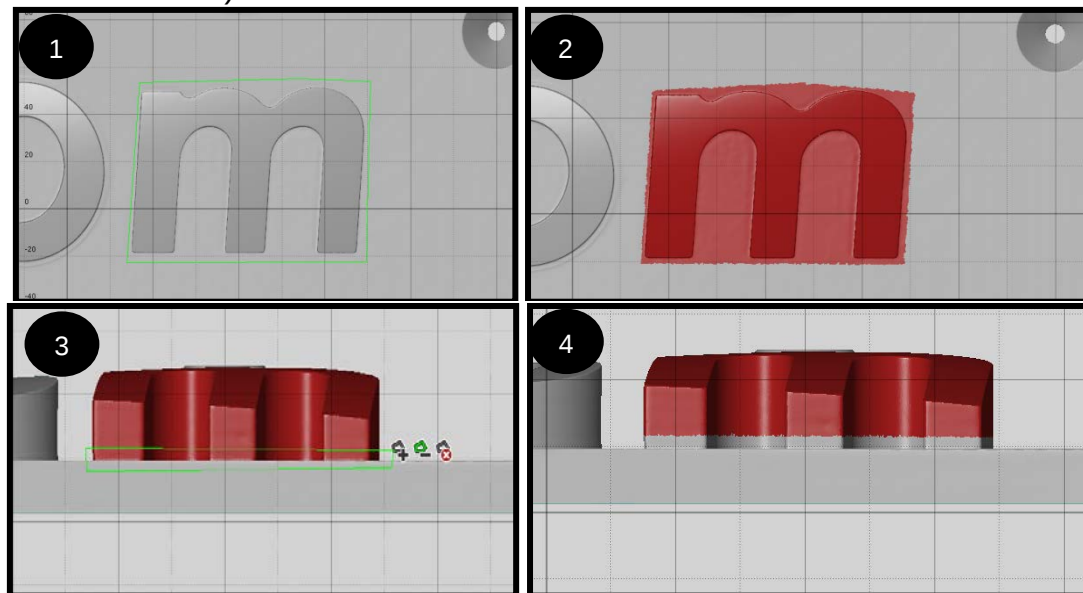
3.10.2. Додатно најбоље одговарајуће поравнање (*Best-fit Alignment*)

Поравнање (*Prealignment*) направљено у делу 3.8.2, слика 3.8.2.2. садржи у себи рачунарски израчунато додатно најбоље поравнање, међутим, ово поравнање је израчунато у односу на цео модел и све његове податке у мрежи. Додатна поравнања можемо направити због локалне контроле одређеног положаја. Оно што можемо запазити из претходног поравнања (*Prealignment*) и поређења површина (*Surface Comparison*) су одступања на слову „М“ (слици 3.10.2.1).



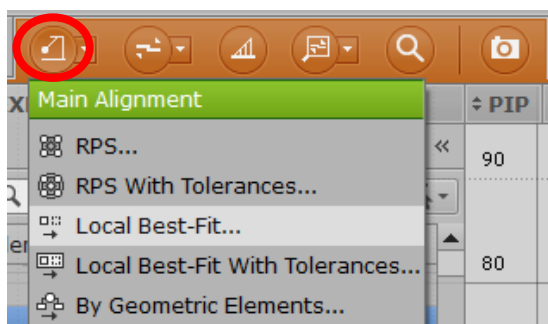
Слика 3.10.2.1. – Одступања на слову „М“

Слово „м“ је уклоњива компонента овог модела тако да можемо да посумњамо да није монтирано исправно, већ да је забијано. Ово сада можемо проверити са локалним поравнањем које највише одговара (*Local Best-Fit*). Искључујемо поглед поређења површина (*Surface Comparison*) у претраживачу (*EXPLORER*) и укључујемо видљивост само стварног односно номиналног модела, а затим селекујемо слово „м“ на моделу наредбом селекуј или деселекуј кроз површину (*Select/Deselect Through Surface*) поступцима од ❶ до ❷ (табела 3.10.2.2).



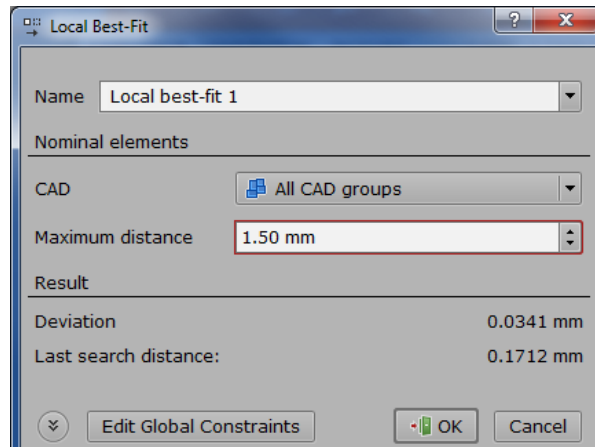
Табела 3.10.2.2. – Селектовање слова „м“ на моделу

Затим можемо активирати наредбу локалног поравнања које највише одговара (*Local Best-Fit*), а она се налази у главној траци са алаткама (*Toolbar*) под падајућим менијем нареди направи поравнање (*Create Alignment* - слика 3.10.2.3).



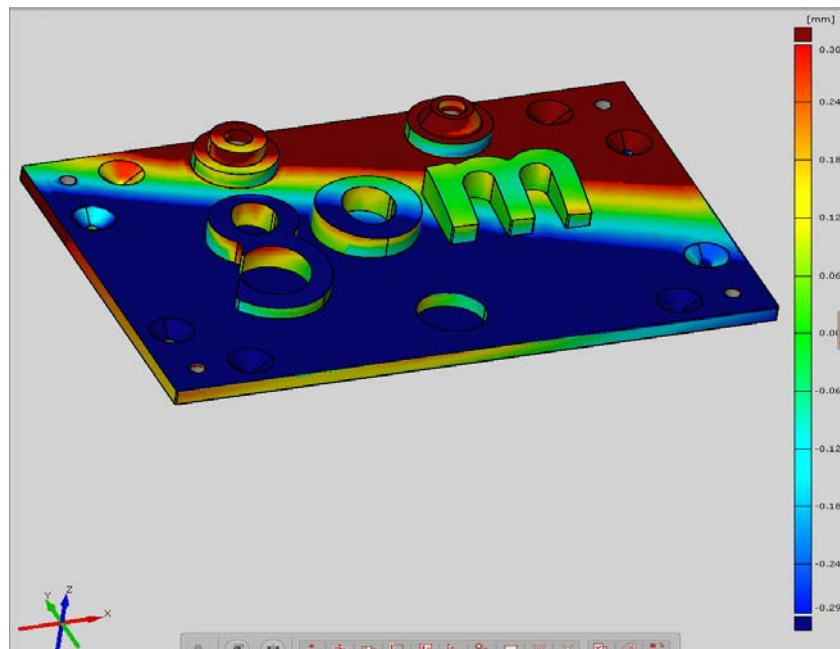
Слика 3.10.2.3. – Наредба локалног поравнања које највише одговара (*Local Best-Fit*)

И дијалогу који се отворио покретањем ове наредбе (Слика 3.10.2.4.) бирамо назив који желимо да задамо и такође морамо задати максимално растојање (*Maximum distance*) помоћу којег GOM Inspect тражи одговарајуће CAD податке.



Слика 3.10.2.4. – Дијалог наредбе локалног поравнања које највише одговара (*Local Best-Fit*)

Чим потврдимо ову наредбу, пројекат се прерачунава аутоматски.



Слика 3.10.2.5. – Поређење површина после наредбе локалног поравнања које највише одговара (*Local Best-Fit*)

На слици 3.10.2.5 након укључивања видљивости поређења површина (*Surface Comparisons*) у претраживачу (*EXPLORER*) видимо резултат поређења површина после ове наредбе.

Запажамо да су одступања на слову „м“ модела скоро нестала, што значи да је оно произведено исправно, односно са минималним одступањем и да је заиста забијано.

3.10.3. Повратак 3D погледа из страница извештаја (*Report Page*) и писање преко постојећих страница извештаја (*Report Page*)

Из страница извештаја у 3D радни простор за контролу (*Inspection Workspace*) да бисмо вршили одређене измене и корекције можемо се вратити врло просто

преко наредбе поврати 3D поглед из документације (*Restore 3D View From Report Page*) која се налази у главној траци са алаткама (*Toolbar*) у радном простору (*Workspace*) за извештаје (*Report* - слика 3.10.3.1).



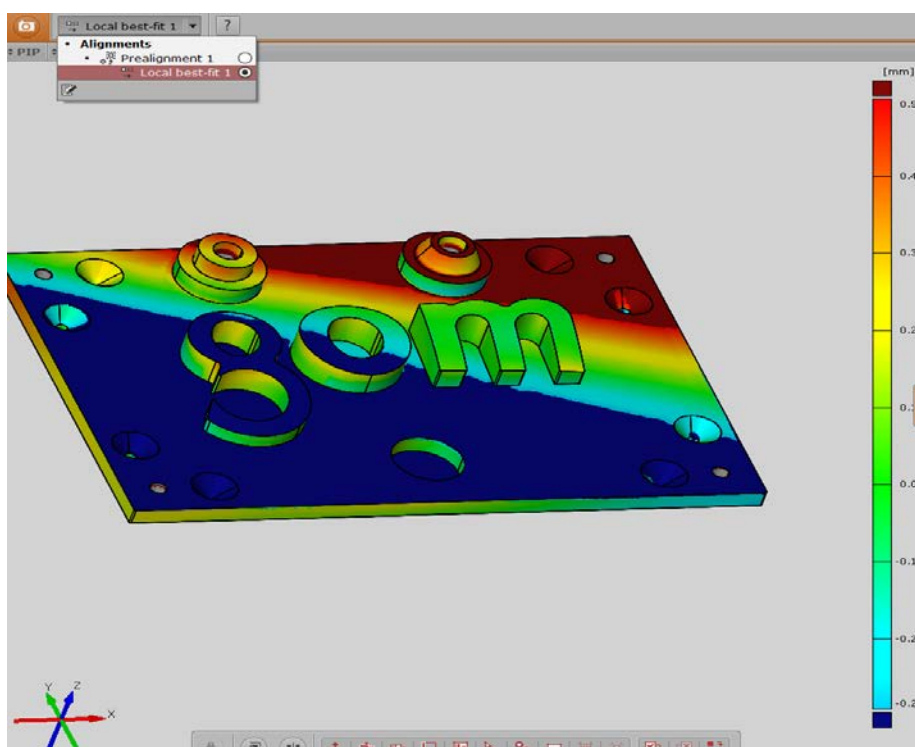
Слика 3.10.3.1. – Наредба повратка 3D погледа из документације (*Restore 3D View From Report Page*)

Када смо се вратили у радни простор за контролу (*Inspection Workspace*) можемо променити размену приказа одступања (3.8.3., слика 3.8.3.3) на пример на вредност 0,5mm. Сада се враћамо у радни простор (*Workspace*) за извештаје (*Report*).

Сада активирамо наредбу писања преко постојеће странице извештаја (*Overwrite Report Page*) која се такође налази у главној траци са алаткама (*Toolbar*) у радном простору (*Workspace*) за извештаје (*Report*), слика 3.10.3.1, у овом случају друга по реду са леве стране. Овом наредбом смо сачували тренутни извештај преко постојећег.

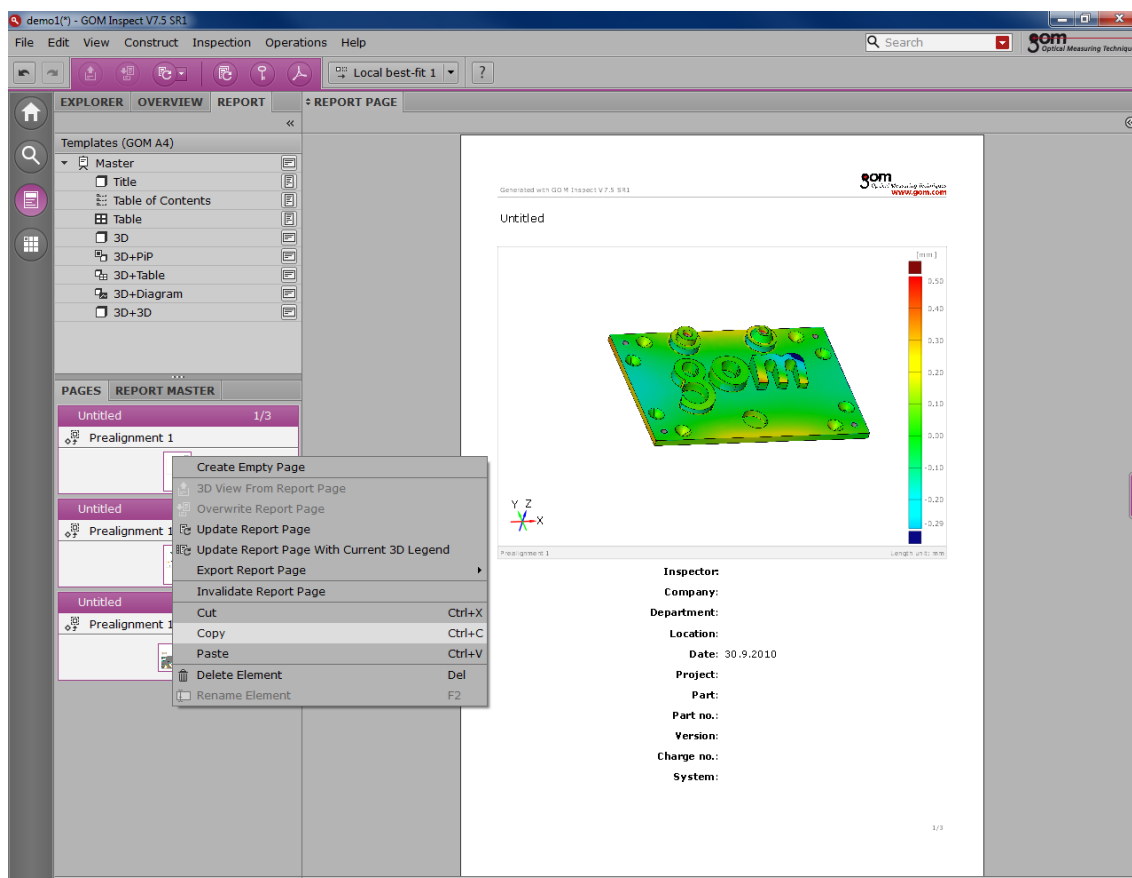
3.10.4. Ажурирање страница извештаја (*Report Page*), копирање постојећих извештаја и писање преко копија

За ове опције морамо да променимо избор нашег поравнања из направљеног претходног поравнања (*Prealignment*) у локално поравнање које највише одговара (*Local Best-Fit* - слика 3.10.4.1).



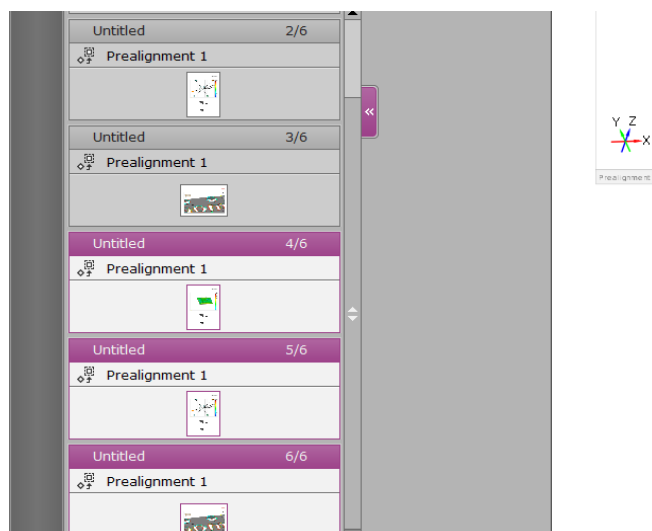
Слика 3.10.4.1. – Избор поравнања

Сада ћемо селектовати странице извештаја држањем тастера Ctrl, а затим левим кликом на сваки извештај појединачно, а затим копирати наше странице извештаја преко опције копирања (*Copy*) и налепљивања (*Paste*) која се појављује притиском десног клика миша (слика 3.10.4.2). Наши извештаји на овај начин могу бити копирани и те копије можемо испунити са подацима нашег новог поравнања.



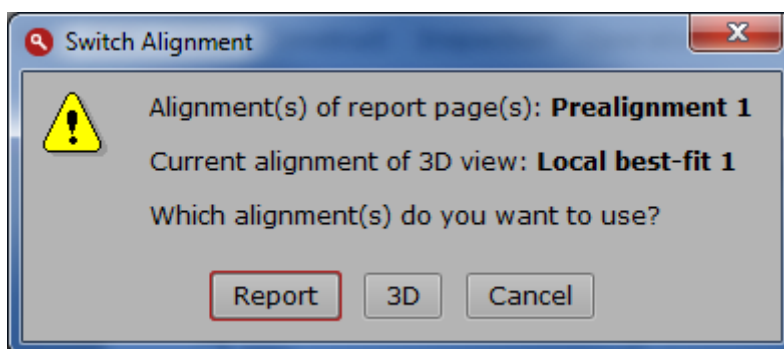
Слика 3.10.4.2. – Опција копирања извештаја (*Copy*)

Пошто смо кликнули на наредбу копирања (*Copy*), на исте извештаје поново употребимо десни клик миша, а затим наредбу налепи (*Paste*). Сада нас софтвер пита да ли желимо да стави извештаје пре постојећих (*Before*) или после (*After*). Бирамо на пример после и добијамо три нове копије постојећих извештаја (слика 3.10.4.3).



Слика 3.10.4.3. – Копије извештаја после наредбе налепи (Paste)

Сада ћемо ажурирати копиране извештаје са наредбом ажурирај изабране странице извештаја (*Update Selected Report Pages*) која се такође налази у главној у главној траци са алаткама (*Toolbar*) у радном простору (*Workspace*) за извештаје (*Report* - слика 3.10.3.1), у овом случају трећа по реду са леве стране.



Слика 3.10.4.4. – Дијалог наредбе ажурирај изабране странице извештаја (*Update Selected Report Pages*)

Софтвер сада аутоматски препознаје које поравнање је на селектованим страницама извештаја, а које је тренутно у 3D погледу и пита нас које поравнање желимо да користимо. Ми наравно у овом случају користимо поравнање из 3D погледа јер желимо да нам копије извештаја сада буду испуњене са подацима овог поравнања.

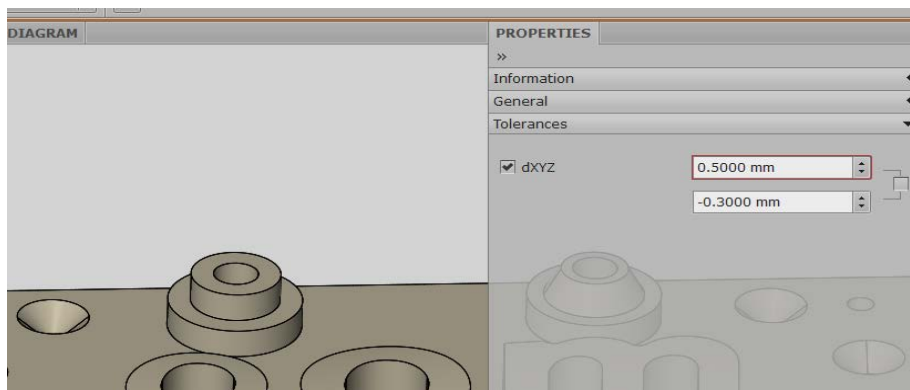
Сада имамо копије извештаја али са другачијим садржајем.

3.11. Толеранције и поравнање преко референтних тачака

Показаћемо: Подешавања толеранције на CAD моделу, подешавања толеранције на делићима CAD модела, прављење извештаја са приказом толеранција, конструкција номиналних тачака, примена мерних принципа и поравнање преко референтних тачака.

3.11.1. Подешавања толеранција на CAD моделу

Толеранције можемо користити на сваком елементу чију контролу вршимо. Ми ћемо у овом делу применити толеранције на CAD моделу. Прво ћемо применити толеранције глобално, односно на цео CAD модел. Селектујемо CAD модел у претраживачу (*EXPLORER*) или у 3D погледу, а затим отварамо његова својства (*Properties* - 3) поглављу и селектујемо таб са толеранцијама (*Tolerances* - слика 3.11.1.1).

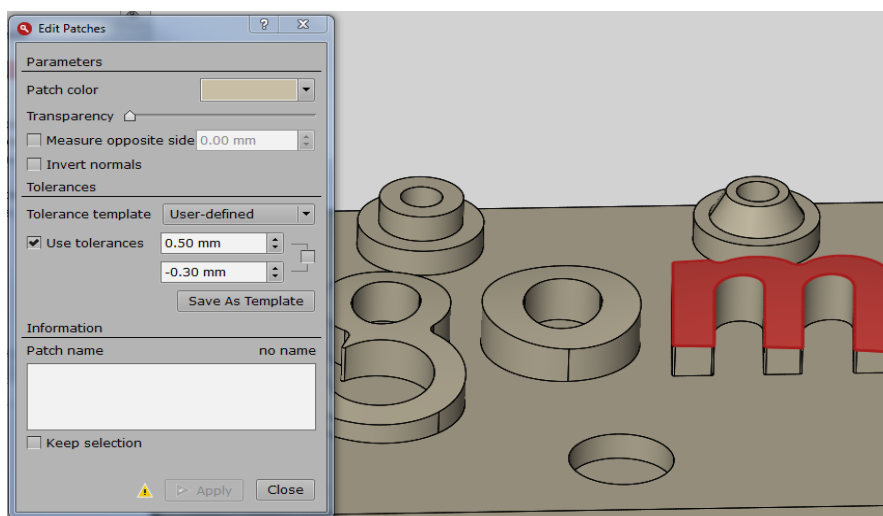


Слика 3.11.1.1. – Својства (*Properties*) и таб толеранције (*Tolerances*) CAD модела

Под овим табом штиклирамо опцију dXYZ и подешавамо симетрично доњу и горњу толеранцију штиклирањем опције на вези између њих или асиметрично искључивањем ове опције. Толеранције су сада примењене на све делиће CAD модела. Затварамо прозор својстава (*Properties*) - поглавље 3.

3.11.2. Подешавања толеранције на делићима CAD модела

У многим случајевима, CAD модел нема општу толеранцију. У овим случајевима можемо поставити индивидуалне толеранције за сваки делић CAD модела. Наредбу уређивање делића (*Edit Patches*) можемо пронаћи у падајућим менијима под **Operations ► CAD ► Edit Patches** , а отварањем те наредбе добијамо њен дијалог (слика 3.11.2.1).

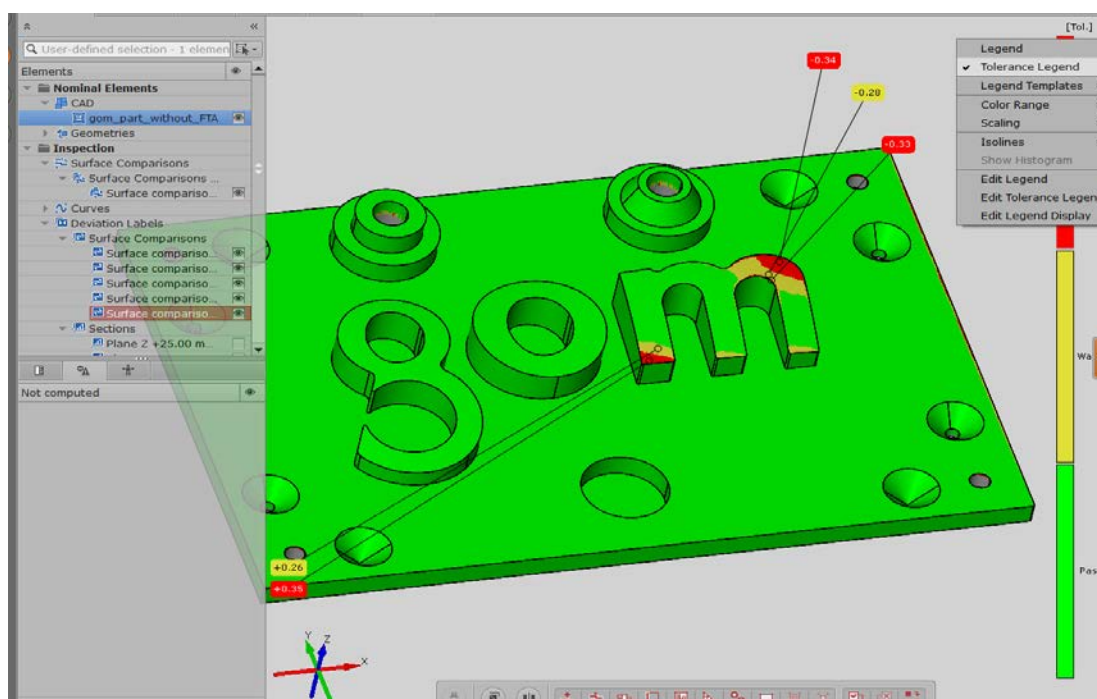


Слика 3.11.2.1. – Употреба наредбе уређивање делића (*Edit Patches*)

По отварању овог дијалога, потребно је да комбинацијом тастера Ctrl и левог клика миша одаберемо делић за који желимо посебно да подесимо толеранције. На слици 3.11.2.1, имамо пример где је селектован горњи део слова “m”. Овде подешавамо горњу и доњу толеранцију (3.11.1), у овом случају за делић CAD модела, а не за цео. Такође, могуће је селектовати више делића држањем тастера Ctrl и кликтањем левим кликом миша на жељене делиће, у том случају подешавања толеранције важе за све селектоване делиће. Када подесимо толеранције које желимо да користимо (*Use Tolerances*) потврђујемо са опцијом примени (*Apply*) и затварамо тај дијалог.

3.11.3. Прављење извештаја са приказом толеранција

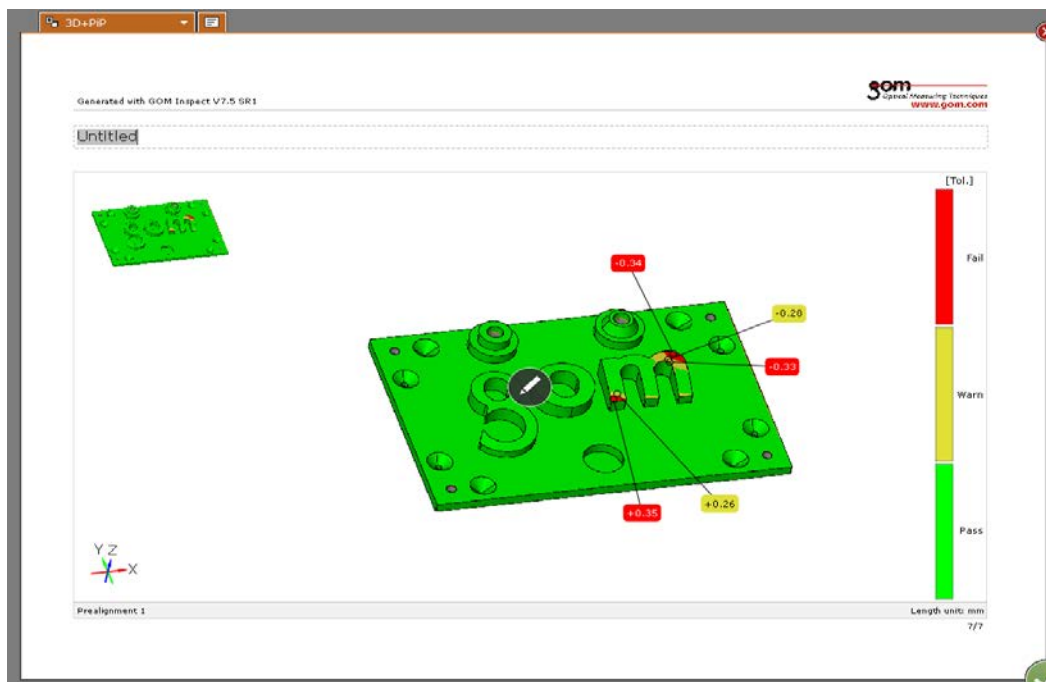
Пошто смо подесили толеранције, укључујемо поглед поређења површина (*Surface Comparison*) у претраживачу (*EXPLORER*), бирамо предпоравнање (*Prealignment*) које смо направили у делу 3.8.2. и десним тастером миша на графички приказ одступања бирамо приказ толеранција (*Tolerance Legend* слика 3.11.3.1).



Слика 3.11.3.1. – Графички приказ одступања преко толеранција (*Tolerance Legend*)

Када смо укључили овај графички приказ, видимо да је приказ одступања у зеленој боји унутар граница толеранција које смо одабрали, у жутој упозоравајуће вредности, а у црвеној боји опасно одступање изван граница толеранције.

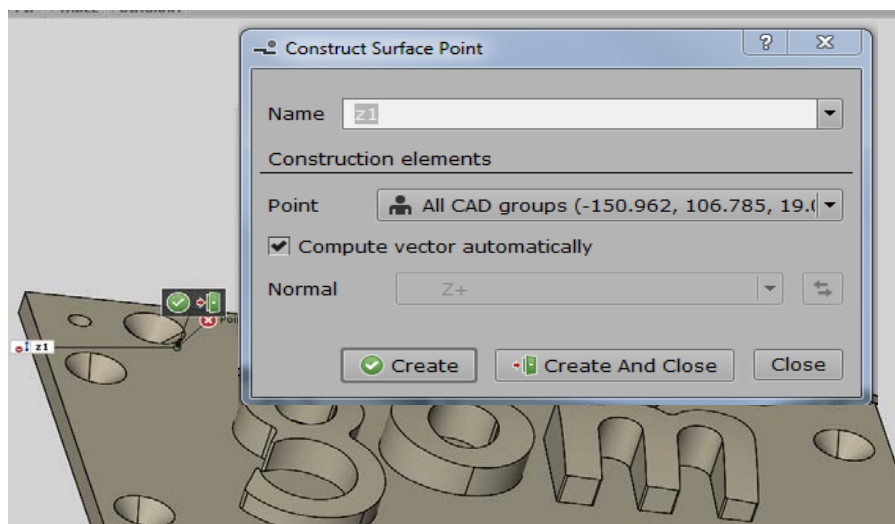
Сада ово можемо документовати (3.8.5), наредбом за прављење странице за извештај (*Create Report Page*). Резултате документовања видимо на слици 3.11.3.2.



Slika 3.11.3.2. – Резултати документовања после графичkog приказа одступања преко толеранција (*Tolerance Legend*)

3.11.4. Конструкција номиналних тачака

Конструкција номиналних тачака је могућа преко наредбе површинска тачка (*Surface Point*) које се налази под падајућим менијем **Construct ►Point ►Surface Point**. Дијалог који нам се отвара после покретања ове наредбе је на слици 3.11.4.1.



Slika 3.11.4.1. – Прављење површинске тачке (*Surface Point*)

По отварању дијалога прављења површинске тачке (*Surface Point*) можемо комбинацијом тастера Ctrl и левог клика миша направити жељену тачку, а притом штиклирати функцију аутоматског прорачунавања вектора (*Compute vector automatically*) да би нам софтвер аутоматски прорачунао вектор за направљену тачку. Када смо поставили тачку на жељено место, потврђујемо

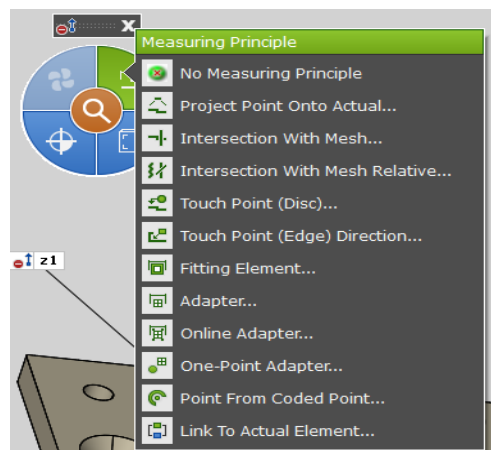
њено прављење штиклицом која се појављује при њеном постављању или наредбом направи (*Create*) у дијалогу.

При прављењу тачака, можемо дефинисати и њихов назив, да бисмо после лакше препознали различите тачке.

GOM Inspect аутоматски категоризује направљене тачке као номиналне, јер су направљене на номиналном – CAD моделу.

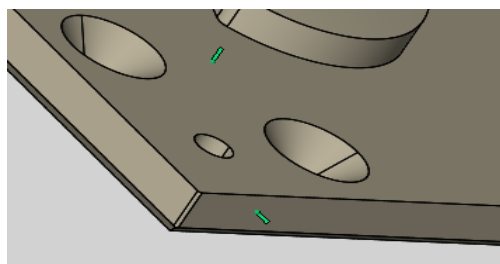
3.11.5. Примена мерних принципа

Мерни принципи су метод прављења стварних елемената на основу номиналних елемената. Са тим, сваки направљени стварни елемент је повезан са номиналним елементом. До ове наредбе долазимо преко наредбе интелигентне инспекције (*I-Inspect*) која се налази у главној траци са алаткама (*Toolbar*) и добијамо избор жељених наредби, где левим кликом миша бирамо наредбу мерних принципа (*Measuring Principle* - слика 3.11.5.1).



Слика 3.11.5.1. – Избор мерног принципа (*Measuring Principle*)

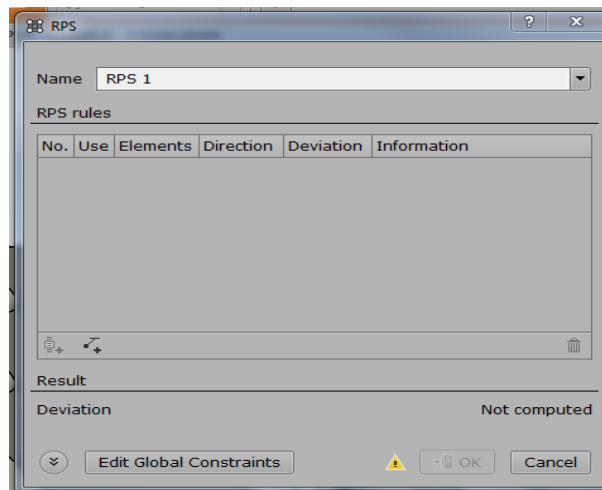
Наредба интелигентне инспекције (*I-Inspect*) је решење у једном клику миша за спровођење корисника кроз процес контроле. У зависности од изабраног елемента у претраживачу (*EXPLORER*) GOM Inspect нуди различите мерне принципе и друге кораке за евалуацију модела. Због овога, бирамо претходно направљену групу номиналних тачака. Наше направљене RPS тачке захтевају пресек са стварном мрежом, зато отварамо наредбу пресек са мрежом (*Intersection With Mesh*). У дијалогу који се појавио потврђујемо са „OK“. Оно што се сада десило је да су стварне тачке на површини направљене аутоматски и видимо да су се појавиле у претраживачу (*EXPLORER*) на слици 3.11.5.2. Сада имамо све што је потребно да би извршили поравнање преко референтних тачака (RPS тачака).



Слика 3.11.5.2. – Приказ направљених тачака на стварном моделу

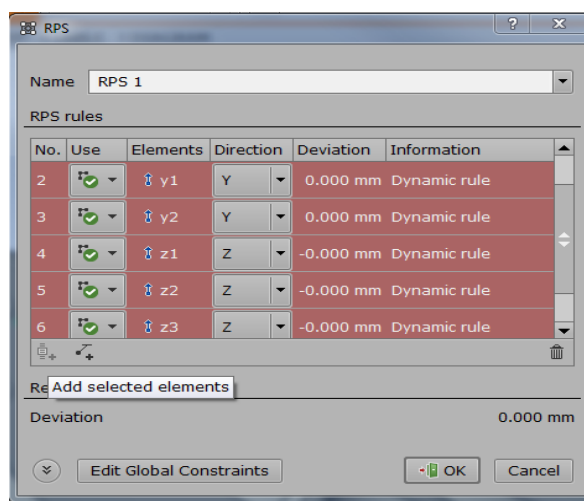
3.11.6. Поравнање преко референтних тачака

Поново користимо наредбу прављења поравнања (*Create Alignment*) која се налази у главној траци са алаткама (*Toolbar*), само што у овом случају бирамо наредбу поравнања преко референтних тачака (*RPS* - слика 3.11.6.1).



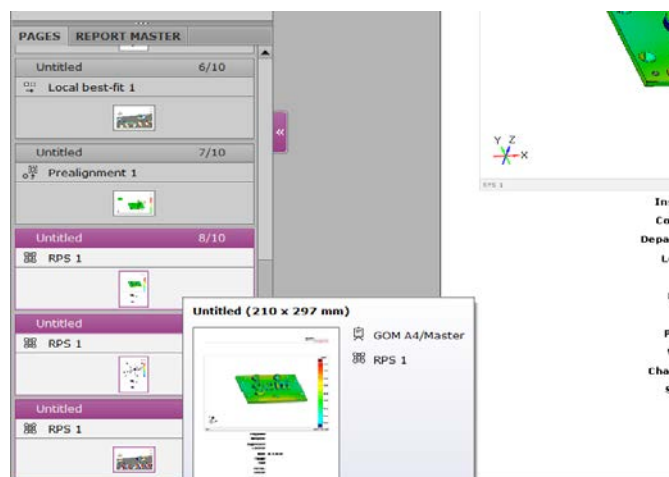
Слика 3.11.6.1. – Дијалог наредбе поравнања преко референтних тачака (RPS)

Сада морамо да селекујемо номиналне тачке у претраживачу (*EXPLORER*). Ове тачке сада додајемо преко опције додај селековане елементе (*Add selected elements* - слика 3.11.6.2).



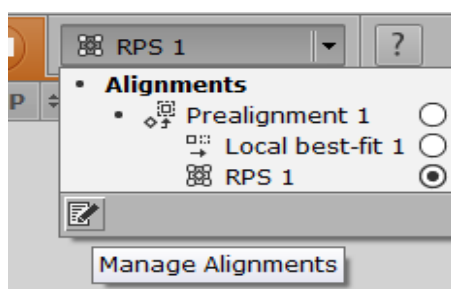
Слика 3.11.6.2. – Номиналне тачке додате опцијом додај селековане елементе (*Add selected elements*)

Сада морамо да подесимо ефективни смер бирањем одговарајућих оса у зависности од постављених тачака, под колоном смер (*Direction*), међутим, због постављања назива тачака са ознаком оса, GOM Inspect је то сам урадио. Потврдом на „ОК“ поравнање преко референтних тачака је завршено. Сада такође можемо копирати и ажурирати нашу документацију (3.8.5) и резултати су на слици 3.11.6.3.



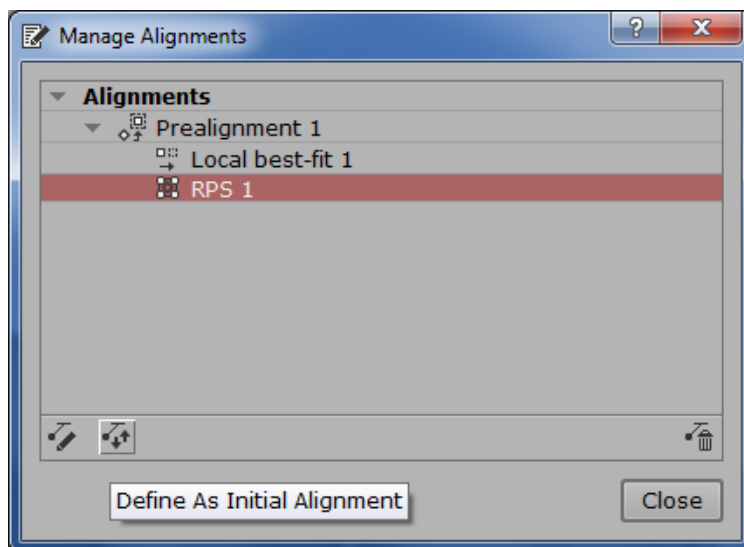
Слика 3.11.6.3. – Ажурирање и копирање документације после налегања преко референтних тачака (RPS)

Сада смо направили три поравнања у једном пројекту. Сва налегања зависе од првог налегања које смо направили, а зависност налегања можемо променити преко наредбе управљања налегањима (*Manage Alignments*) – слика 3.11.6.4.



Слика 3.11.6.4. – Наредба управљања налегањима (*Manage Alignments*)

У дијалогу који се отвори покретањем ове наредбе можемо дефинисати било које селековано поравнање као почетно (*Define As Initial Alignment*) – слика 3.11.6.5, или преуредити селековано поравнање (*Edit Alignment*).



Слика 3.11.6.5. – Дијалог наредбе управљања налегањима (*Manage Alignments*)

3.12. Контрола на основу цртежа

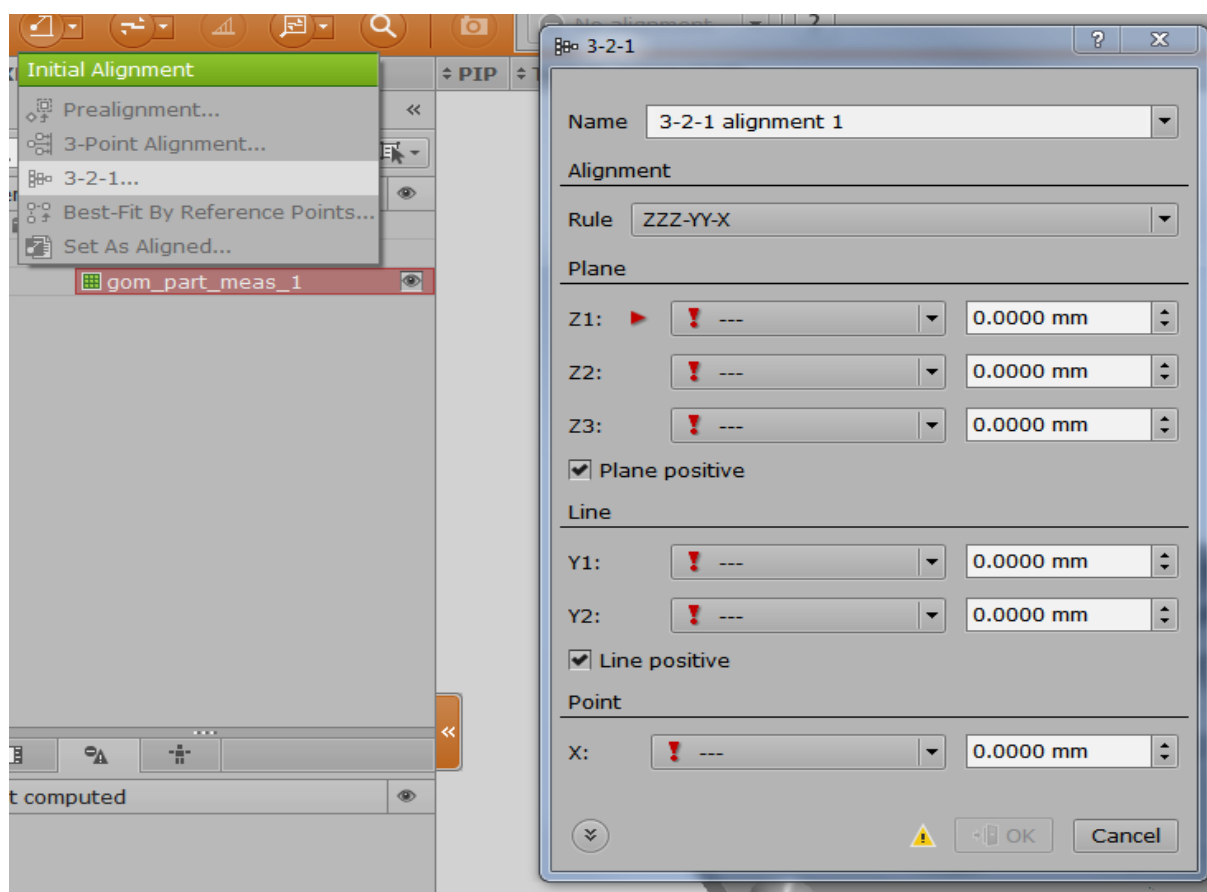
Показаћемо: Прављење поравнања 3-2-1 (*3-2-1 Alignment*), мерење и контрола раздаљине и контрола цилиндара.

У прошлим деловима смо користили методе за контролу стварног предмета, у односу на CAD модел. У овом делу ћемо показати контролу без CAD модела. Направићемо жељене номиналне податке на основу цртежа. За контролу на основу цртежа није нам потребно поравнање, међутим многи цртежи садрже информације поравнања, као што је 3-2-1 поравнање (*3-2-1 Alignment*).

Почињемо са празним новим пројектом, у који увозимо мрежу стварног модела преко **File ► Import ► File ►► inspection_1 ► actual ► gom_part_meas_1.g3d** (3.8.1).

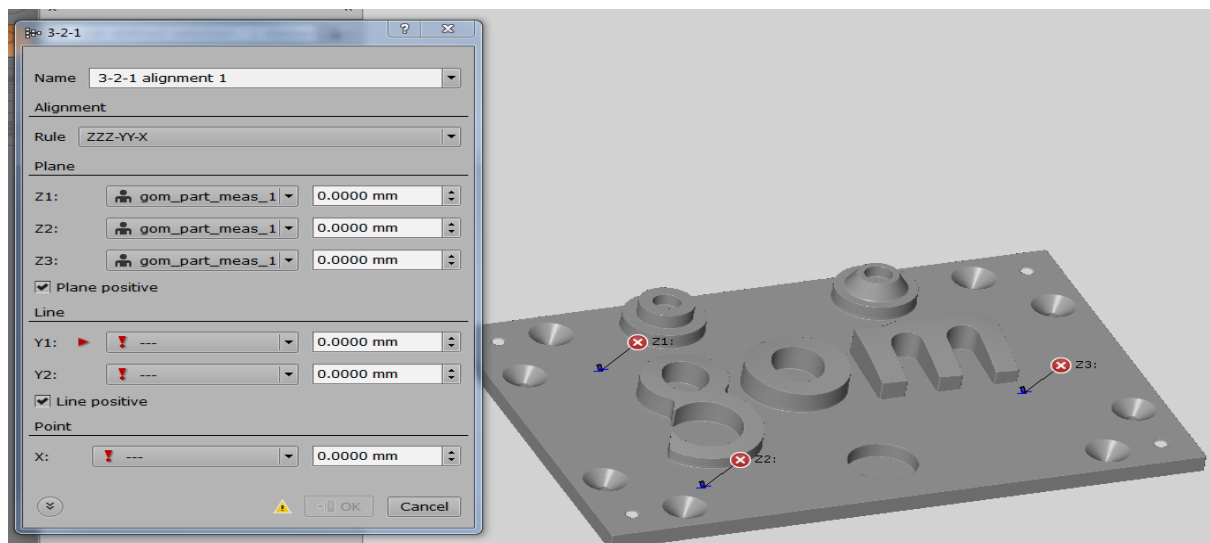
3.12.1. Прављење поравнања 3-2-1 (*3-2-1 Alignment*)

Сада можемо да направимо поравнање које желимо. Да бисмо направили ово поравнање поново покрећемо алатку прављења налегања (*Create Alignment*) која се налази у главној траци са алаткама (*Toolbar*) и бирамо опцију 3-2-1 (слици 3.12.1.1).



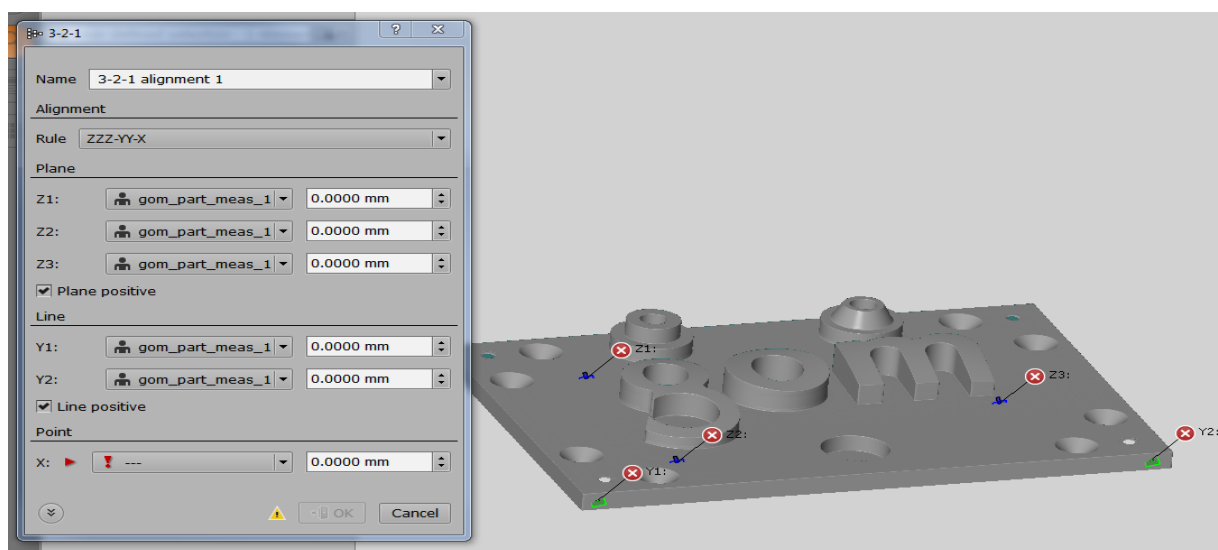
Слика 3.12.1.1. – Наредба 3-2-1 и њен дијалог

У дијалогу ове наредбе прво морамо да применимо правило (*Rule*) по нашем избору. Пошто је за наш модел погодно ово правило, њега и остављамо. Затим је потребно комбинацијом тастера Ctrl и левог клика миша да означимо три тачке које се налазе на равни (*Plane*) - слика 3.12.1.2.



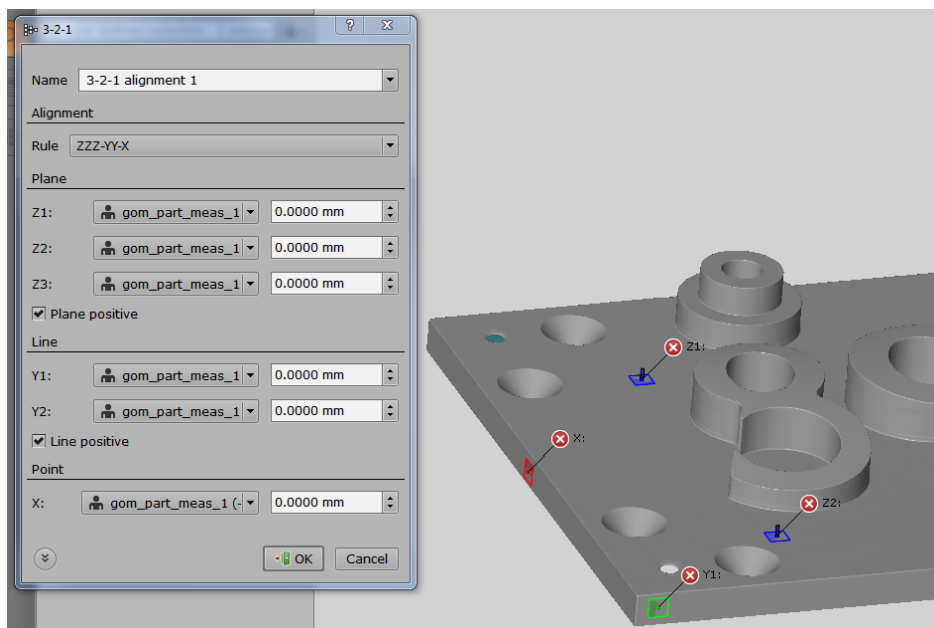
Слика 3.12.1.2. – Одабир тачака за три тачке равни (Plane) - „3“

Када смо одабрали три тачке у равни - „3“, софтвер нас аутоматски пребацује на избор две тачке - „2“, такође комбинацијом тастера Ctrl и левог клика миша које представљају линију (слика 3.12.1.3).



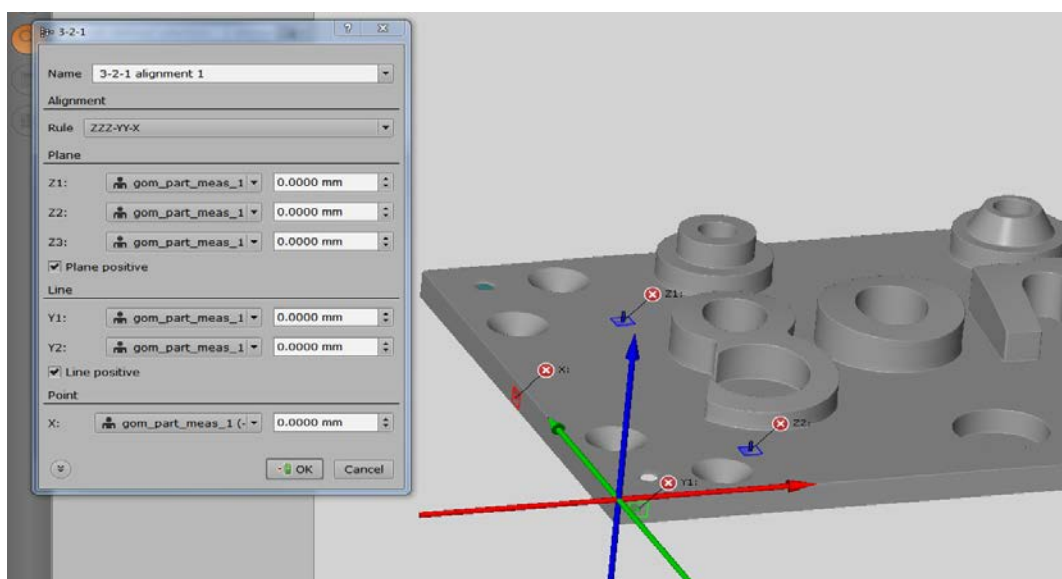
Слика 3.12.1.3. – Одабир тачака за две тачке линије(Line) – „2“

Сада је потребно да одаберемо једну тачку (Point) – „1“ за почетак (Origin - слика 3.12.1.4) такође комбинацијом тастера Ctrl и левог клика миша.



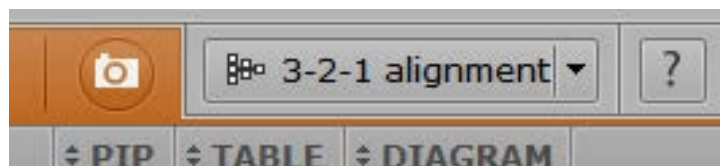
Слика 3.12.1.4. – Бирање последње тачке (*Point*) – „1“ која означава почетак (*Origin*)

Да бисмо олакшали одабир ових тачака можемо активирати поглед координатног система у почетку (*Origin*) преко наредбе **View ► 3D View Elements ► Coordinate System in Origin** (слика 3.12.1.5).



Слика 3.12.1.5. – Координатни систем у почетку (*Coordinate System in Origin*)

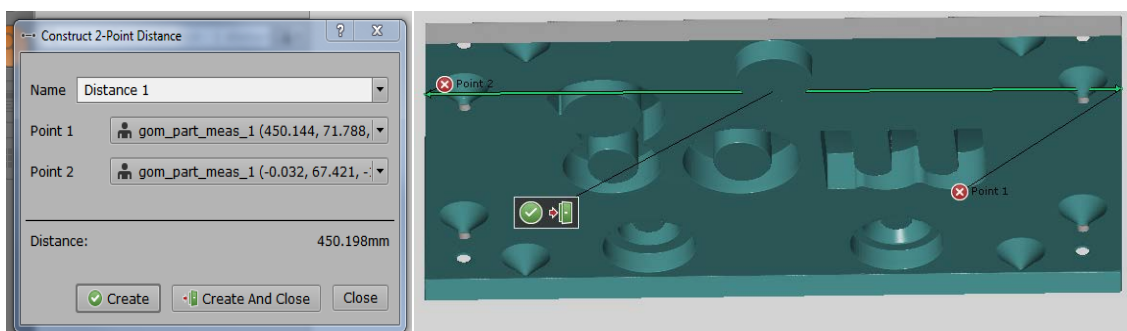
Ако овај координатни систем није као што смо желели, можемо изврнути раван (*Plane*) и линију (*Line*) скидањем штиклице са опција позитивне равни и позитивне линије (*Plane positive*, *Line positive*) у дијалогу наредбе 3-2-1. Сада можемо вратити координатни систем у доњи леви угао 3D погледа преко наредбе **View ► 3D View Elements ► Coordinate System In Left Corner**. Потврђивањем овог дијалога поравнање је дефинисано (слика 3.12.1.6).



Слика 3.12.1.6. – Приказ избраног направљеног поравнања

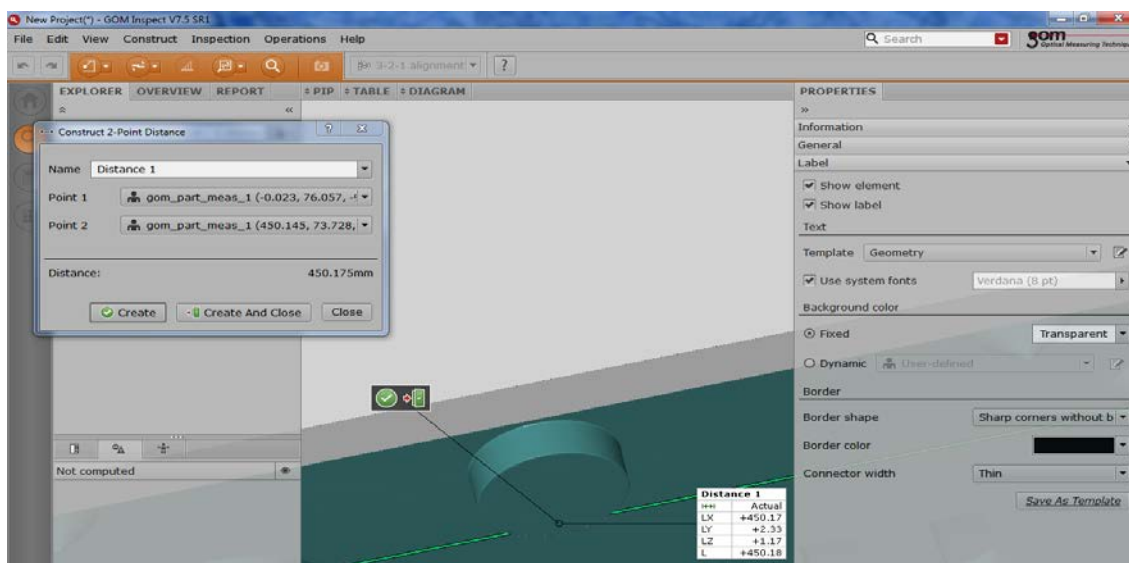
3.12.2. Мерење и контрола растојања

Прво морамо да измеримо стварни модел који је задат овим упутством. Номиналне вредности овог предмета налазимо на његовом техничком цртежу. Да бисмо били у могућности да га измеримо, морамо га прво конструисати. За одређивање растојања између жељене две тачке морамо да покренемо наредбу **Construct ► Distance ► 2-Point Distance**. Добијамо дијалог у којем морамо да одаберемо две тачке коришћењем комбинације тастера Ctrl и левог клика миша (слика 3.12.2.1).



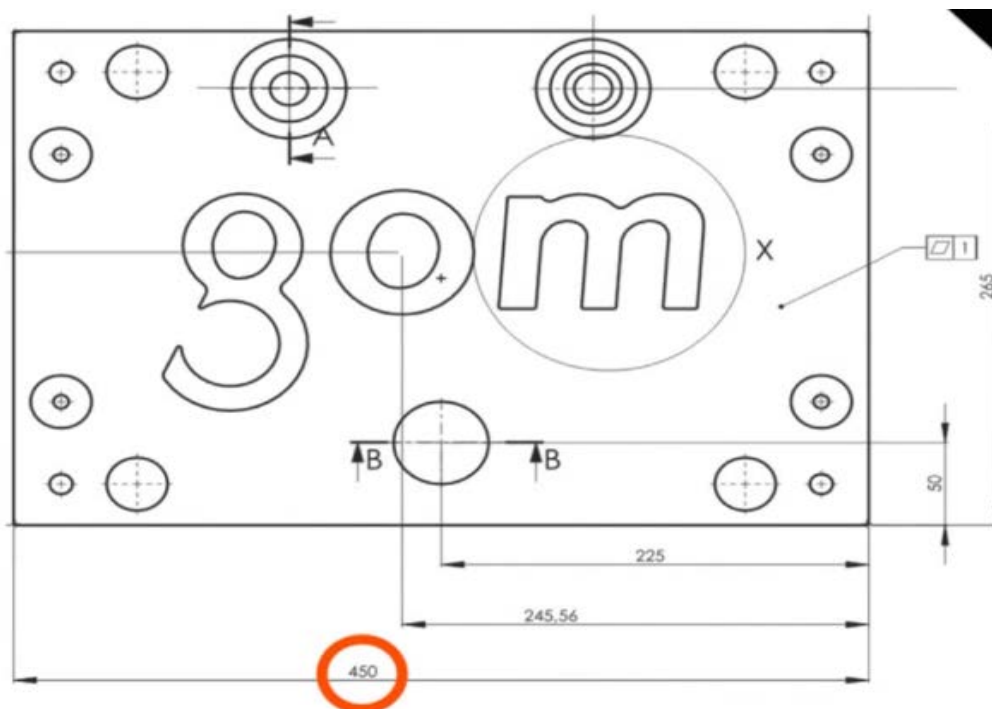
Слика 3.12.2.1. – Конструисање растојања између две тачке (2-Point Distance)

Сада можемо приказати измерену вредност у етикети овог растојања, а то ћемо урадити отварањем прозора својстава (*Properties*) овог растојања и штиклирамо опцију приказивања етикете (*Show Label*) под табом етикете (*Label*), а под опцијом приказа назива (*Template*) бирамо геометрију (*Geometry* - слика 3.12.2.2).



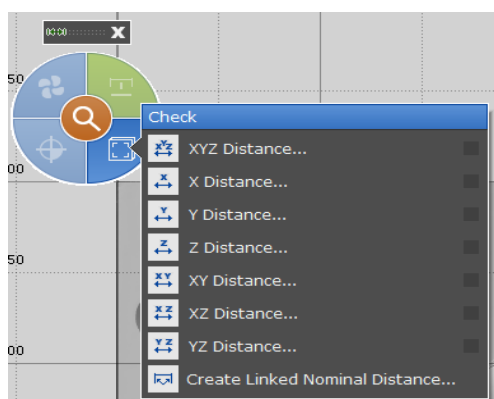
Слика 3.12.2.2. – Промена етикете (*Label*) растојања

Правимо меру овог растојања и потврђујемо са опцијом *Create And Close*. Када погледамо вредност ове раздаљине на техничком цртежу 1 (Слика 3.12.2.3), она износи 450.



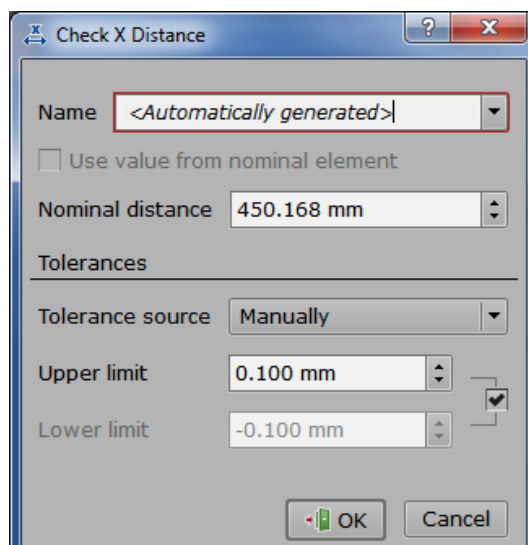
Слика 3.12.2.3. – Технички цртеж 1 модела

Сада можемо да упоредимо вредност коју добијамо мерењем ове раздаљине са номиналном раздаљином са техничког цртежа. Да бисмо ово урадили, селекујемо направљену раздаљину и покрећемо наредбу интелигентне инспекције (*I-Inspect*), део 3.11.5, а она се налази у главној траци са алаткама (*Toolbar*), селекујемо опцију провере (*Check* - слика 3.12.2.4) у којем бирамо коју раздаљину, односно у смеру које осе желимо да је измеримо.



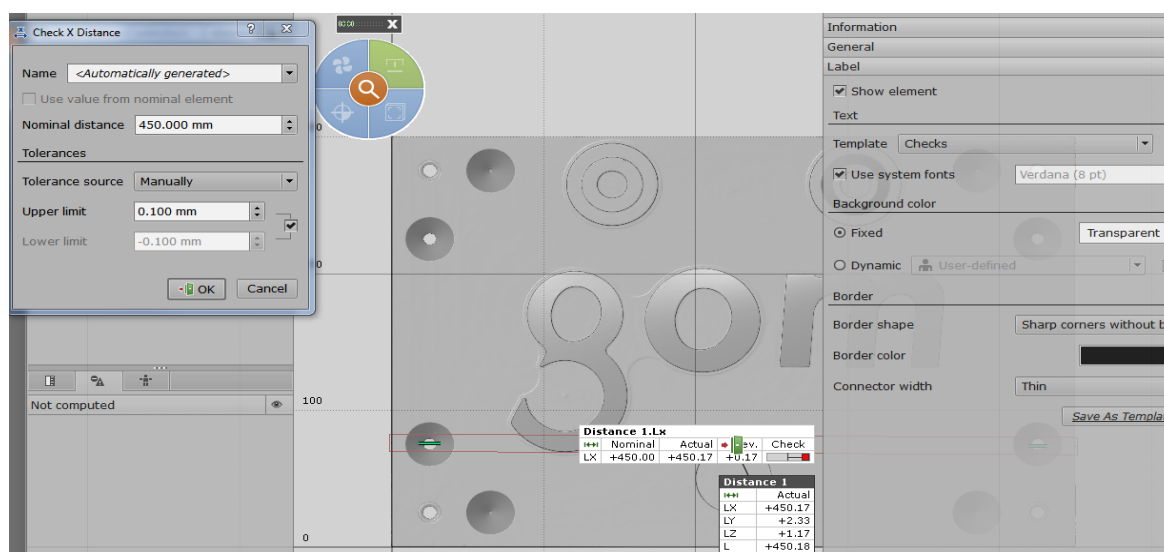
Слика 3.12.2.4. – Опција провере (*Check*) под функцијом интелигентне инспекције (*I-Inspect*)

Бирамо осу X и добијамо дијалог ове наредбе (слика 3.12.2.5).



Слика 3.12.2.5. – Дијалог провере растојања по оси X (Check X Distance)

У овом дијалогу бирамо назив растојања чију контролу вршимо и уписујемо номиналну вредност (*Nominal distance*) растојања са техничког цртежа 1 (Слика 3.12.2.3.) која износи 450. Као и до сад, можемо изабрати горњу и доњу границу дозвољеног одступања симетрично или асиметрично. Укључујемо приказ етикете (*Label*) у својствима (*Properties*), слика 3.12.2.6, пре него сто потврдимо ову проверу, са тим добијамо резултате стварне и номиналне мере и вредност одступања стварне мере од номиналне.

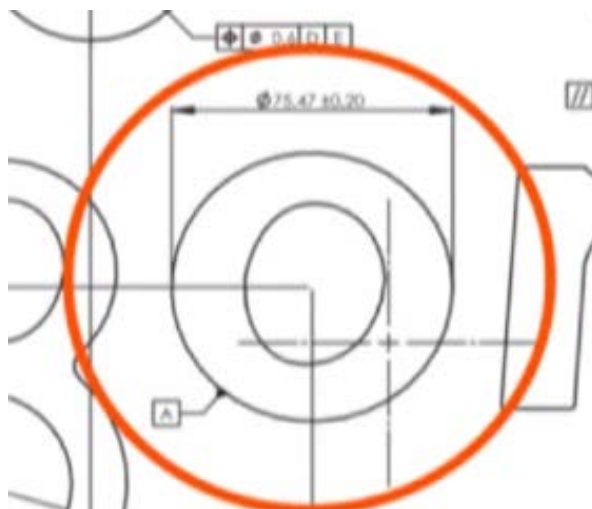


Слика 3.12.2.6. – Приказ одступања стварне од номиналне мере и провера растојања по оси X (Check X Distance)

Овај ток рада представља контролу на основу цртежа. Увек прво конструишемо жељено, а затим вршимо контролу.

3.12.3. Контрола цилиндра

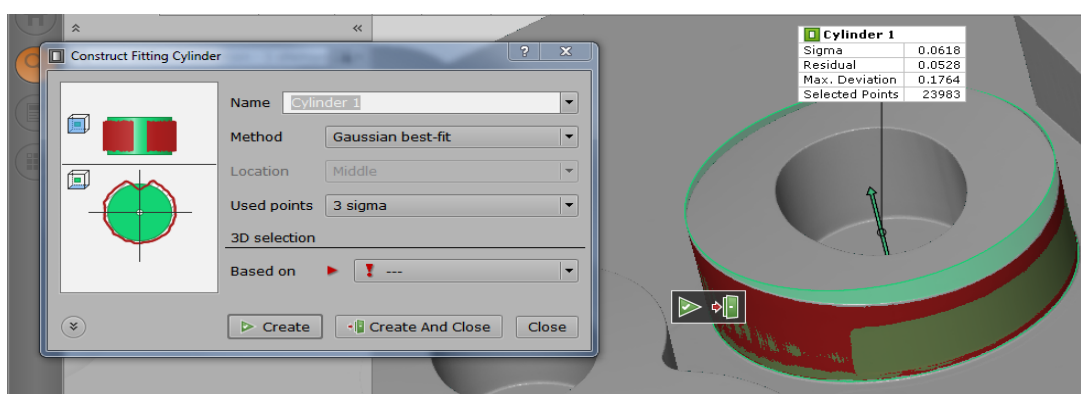
Сада ћемо приказати мерење цилиндра, независно од величине његовог пречника. На техничком цртежу детаљ 2 (Слика 3.12.3.1.) видимо пречник цилиндра чију ћемо контролу вршити.



Слика 3.12.3.1. – Технички цртеж детаљ 2 модела

Предвиђени пречник цилиндра износи 75.47mm са горњом и доњом дозвољеном границом одступања 0.2mm. Сада ћемо извршити контролу цилиндра на стварном моделу. Као и прошли пут, прво конструишемо, само у овом случају цилиндар, преко наредбе одговарајући цилиндар **Construct ► Cylinder ► Fitting Cylinder**.

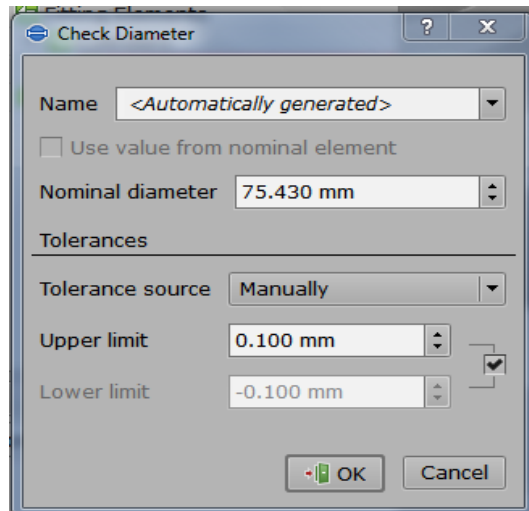
Отвара се дијалог ове наредбе и сада је потребно да изврсимо селекцију где желимо да направимо цилиндар. Преко комбинације тастера Ctrl и левог клика миша селекујемо спољашњу страну цилиндра слова “O” (слика 3.12.3.2).



Слика 3.12.3.2. – Конструисање одговарајућег цилиндра (*Construct Fitting Cylinder*)

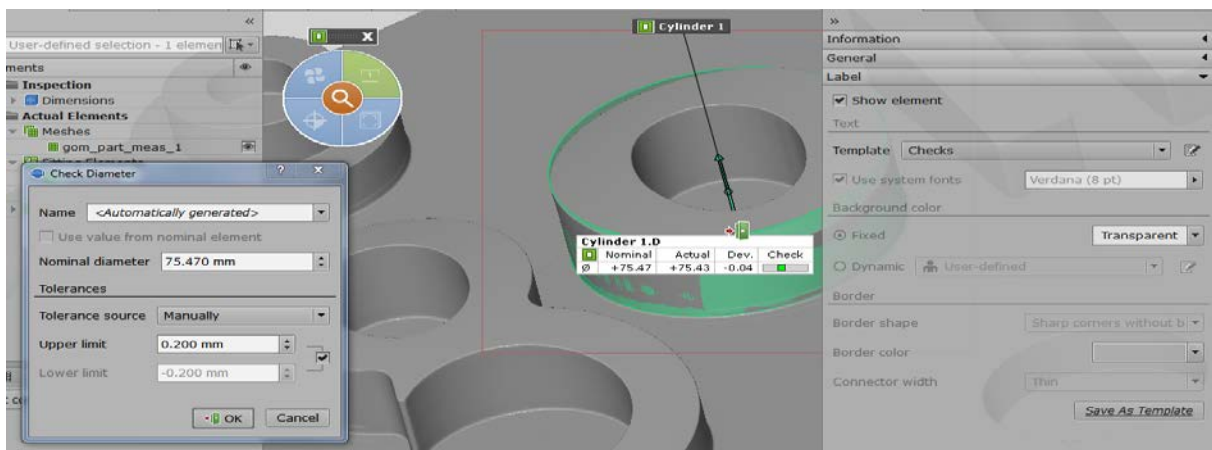
GOM Inspect сам изводи селекцију геометријског објекта када смо притиснули комбинацију тастера Ctrl и левог клика миша и елемент се истог тренутка прорачунава и видимо његов изглед и статистичке податке (слика 3.12.3.2). Сада бирамо наредбу креирај (*Create*), а ако желимо да направимо цилиндар и завршимо са прављењем цилиндара, као и до сад, користимо наредбу креирај и затвори (*Create And Close*). Креирамо цилиндар и затварамо дијалог.

Сада можемо да урадимо контролу цилиндра. Поново покрећемо наредбу интелигентне инспекције (*I-Inspect*) која се налази у главној траци са алаткама (*Toolbar*) и добијамо избор жељених наредби, где левим кликом миша бирамо наредбу провере (*Check*) и сада бирамо наредбу провере пречника (*Diameter*) и добијамо дијалог те наредбе (слика 3.12.3.3).



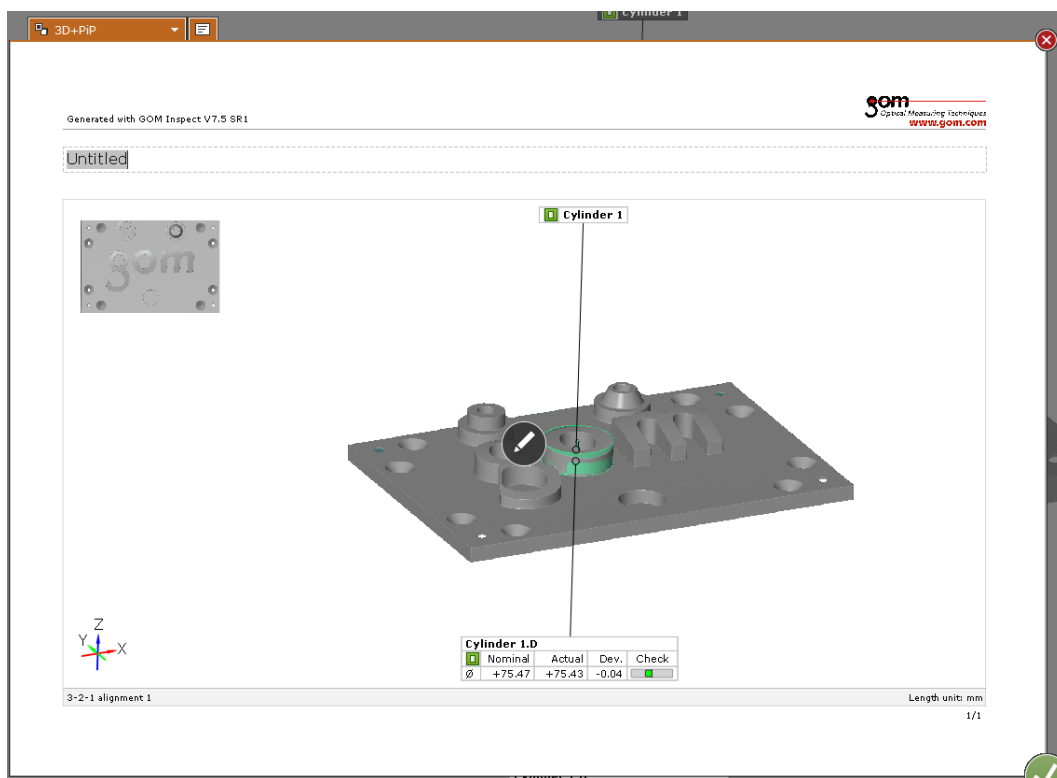
Слика 3.12.3.3. – Дијалог наредбе провере пречника (*Check Diameter*)

У овом дијалогу као и са провером растојања по оси X (*Check X Distance*) уносимо номинални пречник са техничког цртежа, који износи 75.47mm као што је већ речено, са горњом и доњом границом одступања од по 0,2mm. Одлазимо у својства (*Properties*) и мењамо приказ етикете да показује резултате провере (*Checks*) - слика 3.12.3.4.



Слика 3.12.3.4. – Унети подаци номиналног пречника, горњег и доњег одступања и промењен начин приказа етикете (*Label*)

Овим смо измерили два растојања – једна дужина и један пречник. Као и после сваке врсте контроле сада ово можемо документовати наредбом за прављење странице за извештај (*Create Report Page*), слика 3.8.5.1, па у дијалогу (слици 3.8.5.4) поново бирамо одговарајући тип документације (3.8.5). Резултат је на слици 3.12.3.5.



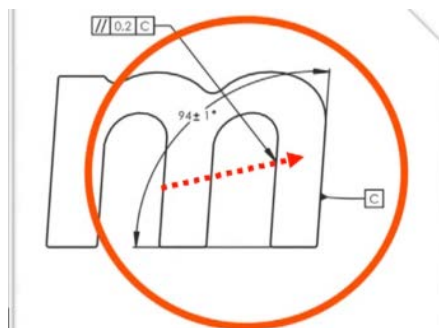
Слика 3.12.3.5. – Страница за извештај после контроле цилиндра

3.13. 2Д пресеци за контролу на основу цртежа

Показаћемо: Прављење пресека, мерење углава и контролу кругова преко локалних пресека.

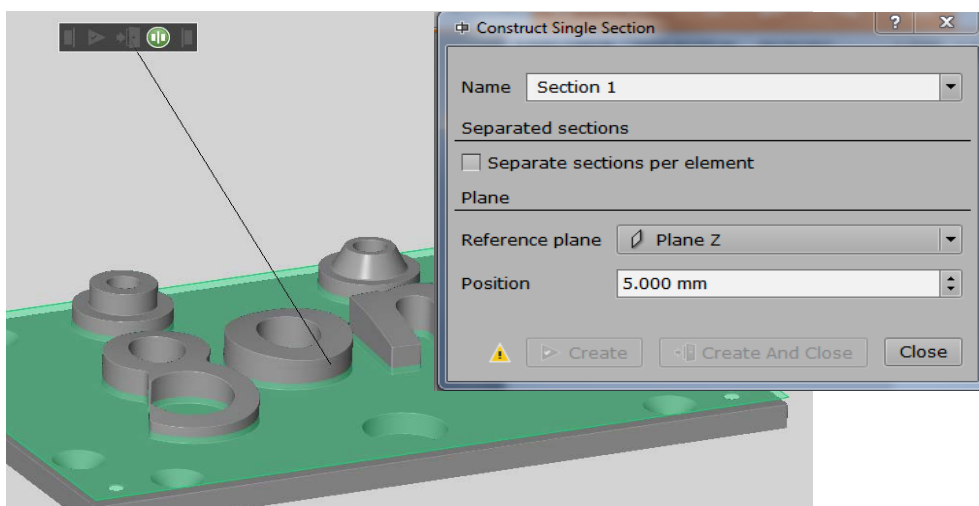
3.13.1. Прављење пресека

У делу 3.12 смо приказали како да извршимо контролу димензија помоћу цртежа. Иако имамо 3D податке доступне, можемо такође вршити контролу у 2Д, на основу пресека који се налазе на многим цртежима. Цртеж на *слици* 3.13.1.1 показује угао који треба бити измерен.



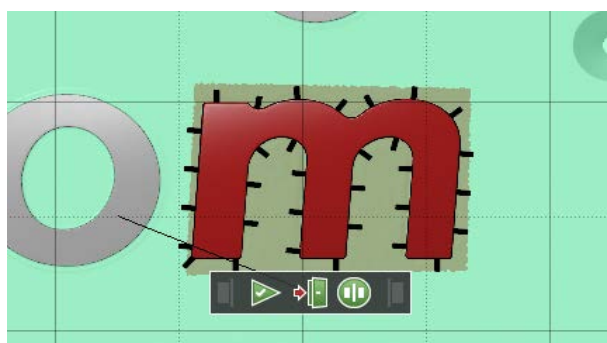
Слика 3.13.1.1. – Цртеж пресека са измереним углом

Због тога правимо пресек преко наредбе **Construct ► Section ► Single Section**. У дијалогу који се отворио бирамо референтну раван 3 на положају (*Position*) од 5mm (слика 3.13.1.2).



Слика 3.13.1.2. – Конструисање самосталног пресека (*Construct Single Section*)

Сада видимо да не можемо да направимо пресек, зато што је потребно одабрати област на мрежи односно на моделу где ће пресек бити направљен. Селекујемо слово “м” наредбом селекуј/деселекуј кроз површину (*Select/Deselect Through Surface* - 3.6 , табела 3.6.1) поступцима од ❶ до ❷. и Резултат видимо на слици 3.13.1.3.

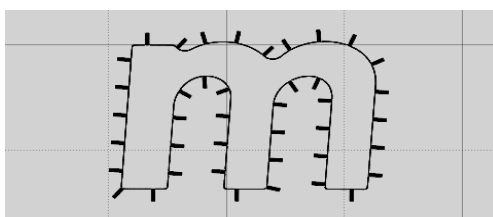


Слика 3.13.1.3. – Селектовани део слова „м“ кроз површину наредбом селекуј/деселекуј кроз површину (*Select/Deselect Through Surface*)

Софтвер аутоматски региструје само део који је у контакту са пресеком, и притиском на опцију прављења и затварања дијалога (*Create And Close*), пресек је направљен.

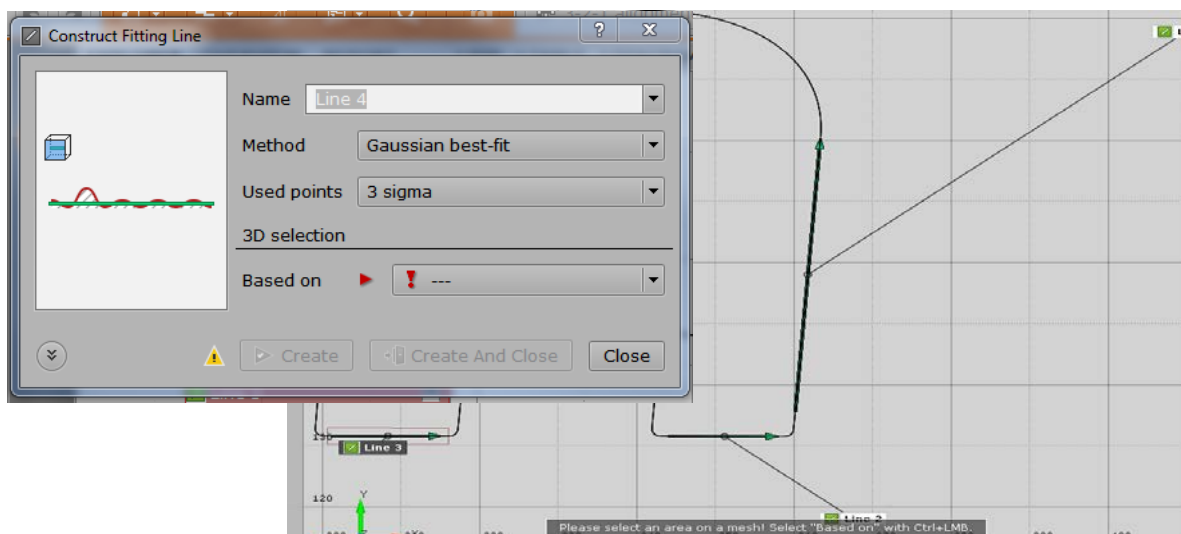
Сада ћемо преко наредбе **View ► Visibility ► Element ► Show Exclusively** док је пресек изабран у претраживачу (*EXPLORER*) или тастером Е на тастатури приказати само овај (слика 3.13.2.1).

3.13.2. Мерење углова



Слика 3.13.2.1. - Ексклузивни приказ пресека (*Show Exclusively*)

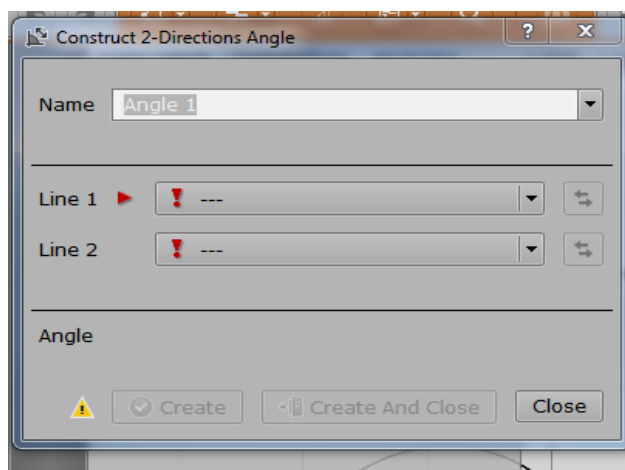
Да бисмо били у могућности да измеримо угао, морамо прво да конструишемо линије. Због тога идемо на наредбу **Construct ►Line ►Fitting Line** и уз комбинацију тастера Ctrl и левог клика миша селекујемо сваку линију засебно, а затим их засебно правимо (*Create*) - слика 3.13.2.2.



Слика 3.13.2.2. – Направљене линије уз дијалог прављења погодне линије (*Construct Fitting Line*)

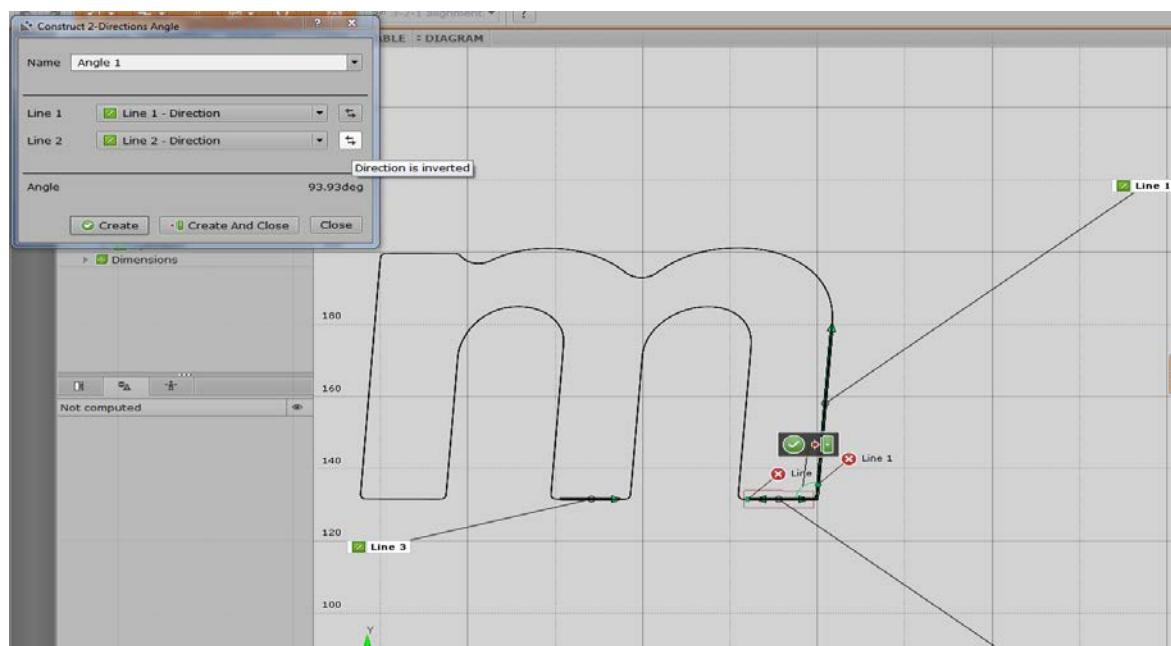
Број линија које желимо да конструишемо је по нашој жељи, а по завршеној конструисању потврђујемо и затварамо дијалог на команду *Close*.

После потврђивања овог дијалога, направљене су три жељене линије. Сада можемо проверити жељени угао преко наредбе **Construct ►Angle ►2-Directions Angle** (слика 3.13.2.3).



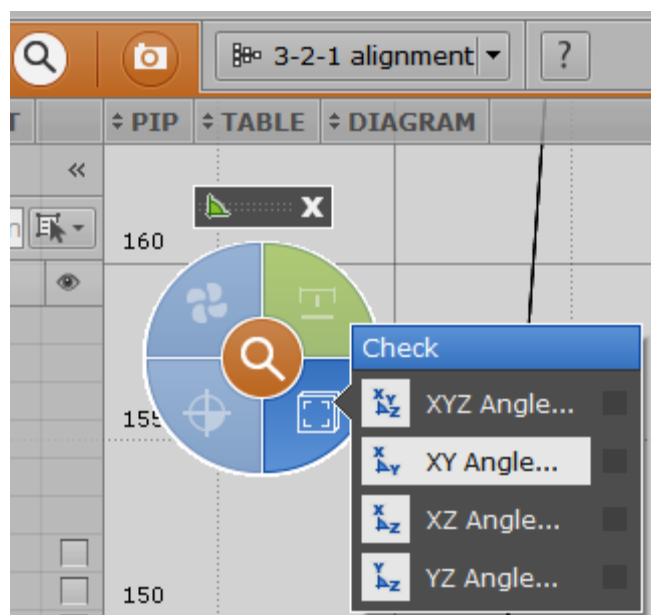
Слика 3.13.2.3. – Дијалог наредбе двосмерног угла (*2-Directions Angle*)

Сада је потребно да селекујемо линије (*Line 1*, *Line 2*), преко комбинације тастера Ctrl и левог клика миша на етикету или саму линију, између којих желимо да измеримо угао. Стрелица нам показује који смер ће угао имати и смер угла мењамо на две мимоилазне стрелице поред селекованих линија у дијалогу (слика 3.13.2.4).



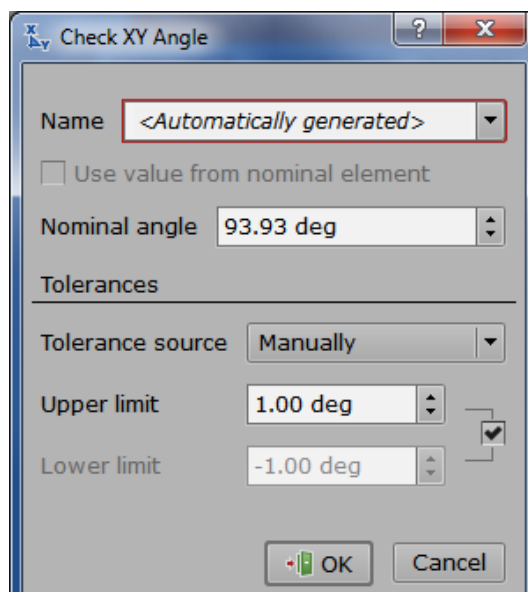
Слика 3.13.2.4. – Окретање смера селектованих линија (*Invert direction*)

Потврђујемо и правимо овај угао (*Create And Close*). Сада можемо да извршимо контролу направљеног и селектованог угла преко наредбе интелигентне инспекције (*I-Inspect*) у главној траци са алаткама (*Toolbar*) - слика 3.13.2.5.



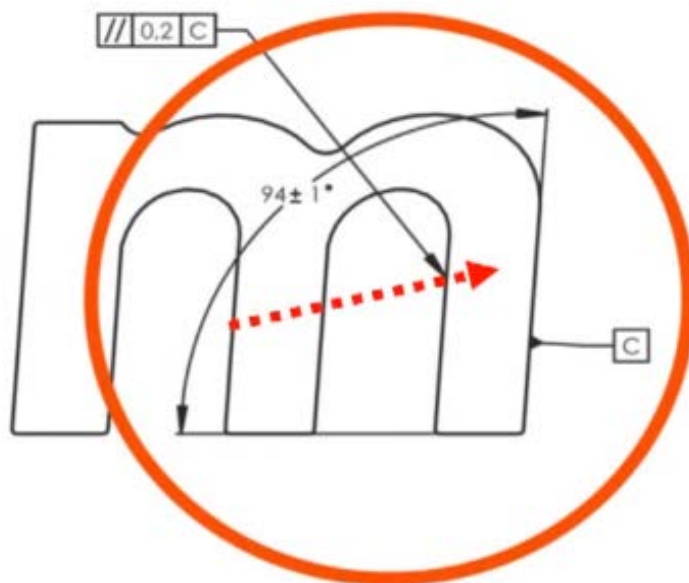
Слика 3.13.2.5. Наредба интелигентне инспекције после селектовања жељеног угла (*I-Inspect*)

Интелигентна инспекција (*I-Inspect*) аутоматски схвата да смо селектовали угао, па зато и нуди мерење истог. У овом случају (слика 3.13.2.1) потребно је мерење угла XY (*XY Angle...*). Бирамо ову опцију и добијамо дијалог те наредбе (слика 3.13.2.6).



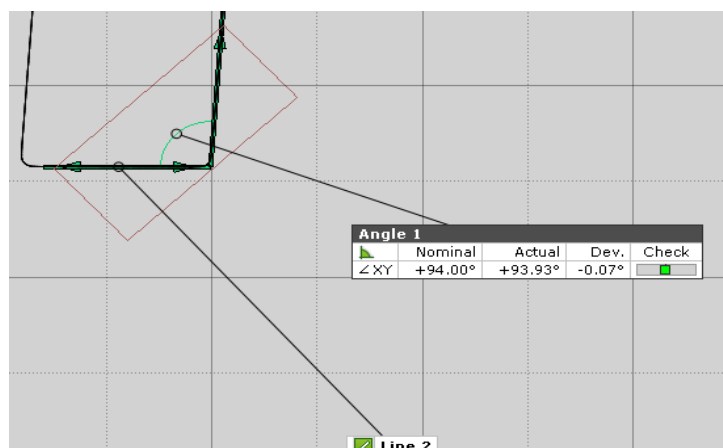
Слика 3.13.2.6. – Дијалог наредбе провере угла XY (Check XY Angle)

У овом дијалогу сада уписујемо номиналну вредност угла која је дата цртежом, а она износи 94° , као и горњу и доњу границу толеранције (*Upper limit*, *Lower limit*) симетрично или асиметрично, а према техничком цртежу детаљ 3 доња и горња граница износе по 1° . Цртеж 3 је дат на слици 3.13.2.7.



Слика 3.13.2.7. – Технички цртеж детаљ 3 измереног угла на „слову м“ модела

После уписаних номиналних вредности толеранција и вредности величине угла, потврђујемо и затварамо овај дијалог на ОК (слика 3.13.2.8).

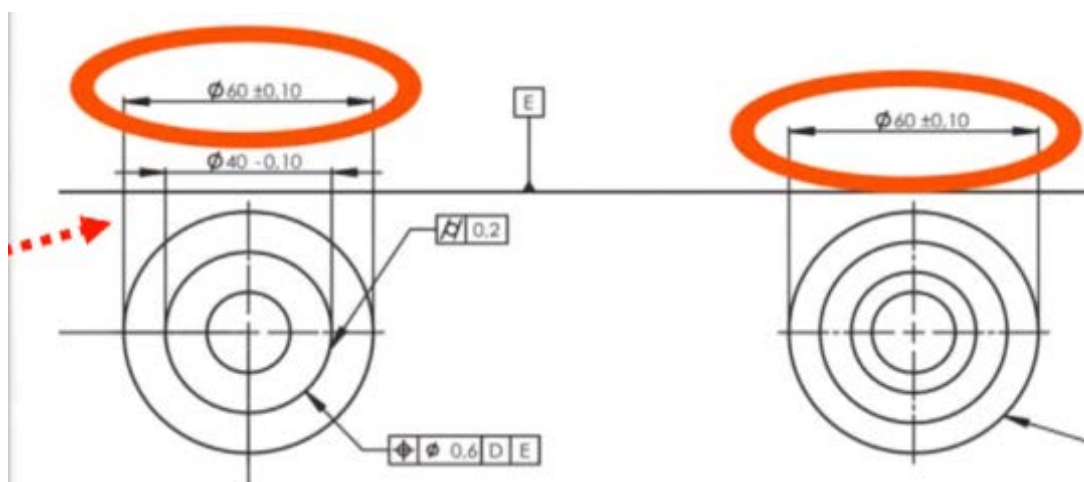


Слика 3.13.2.8. – Резултати измереног угла

У етикети коју приказује овај угао видимо номиналну вредност угла, стварну вредност, вредност одступања стварног угла од номиналног и пошто је провера зелена, односно угао не прелази испод ни изнад толеранције од 1°, контрола овог угла је успешно завршена.

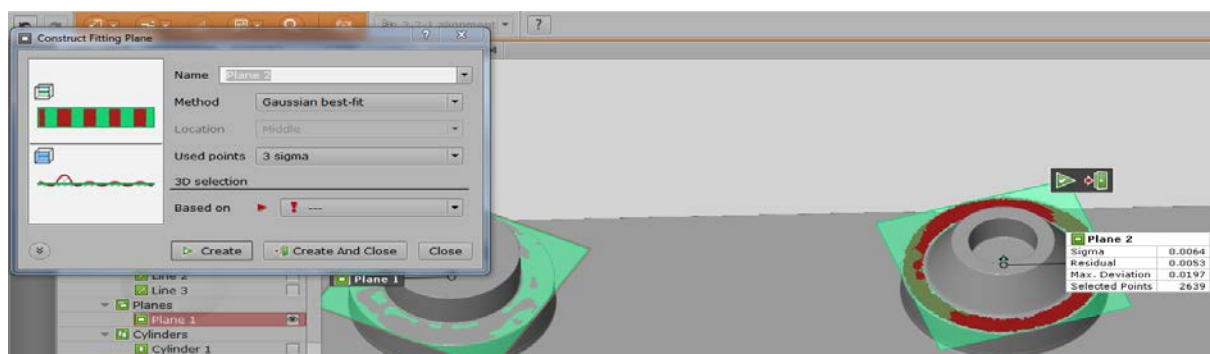
3.13.3. Контрола кругова преко локалних пресека

Сада ћемо извршити контролу пречника кругова које ћемо направити помоћу пресека поново. На техничком цртежу детаљ 4 на слици 3.13.3.1 видимо да два круга имају иста величине пречника и толеранција.



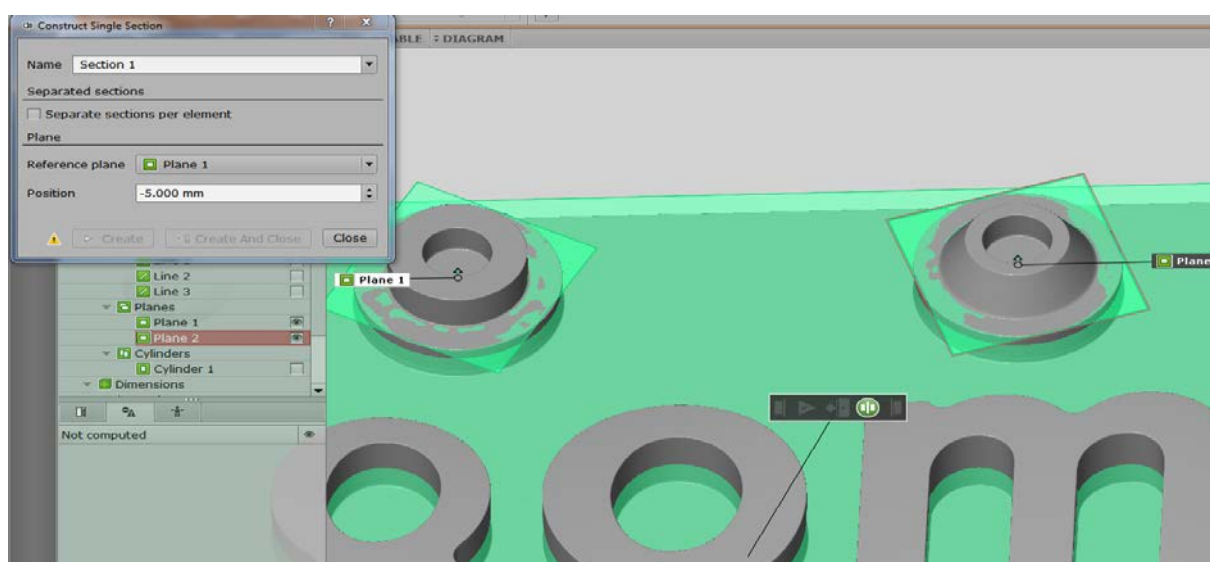
Слика 3.13.3.1. – Технички цртеж детаљ 4 са пречницима кругова

У овом случају ћемо користити локалну референтну раван пошто је ово веома типична процедура за ливене нагибе. Морамо прво да направимо равни, зато покрећемо наредбу **Construct ► Plane ► Fitting Plane** и селектовањем уз комбинацију тастера Ctrl и левог клика миша правимо две локалне равни (слика 3.13.3.2).



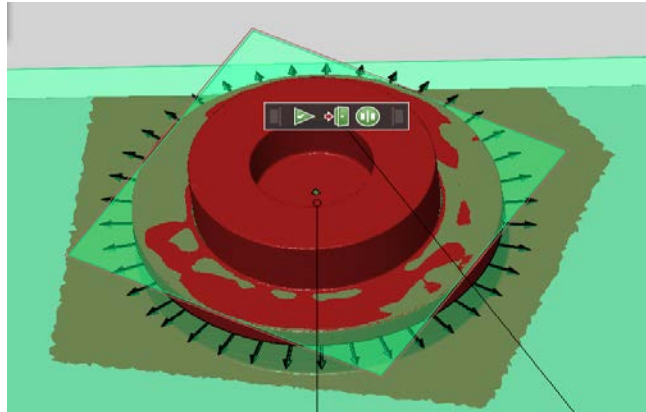
Слика 3.13.3.2. – Прављење две локалне равни преко наредбе одговарајуће равни (*Construct Fitting Plane*)

Сада можемо да направимо пресеке. Пресеке ћемо направити преко **Construct ► Section ► Single Section**. У дијалогу који нам се отвори при покретању ове наредбе, у падајућем менију референтне равни (*Reference Plane*) или селектовањем у 3D погледу комбинацијом тастера Ctrl и левог клика миша бирамо нашу направљену раван 1 (*Plane 1*) и позиционирамо пресек 5mm испод наше референтне равни (слика 3.13.3.3).



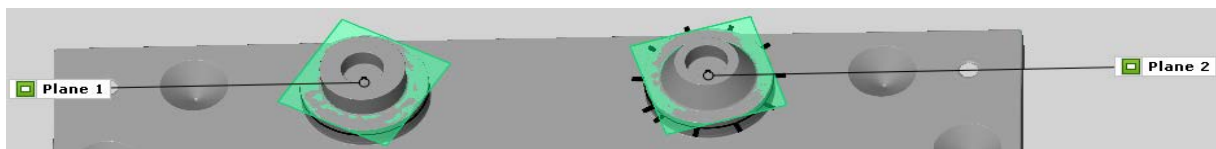
Слика 3.13.3.3. – Дијалог наредбе за конструисање пресека (*Construct Single Section*)

Сада је потребно да селекујемо подручје на мрежи (3.10.1) где ће пресек бити направљен. Селекујемо кроз површину (*Select/Deselect Through Surface*) - слика 3.13.3.4.



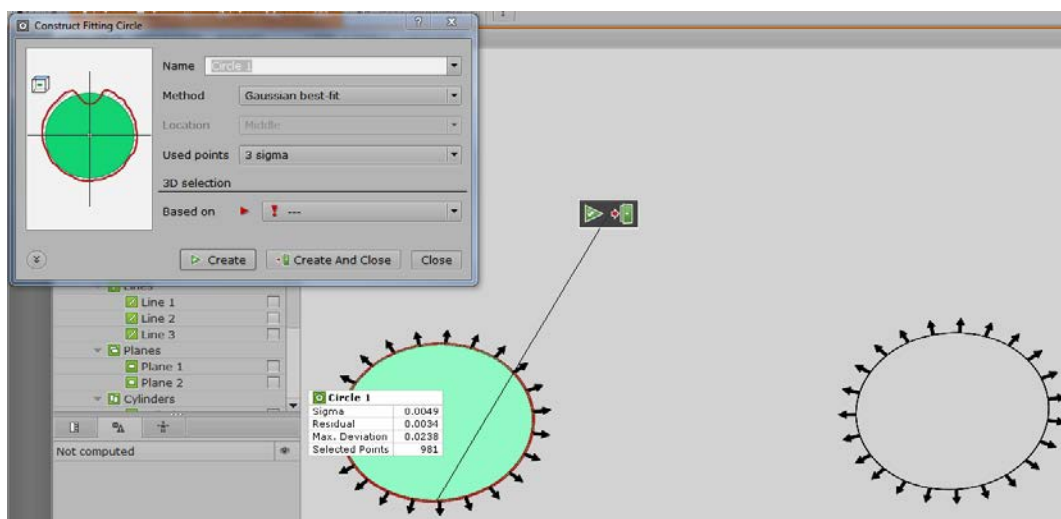
Слика 3.13.3.4. – Селектовани део мреже на којем ће пресек бити направљен

Истим поступком радимо и други пресек за раван 2 (*Plane 2*). После прављења другог локални пресека резултат видимо на слици 3.13.3.5.



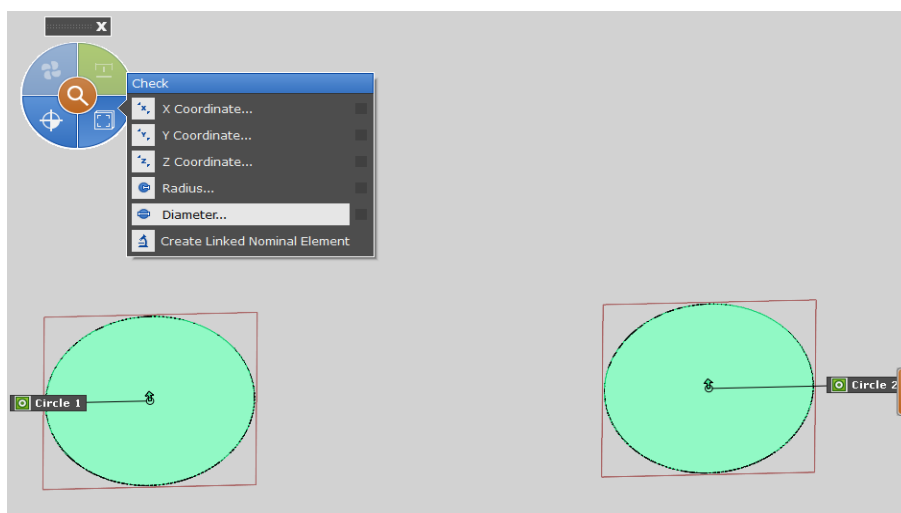
Слика 3.13.3.5. – Резултати прављења два локална пресека

Сада у претраживачу (*EXPLORER*) селекујемо оба пресека и идемо на наредбу **View ► Visibility ► Element ► Show Exclusively** којом ћемо приказати само селектоване пресеке, затим отварамо наредбу **Construct ► Circle ► Fitting Circle** и уз комбинацију тастера Ctrl и левог клика миша селекујемо кругове засебно и правимо их (слика 3.13.3.6). На слици 3.13.3.6 је један од њих селектован пре него што је направљен.



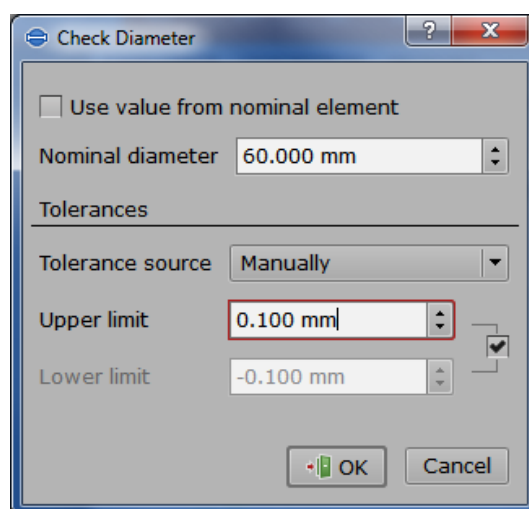
Слика 3.13.3.6. – Конструисање одговарајућих кругова (*Construct Fitting Circle*)

Пошто су сада кругови направљени, селекујемо их у претраживачу (*EXPLORER*) можемо проверити њихове пречнике покретањем наредбе интелигентне инспекције (*I-Inspect*) која се налази у главној траци са алаткама (*Toolbar*) и бирањем опције провере пречника (*Diameter*) - слика 3.13.3.7.



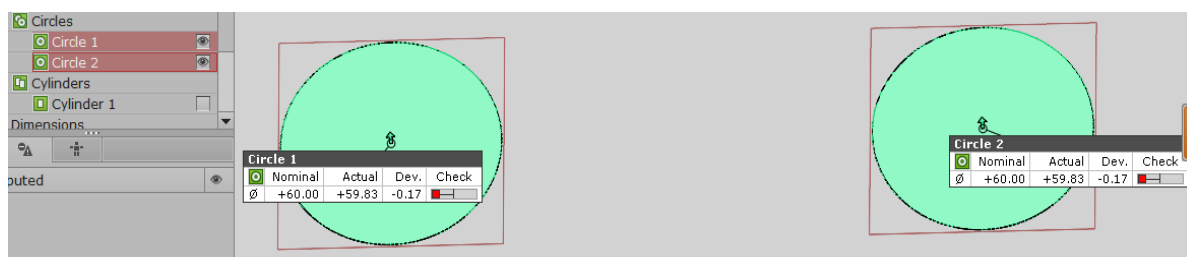
Слика 3.13.3.7. – Опција провере пречника (*Diameter*) интелигентне инспекције (*I-Inspect*)

По отварању дијалога ове опције уписујемо номиналне пречнике (*Nominal Diameter*) и горње и доње границе толеранције (*Upper limit*, *Lower limit*) које смо прочитали са цртежа (слика 3.13.3.1) и на слици 3.13.3.8 сада видимо овакав дијалог.



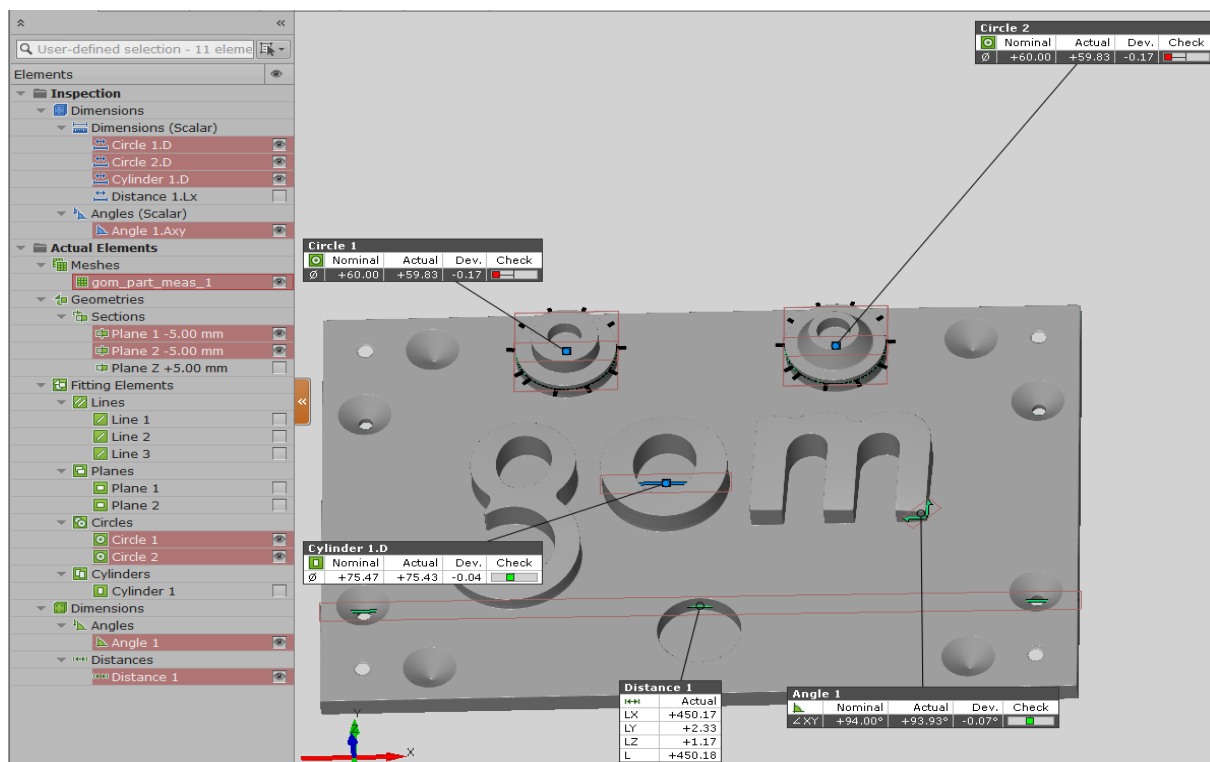
Слика 3.13.3.8. Дијалог провере пречника (*Check Diameter*)

Потврђујемо овај дијалог и добијамо резултате контроле ових пречника (слика 3.13.3.9).



Слика 3.13.3.9. – Резултати инспекције пречника

Видимо да пречници нису у границама дозвољених толеранција и сада ћемо ово документовати. Селектујемо жељене мере у претраживачу чију смо контролу вршили (слика 3.13.3.10) и преко наредбе **View ► Visibility ► Element ► Show Exclusively** приказујемо само њих, а затим правимо страницу за извештај (*Create Report Page* - 3.8.5).



Слика 3.13.3.10. – Ексклузивни приказ свих мера од значаја пре документације

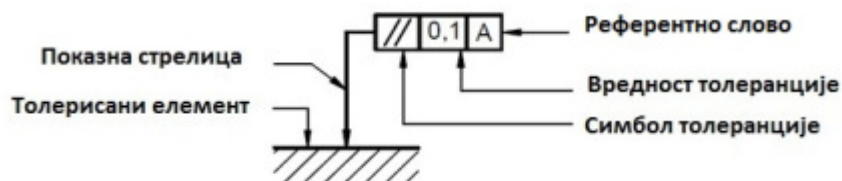
3.14. Толеранције облика и положаја (GD&T)

Показаћемо: теоријске основе, 3-2-1 поравнање на основу компензационих равни, контрола равности, прављење база, толеранције паралелности, толеранције цилиндричности и толеранција положаја.

3.14.1. Теоријске основе

Услови функције и монтаже машинских делова захтевају одређену тачност облика и положаја. У ту сврху се користе толеранције облика и положаја чије се ознаке уносе у техничке цртеже и њима се дефинише **дозвољено одступање од идеалног облика или положаја**. На тај начин се одређује област у којој посматрана карактеристика предмета мора да се нађе након обављене обраде. Врсте толеранција облика и положаја се помоћу својих симбола уносе техничке цртеже.

3.14.1.1. Ознаке толеранције облика и положаја



Слика 3.14.1.1.1 – Ознаке толеранције облика и положаја

Ознака толеранције облика и положаја се уписује у квадратни оквир. Ако је потребно употребљава се правоугаоник састављен из више области за уписивање неопходних ознака

Ознаке толеранције облика и положаја састоје се од **стрелице** која показује површину, односно линију која се толерише, и **оквира** у који се уноси **симбол** врсте одступања, **величина толеранције** и **словне ознаке**.

Вредност толеранције одређује конструктор и изражава се у милиметрима.

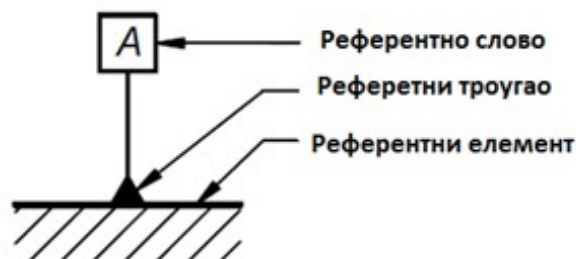
Ознака толеранције облика и положаја

Референтни елемент у односу на коју се одступање друге површине толерише означава се референтним троуглом.

Референтни елемент је онај геометријски елемент који у примени једне толеранције положаја служи као полазна база.

За референтни елемент се, по могућности, бира онај елемент који и за функцију израђеног комада служи као полазна база.

Ознака за референтни (полазни) елемент



Слика 3.14.1.1.2. – Референтни елементи

Толеранције облика ограничавају одступања једног геометријског елемента од његовог геометријског облика. Оне одређују зону толеранције у којој посматрани елемент мора лежати и у којој сме имати произвољан облик.

Толеранцијама облика одрађују се допуштена одступања од тачно геометријског облика или његове полазне основе (референтног елемента) која је значајна за функцију тог машинског дела. Референтни елемент може бити кружница, раван, профил....

Одступања облика могу бити:

- Одступања од праве

- Одступања од круга
- Одступање облика било ког профила
- Одступање од равни
- Одступање од цилиндра
- Одступање облика било које површине

Врста толеранције	Особина која се толерише	Симбол
Толеранције облика	Правост	—
	Равност	
	Кружност	
	Цилиндричност	
	Облик линије	
	Облик површине	

Слика 3.14.1.1.3. – Толеранције облика

Толеранције положаја прописују допуштена одступања два или више елемента од њиховог задатог међусобног положаја (идеалног) у простору. Један од тих елемената је обично утврђен као референтни елемент односно служи као полазна база.Ти елементи од којих се рачунају одступања могу бити: равни, осе и друго.

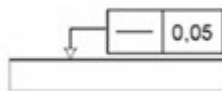
Одступања положаја могу бити: по правцу: одступање паралелности, одступање управности, одступање угла нагиба, по месту: одступање локација појединих оса и површина одступање центричности и аксијалности, одступање симетричности, по положају обртних површина: радијално бацање, аксијално бацање

Врста толеранције		Особина која се толерише	Симболи
Толеранције положаја	Толеранције правца	Паралелност	
		Управност	
		Угао нагиба	
	Толеранције места	Локација	
		Концентричност	
		Симетричност	
	Толеранције тачности Обртања	Кружност	
		Равност	

Слика 3.14.1.1.4. – Толеранције положаја

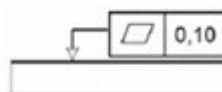
3.14.1.2. Примери толеранција облика и положаја

1. Толерисана површина мора имати правост са дозвољеним одступањем од 0,05mm.



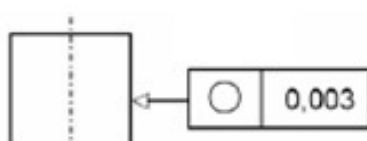
Слика 3.14.1.2.1. - Правост

2. Толерисана површина мора имати равност (бити равна) са дозвољеним одступањем од 0,1mm



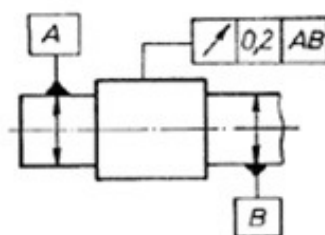
Слика 3.14.1.2.2. - Равност

3. Толерисана површина мора имати кружност (лежати у оквиру кружног растојања) са дозвољеним одступањем од 0,003mm



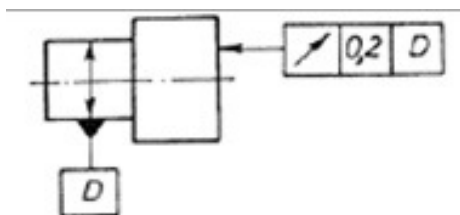
Слика 3.14.1.2.3. - Кружност

4. При обртању око референтне осе АВ, одступање од кружности обртања у свакој управној равни не сме да прелази 0,2mm.



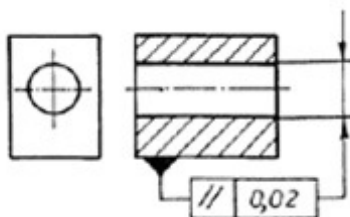
Слика 3.14.1.2.4. – Кружност обртања

5. При обртању око референтне осе D одступање од равности обртања не сме прелазити 0,2mm.



Слика 3.14.1.2.5. – Равност обртања

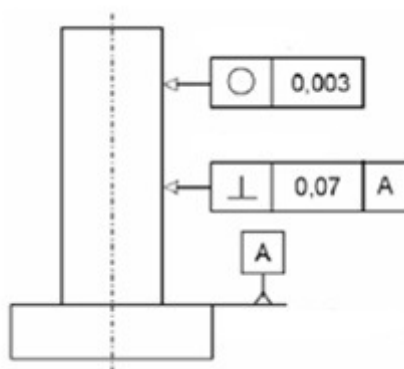
6. Толерисана оса мора лежати паралелно са референтном равни са одступањем од 0,02mm



Слика 3.14.1.2.6. – Паралелност са референтном равни

7. Толеранција мора лежати нормално на референтну раван А са тачношћу од 0,07mm.

Толеранција мора лежати у оквиру кружног растојања са одступањем од 0,003mm.



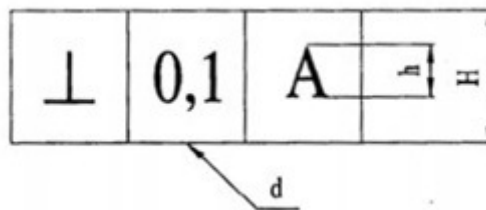
Слика 3.14.1.2.7. – Нормалност на референтну раван и у оквиру кружног растојања

3.14.1.3. Правила при уношењу толеранција облика и положаја на технички цртеж

Постоји зависност величине ознаке од дебљине линије:

h	2.5	3.5	5	7	10
H	5	7	10	14	20
d	0.25	0.35	0.5	0.2	1

Табела 3.14.1.3.1.

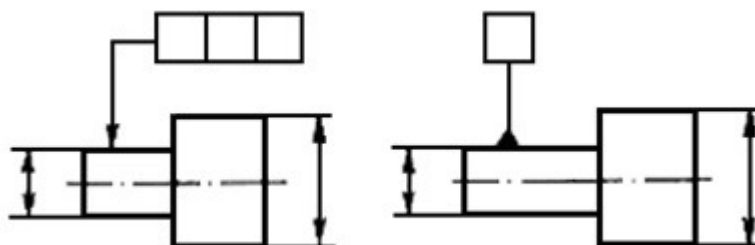


Слика 3.14.1.3.2. – Правила при уношењу толеранција

Стандардима техничког цртања је дефинисан начин постављања толеранција облика и положаја на техничким цртежима.

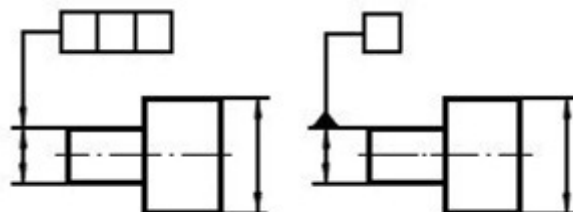
3.14.1.4. Начини постављања и међусобни положај

Ако се толеранција облика и положаја односи на површину показна и котна линија су јасно раздвојене:



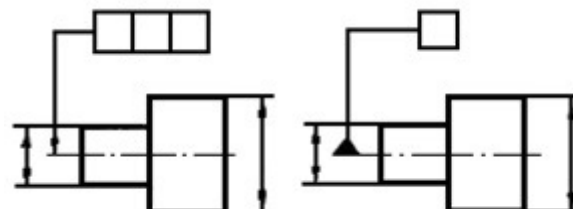
Слика 3.14.1.4.1. – Односи се на површину

Ако се толеранција облика и положаја односи на осу дела онда су котна и показна линија у истом правцу:



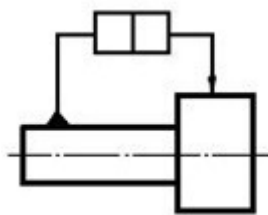
Слика 3.14.1.4.2. – Односи се на осу

Ако се толеранција облика и положаја односи на заједничку осу двеју или више површина:



Слика 3.14.1.4.3. – Односи се на заједничку осу

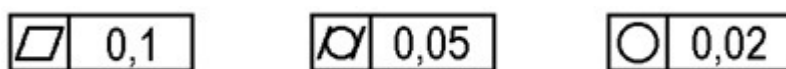
Ако су толерисана и референтна површина у непосредној близини:



Слика 3.14.1.4.4. – Ако су у непосредној близини

3.14.1.5. Нека правила комбиновања основних и допунских ознака толеранција облика

1) Код толеранција облика цртају се само два правоугаоника.



Слика 3.14.1.5.1. – Начин уписа толеранција облика

2) Код толеранција положаја стављају се и словне ознаке изабраног референтног елемента према којој се особини упоређује (D-E): начин за ознаку одвојених основица.



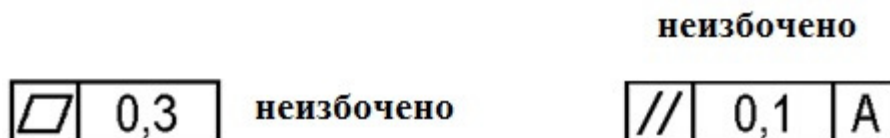
Слика 3.14.1.5.2. – Начин уписа толеранција положаја

3) Допунске ознаке речима, нпр. 6 отвора или 6х пишу се изнад оквира толеранције.



Слика 3.14.1.5.3. – Допунске ознаке

4) Ознаке осталих особина елемената везаних за подручје толеранције пишу се уз оквир толеранције или се показном линијом повезују с њиме.



Слика 3.14.1.5.4. – Остале особине везане за подручје толеранције

5) Ако је потребно означити више толерисаних карактеристика једног елемента, ознаке се уписују у посебне оквире постављене један испод другог.

○	0,01		⊕	0,05	
//	0,05	A	↗	0,08	AB

Слика 3.14.1.5.5. – Више толерисаних карактеристика

6) Ако важи толеранција на ограниченој дужини, дужина се одваја косом цртом од толеранције (лево). Када се нека ужа толеранција на ограниченој дужини дода толеранцији целог елемента, тада се то уписује у доњем делу оквира (десно).

//	0,01/100	B	//	0,1	
				0,05/200	A

Слика 3.14.1.5.6. – Толеранција на ограниченој дужини

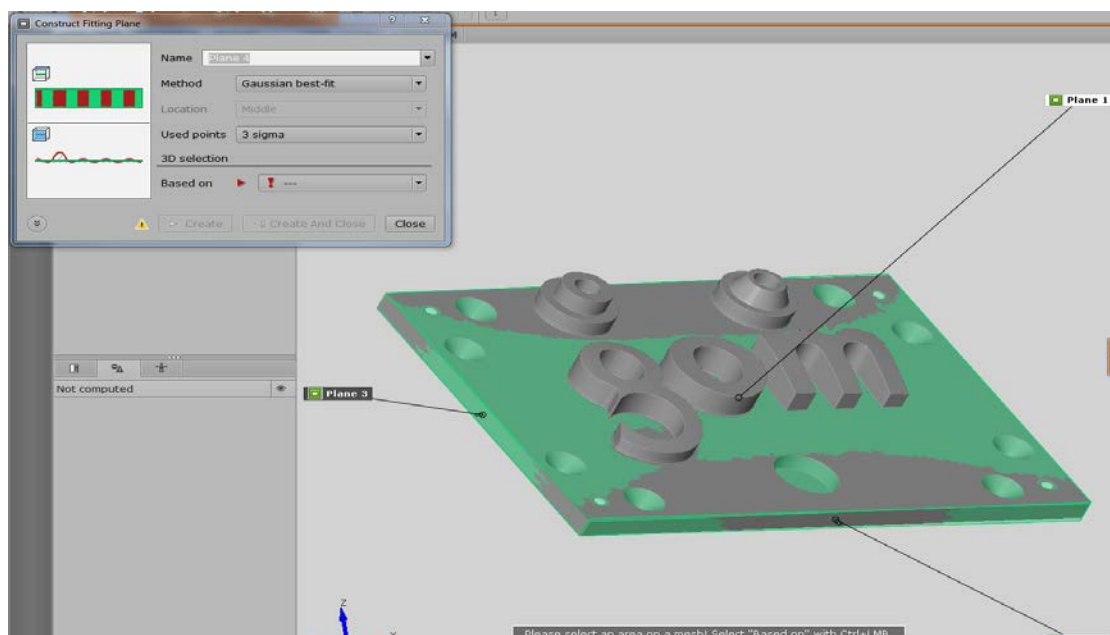
7) Ако за наведену толеранцију важи услов максимума материјала, уписује се одговарајући симбол из таблице на један од могућих начина.

⊕	∅0,05	(M)	A	⊕	∅0,05	A	(M)
⊕	∅0,05	(M)	A	(M)			

Слика 3.14.1.5.7. – Услов максимума материјала

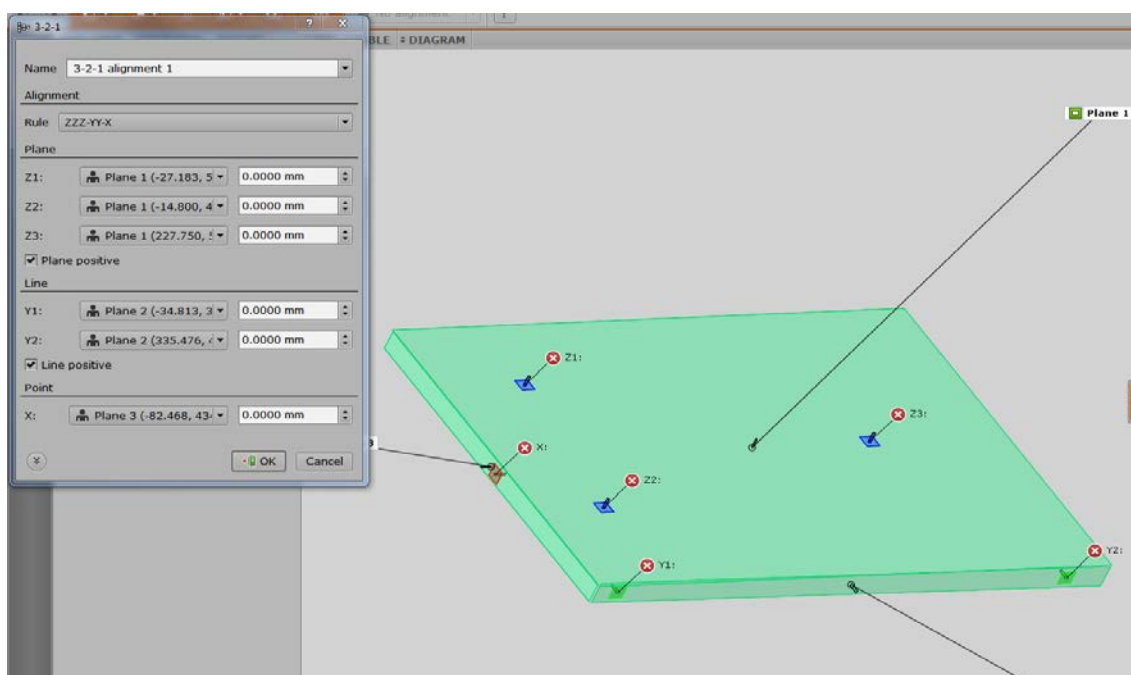
3.14.2. 3-2-1 поравнање на основу компензационих равни

У делу 3.12.1. смо већ радили са 3-2-1 поравнањем. Увозимо gom_part_meas_1.g3d датотеку мреже у GOM Inspect. Сада ћемо урадити 3-2-1 поравнање на основу компензационих равни. Прво ћемо наравно морати да конструишемо те равни, наредбом **Construct ►Plane ►Fitting Plane**. По покретању ове наредбе селекујемо и правимо три равни преко комбинације тастера Ctrl и десног клика миша (слика 3.14.2.1).



Слика 3.14.2.1. – Конструисане равни помоћу наредбе конструиши одговарајућу раван (*Construct Fitting Plane*)

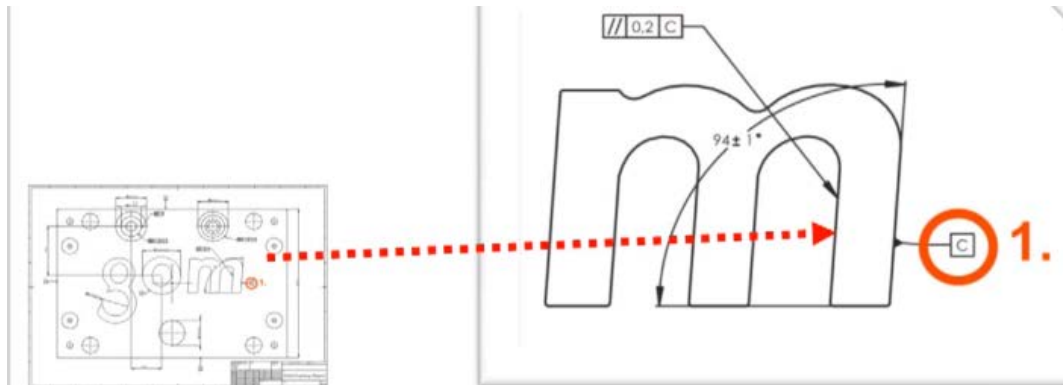
Креиране равни можемо користити за одређивање жељеног поравнања. Као и до сад, приказујемо ексклузивно креиране равни, селектовањем истих у претраживачу (*EXPLORER*) и притискањем тастера Е на тастатури, или наредбом приказивања елемента ексклузивно (*Show Element Exclusively*). Преко главне траке са алаткама (*Toolbar*) и наредбе прављења поравнања (*Create Alignment* - 3.12.) или преко **Operations ► Alignment ► Initial Alignment ► 3-2-1...** покрећемо наредбу прављења 3-2-1 поравнања. Селектујемо жељене тачке преко којих ћемо направити поравнање помоћу комбинације тастера Ctrl и левог клика миша (слика 3.14.2.2).



Слика 3.14.2.2. – Прављење 3-2-1 поравнања

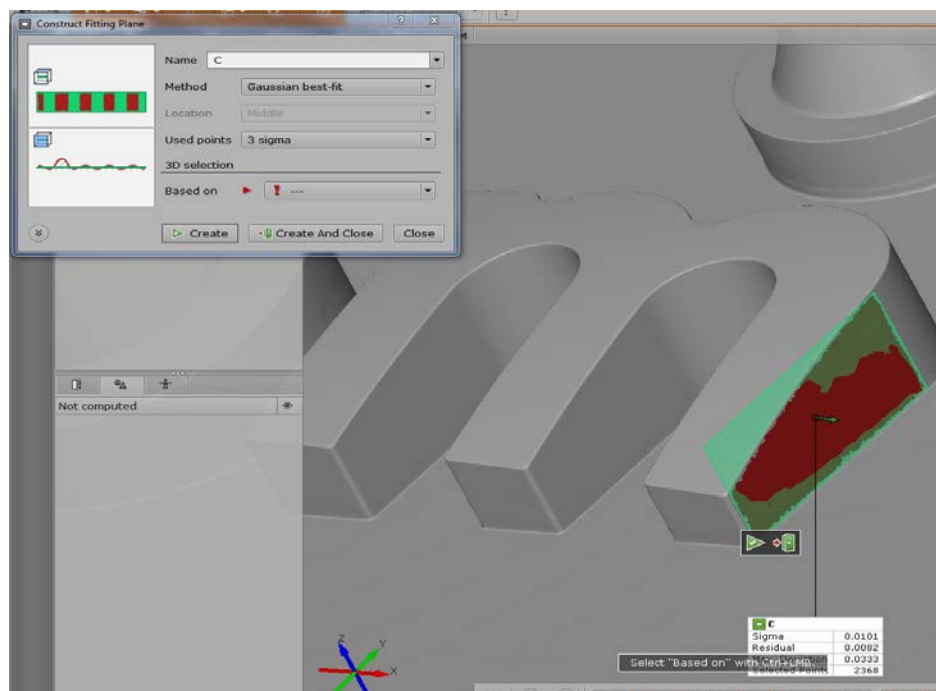
3.14.3. Контрола равности

На техничком цртежу детаљ 5 (слика 3.14.3.1.) ова раван је дефинисана као база. Пре него што се елемент користи као база требао би бити проверен у вези свог облика. Ова провера облика се за раван зове равност.



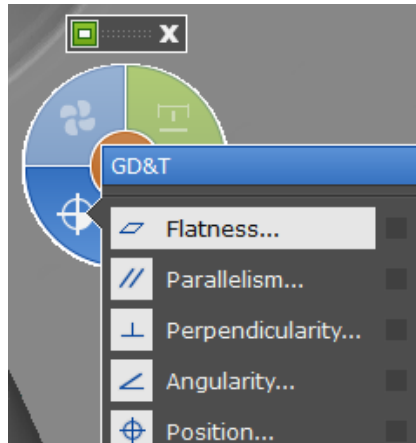
Слика 3.14.3.1. – Технички цртеж детаљ 5 у којем је раван дефинисана као база

Основни елемент за проверу равности је одговарајућа раван (*Fitting Plane*), стога, покрећемо ту наредбу преко **Construct ► Plane ► Fitting Plane**. Када смо је покренули, селекујемо раван (слика 3.14.3.2) комбинацијом тастера Ctrl и левог клика миша и у дијалогу је називамо сходно називу на техничком цртежу детаљ 5 (слика 3.14.3.1) да бисмо је лакше идентификовали у извештајима.



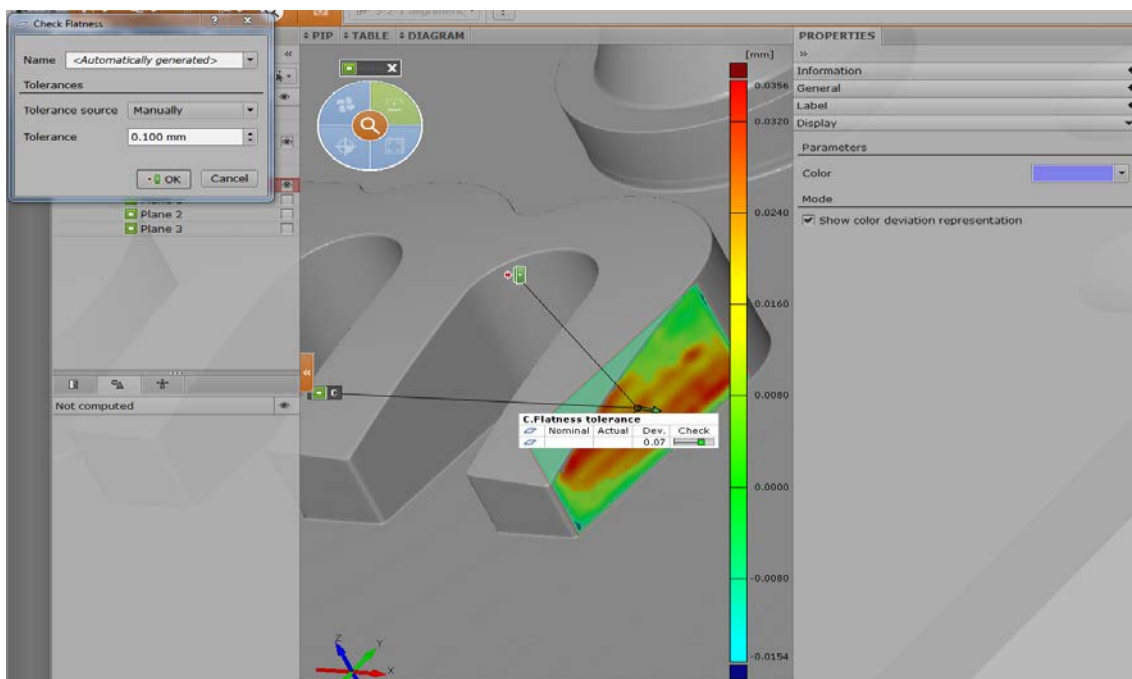
Слика 3.14.3.2. – Конструкција одговарајуће равни (*Construct Fitting Plane*)

Сада можемо да извршимо контролу ове равни преко наредбе интелигентне инспекције (*I-Inspect*) за њену равност (*Flatness* – Слика 3.14.3.3).



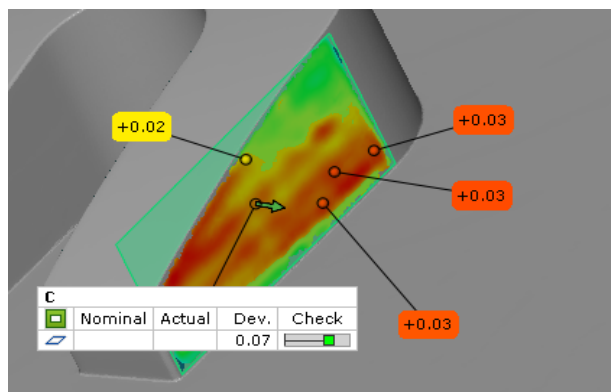
Слика 3.14.3.3. – Наредба за контролу равности (*Flatness*)

Када покренемо ову наредбу можемо уписати толеранцију (*Tolerance*) површинског одступања равности и можемо именовати ову контролу по нашој жељи. При покретању ове наредбе можемо као и до сад променити начин приказа одступања у својствима (*Properties*) док је дијалог ове наредбе отворен (слика 3.14.3.4).



Слика 3.14.3.4. – Дијалог наредбе провере равности (*Check Flatness*) и промена начина приказа одступања у својствима (*Properties*)

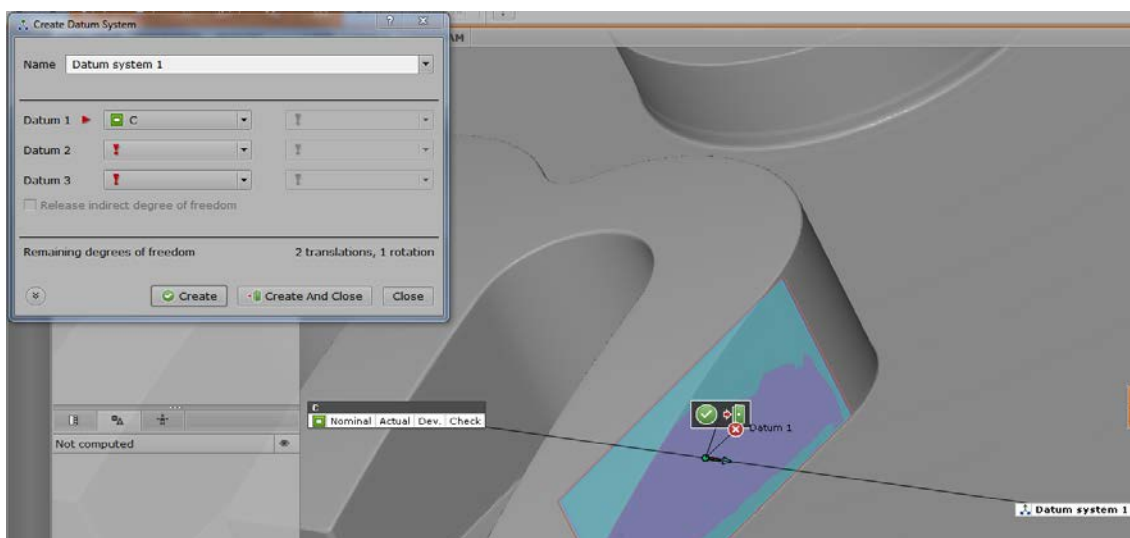
Такође можемо направити етикете одступања (*Deviation Labels* - 3.8.4), да бисмо видели колико је одступање равности у одређеном делу ове равни, као што је приказано примером (слика 3.14.3.5).



Слика 3.14.3.5. – Етикете одступања од равности

3.14.4. Генерисање база

Да бисмо користили елементе као базе, морамо их прво дефинисати. Зато покрећемо наредбу **Inspection ► Create Datum System**. По отварању дијалога ове наредбе, морамо дефинисати који елемент желимо да користимо. Селектујемо раван “C” из листе база 1 (*Datum 1*) или је селектујемо у 3D погледу комбинацијом тастера Ctrl и левог клика миша (слици 3.14.4.1).

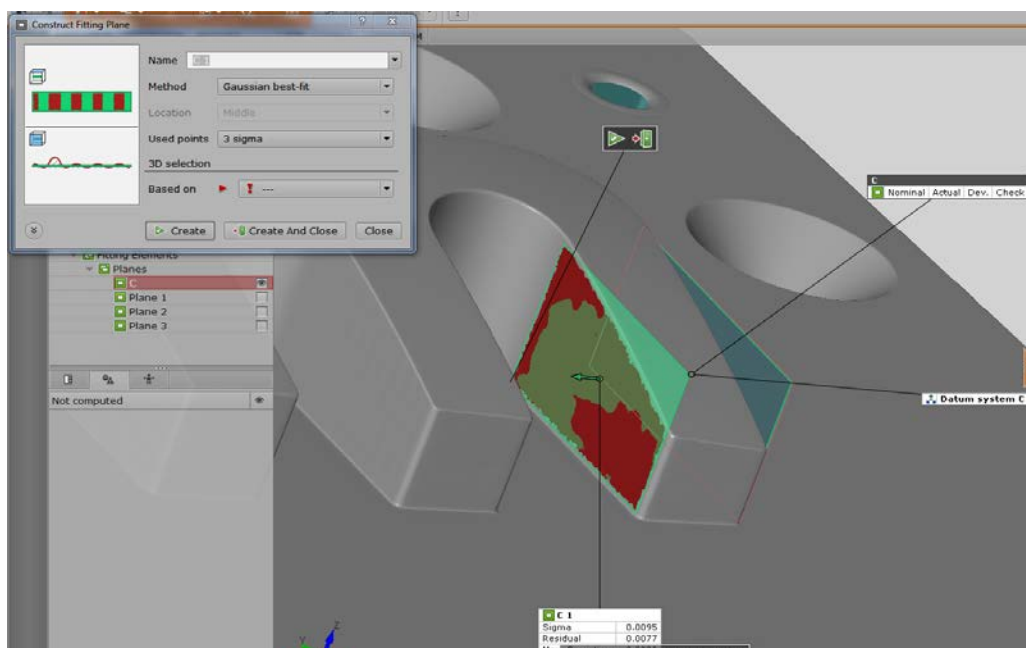


Слика 3.14.4.1. – Дефинисање база, одабир елемената (*Create Datum System*)

Када смо селектовали жељену раван, софтвер аутоматски приказује број преосталих степени слободе селектованог елемента. Примећујемо да базе (*Datum Systems*) не морају бити у потпуности дефинисане. На пример, на проверу паралелности не утиче што скуп података може и даље да се креће транслацијом или ротацијом. Потврђујемо и затварамо овај дијалог.

3.14.5. Толеранције паралелности

Сада можемо да проверимо паралелност равни која је обележена да је паралелна са равни “C” на техничком цртежу детаљ 5 (слика 3.14.3.1) Поново морамо да конструишемо одговарајућу раван (*Construct Fitting Plane*) преко наредбе **Construct ► Plane ► Fitting Plane**. Конструишемо је поступком приказаним на слици 3.14.5.1.



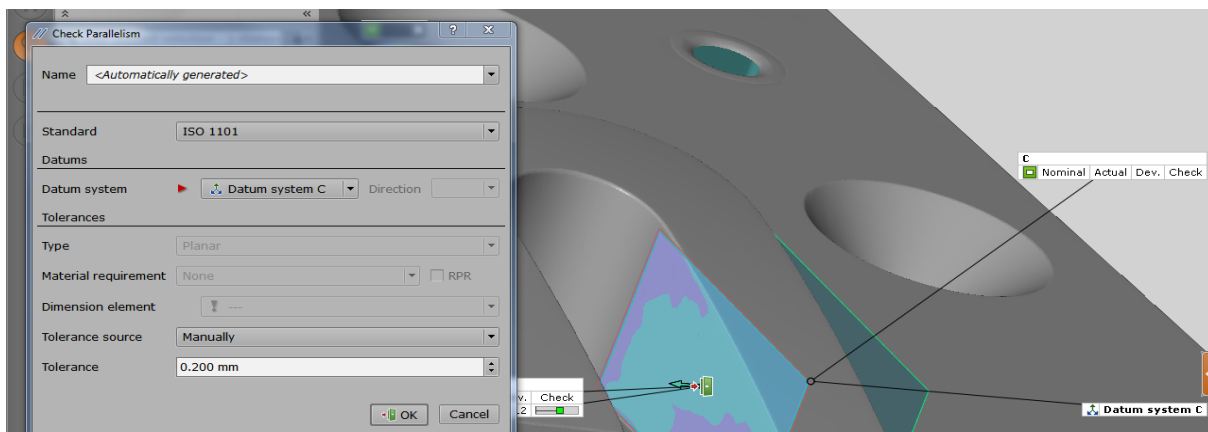
Слика 3.14.5.1. – Конструисање одговарајуће равни (*Construct Fitting Plane*) ради провере паралелизма

Када смо направили жељену раван, чију паралелност са равни "C" желимо да проверимо, користимо наредбу провере паралелности (*Parallelism*) интелигентне инспекције (*I-Inspect* - слика 3.14.5.2).



Слика 3.14.5.2. – Наредба провере паралелности (*Parallelism...*)

У дијалогу ове наредбе (слика 3.14.5.3.) бирамо нашу направљену базу (*Datum system*) у падајућем менију или 3D погледу комбинацијом тастера Ctrl и левог клика миша и уносимо вредност дозвољеног одступања (*Tolerance*) паралелности која по цртежу 5 (слика 3.14.3.1.) износи 0,2mm.

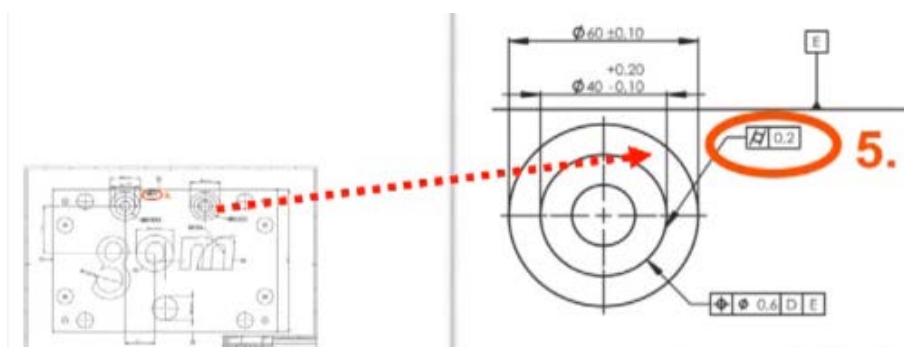


Слика 3.14.5.3. – Дијалог наредбе за проверу паралелности (*Check Parallelism*)

При провери паралелности можемо одабрати који од два понуђена стандарда желимо да одаберемо – ISO 1101 или ASME Y14.5.

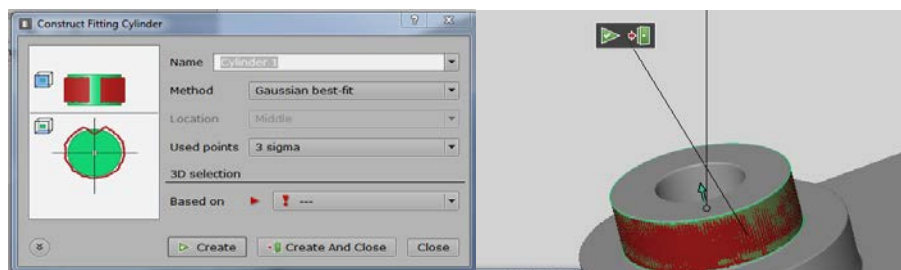
3.14.6. Толеранције цилиндричности

На техничком цртежу детаљ 6 (слика 3.14.6.1.) видимо да је постављена толеранција цилиндричности.



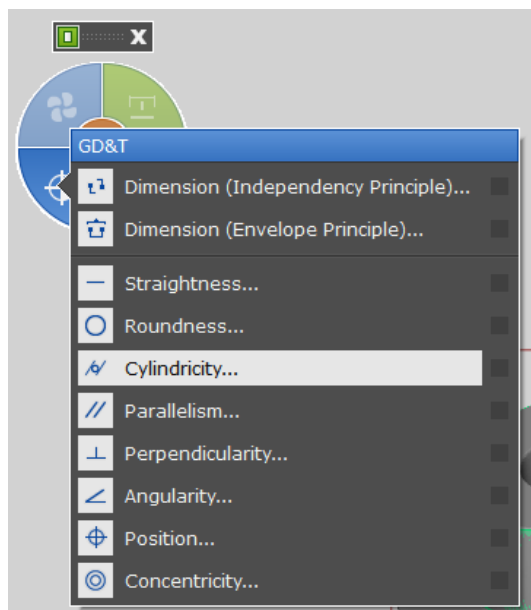
Слика 3.14.6.1 – Технички цртеж детаљ 6 - толеранција цилиндричности

Поново, да бисмо проверили ову врсту толеранције, морамо прво да конструишемо одговарајући елемент, у овом случају цилиндар. То ћемо постићи преко наредбе **Construct ► Cylinder ► Fitting Cylinder**. По отварању овог дијалога селекујемо жељени цилиндар комбинацијом тастера Ctrl и левог клика миша (слика 3.14.6.2).



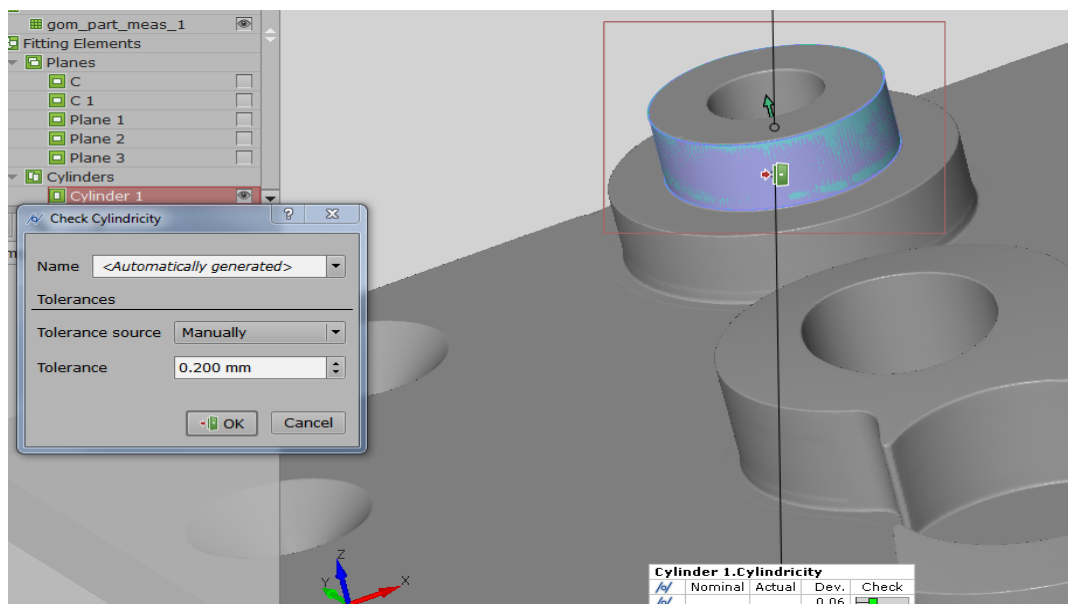
Слика 3.14.6.2 – Селектовани одговарајући цилиндар и наредба за његово конструисање (*Construct Fitting Cylinder*)

После прављења овог цилиндра, потребно је да покренемо наредбу за проверу цилиндричности (*Cylindricity*). То постижемо преко наредбе интелигентне инспекције (*I-Inspect*) у главној траци са алаткама (*Toolbar* - слика 3.14.6.3).



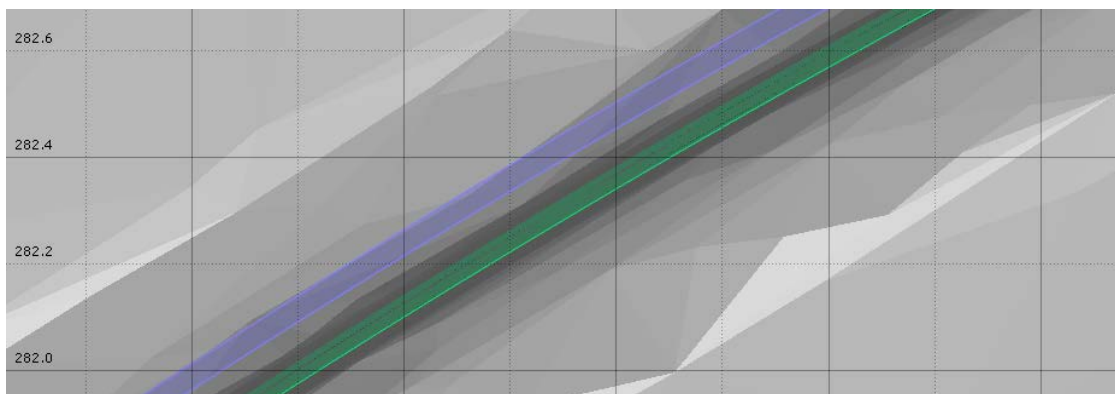
Слика 3.14.6.3 - Наредба за проверу цилиндричности (*Cylindricity*)

По отварању дијалога ове наредбе дајемо назив који желимо или га софтвер аутоматски даје, а затим уносимо вредност толеранције (*Tolerance*) – слика 3.14.6.4.



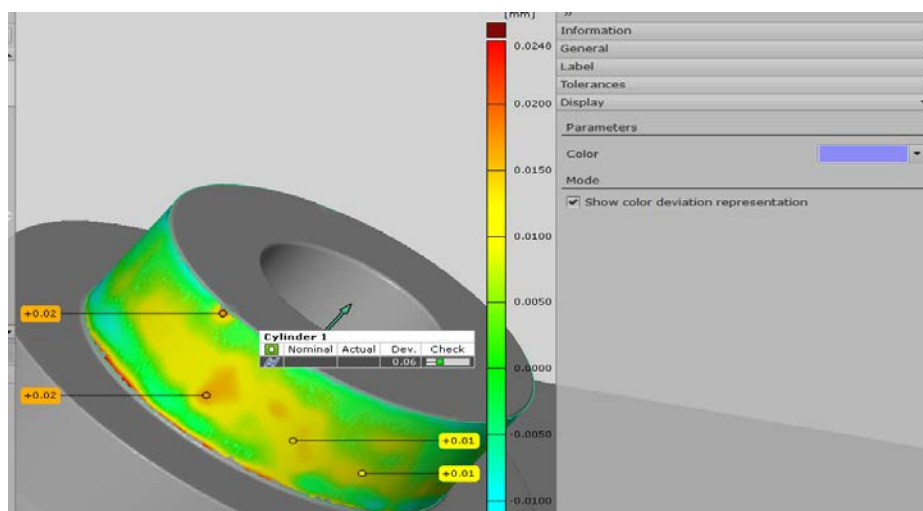
Слика 3.14.6.4 – Провера цилиндричности (*Check Cylindricity*) селектованог цилиндра

Када увећамо довољно слику у 3D погледу можемо видети интерактивно да ли је цилиндар у границама одступања (слика 3.14.6.5).



Слика 3.14.6.5 – Увећани приказ одступања у 3D погледу

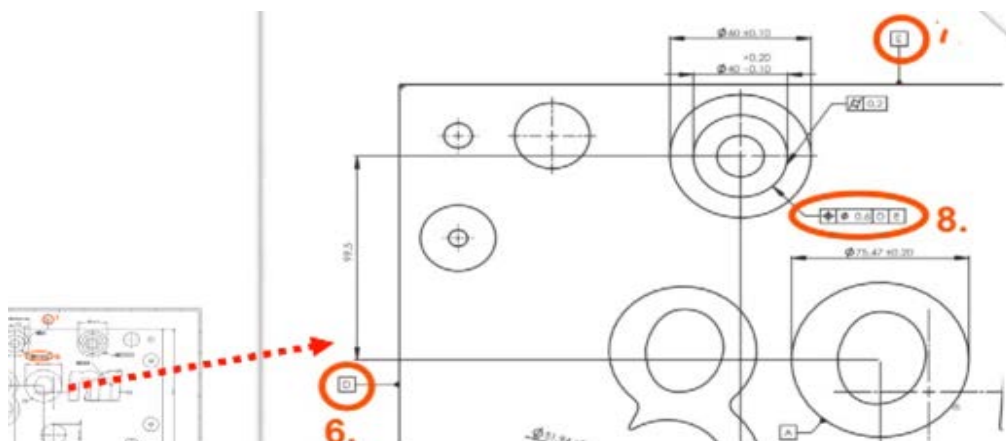
На овако увећаном приказу плава боја приказује границу толеранције одступања, а зелена стварно одступање селектованог цилиндра. Као и у сваком приказу одступања до сад и овде можемо променити својства (*Properties*) овог одступања и приказати одступања у боји и ставити етикете одступања (*Deviation Labels*) - слика 3.14.6.6.



Слика 3.14.6.6 – Приказ одступања у боји и постављање етикета одступања (*Deviation Labels*)

3.14.7. Толеранција положаја

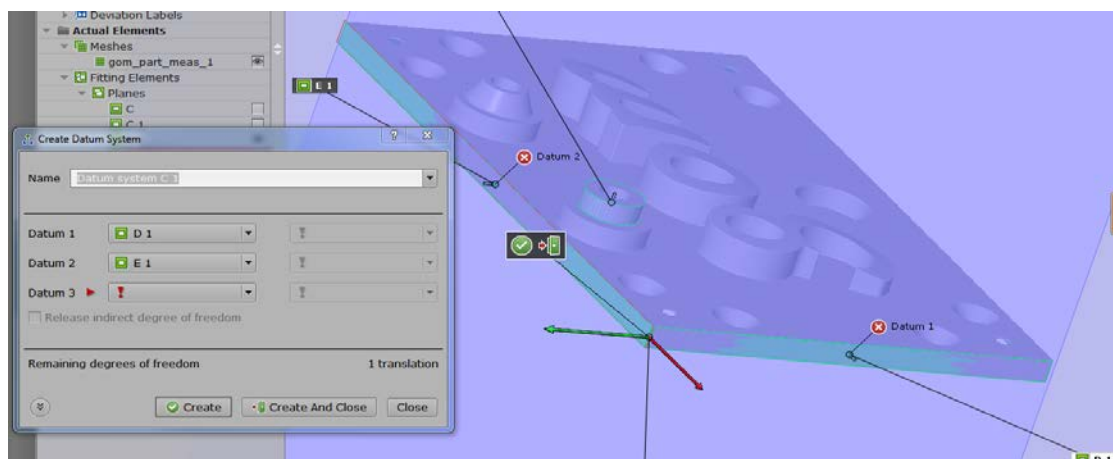
Анализирамо положај цилиндра $\varnothing 40$ у односу на базе “D” и “E”, према техничком цртежу приказаном на слици 3.14.7.1.



Прво креирамо базе (*Datum System*). Да би креирали ове базе потребно је да направимо две одговарајуће равни (*Fitting Plane*), наредбом **Construct ► Plane ► Fitting Plane** и селектовањем две површине комбинацијом тастера Ctrl и левог клика миша (слика 3.14.7.2). Дајемо им назив према словима на цртежу (слика 3.14.7.1), слова „D“ и „E“.

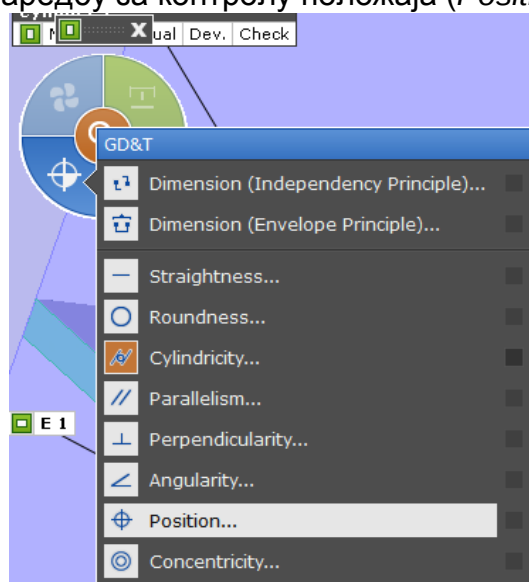
Сада покрећемо наредбу **Inspection ► Create Datum System**. Да бисмо дефинисали ове равни као базе (*Datum System*) потребно је да селекујемо ове две равни (слика 3.14.7.3).

Овде је сада битно да редослед селектовања у дијалогу наредбе прављења база (*Create Datum System*) буде тачан, пошто је ово од изузетне важности за тачну контролу. Прво селекујемо раван “D”, а затим раван “E” комбинацијом тастера Ctrl и левог клика миша.



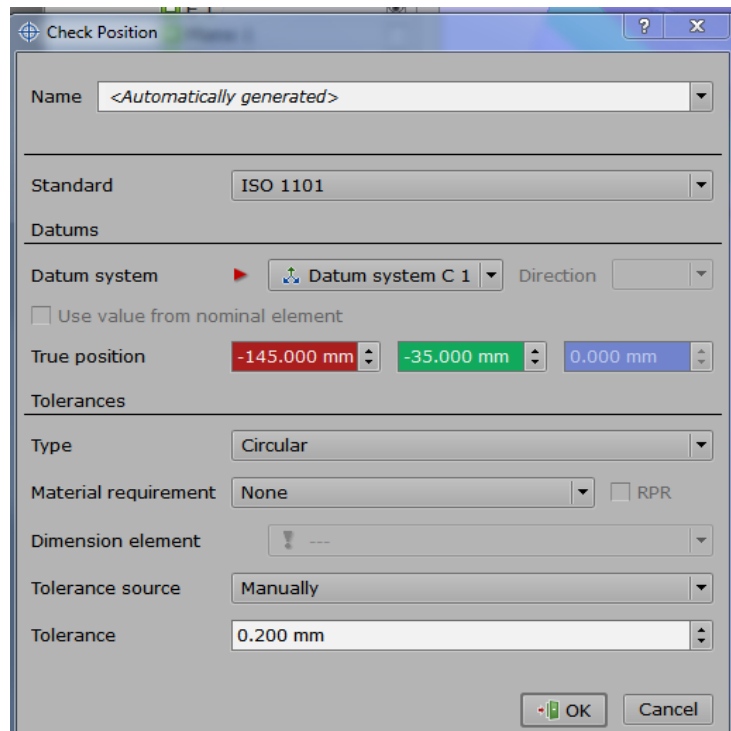
Слика 3.14.7.3 – Дијалог наредбе прављења база (*Create Datum System*) и селектоване равни

Сада имамо све елементе који су потребни за анализу положаја овог цилиндра. Селектујемо цилиндар у претраживачу (*EXPLORER*) и отварамо наредбу интелигентне инспекције (*I-Inspect*) која се налази у главној траци са алаткама (*Toolbar*) где бирамо наредбу за контролу положаја (*Position*) - слика 3.14.7.4.



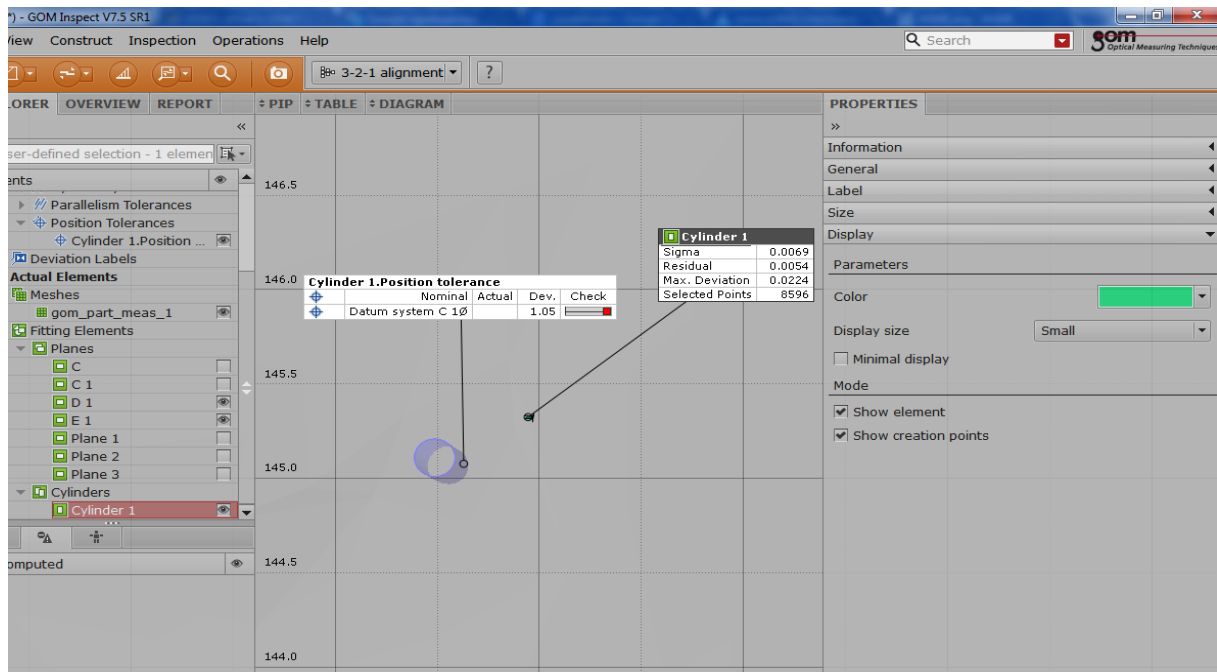
Слика 3.14.7.4 – Наредба за контролу положаја (*Position*)

У дијалогу који нам се отвори активирањем ове наредбе под базом (*Datum system*) бирамо нашу направљену базу, уносимо прави – номинални положај који смо прочитали са техничког цртежа детаљ 7, 3.14.7. - слика 3.14.7.1. (-145mm, -35mm) и бирамо тип толеранције (*Type*) као кружни (*Circular*) – слика 3.14.7.5.



Слика 3.14.7.5 – Дијалог наредбе провере положаја (*Check Position*)

Ако желимо да проверимо где се налази оса цилиндра, потребно је да селекујемо цилиндар у претраживачу (*EXPLORER*) и да отворимо његова својства (*Properties*), а затим штиклирамо опцију покажи тачке стварања (*Show creation points*). На слици 3.14.7.6. видимо увећан 3D приказ центра цилиндра.



Слика 3.14.7.6. – Приказ одступања осе цилиндра

4.Поређење резултата мерења

Поређење резултата мерења извршено је мерењем паралелних граничних мерила за дужину.

4.1. Паралелна гранична мерила

Паралелна гранична мерила су најтачнија мерила која се употребљавају у машинској обради. Оваква мерила спадају у групу једноструких мерила - инструменти без скала, помоћу којих се може контролисати или мерити једна мера. Једноструким мерилима највише се мери дужина, угао и навој. Она су у облику плочица и њихове равне и паралелне мерне површине дају референтну дужину. Мерила су правоугаоног попречног пресека и могу имати димензије од 9mm x 30mm за димензије до 10mm дужине, 9mm x 35mm за дужине веће од 10 mm и 15mm x 15mm или округао пречника 20mm ако служе за контролу машина алатки. Начин израде, намене и начини контролисања овим мерилима дефинисани су стандардом ISO 3650:1978. Користе се као: референтни еталони за преношење димензије мерне јединице са примарног еталона на мерила која су мање тачности, калибрацију мерила и за директно мерење индустријских делова. Праве се од челика отпорног на корозију, хабање и топлоту, а коефицијент дилатације ових челика се креће у опсегу $(11.5 \pm 1.5) \cdot 10^{-6} \text{mm/mm}^\circ\text{C}$. За специјалне потребе могу бити направљене од тврдог метала или кварца.



Слика 4.1.1. – Паралелна гранична мерила називних мера 100mm-500mm

Мерења су вршена у климатизованој просторији на температури $20 \pm 0,5^\circ\text{C}$.

4.2. Мерни системи коришћени за мерење

Дужине паралелних граничних мерила мерене су са 4 мерна система: а) Оптички мерни систем TRITOP, б) Оптички мерни систем ATOS, ц) Мерна рука ROMER Absolute Arm, д) Мерна рука FARO Arm Platinum (слика 4.2.1).



(а)



(б)



(ц)

(д)

Слика 4.2.1. – Мерни системи: а) Оптички мерни систем TRITOP, б) Оптички мерни систем ATOS, ц) Мерна рука ROMER Absolute Arm, д) Мерна рука FARO Arm Platinum

4.2.1. Оптички мерни систем ATOS

Оптички мерни систем ATOS спада у групу скенера структурираног светлосног скенирања. Произвођач овог мерног уређаја је немачка фирма GOM из Braunschweigа. Мобилни оптички мерни уређај - ATOS заснован је на принципу триангулације. Ради тако што на објекат који меримо пројектује узорке паралелних линија и снима их помоћу две камере. За сваки поједини пиксел у камерама се високом прецизношћу одређују тродимензионалне координате и припадајуће тачке са снимане површине. Тиме се ствара полигонална мрежа која детаљно описује форму дигитализованог објекта. Захваљујући јединственој конструкцији са две камере, висококвалитетни скенови површине објекта могу се допунити тактилно измереним тачкама. ATOS-ова мерна сонда својим могућностима, поузданошћу и лакоћом коришћења далеко премашује мобилне трокоординатне уређаје (мерне руке).

Основне карактеристике овог мерног уређаја су: велика мобилност, применљивост за мерење објеката различитих величина и сложености, робусност, компактност, веома брзо мерење – мање од једне секунде, једноставно руковање. Користи се као самостални систем или као ATOS XL конфигурација (са TRITOP системом). Једноставно се интегрише са системима за аутоматизацију, роботима и ротацијским столовима.

Мерни систем ATOS помоћу тродимензионалне дигитализације одређује на објектима свих величина и сложености следеће вредности: високопрецизне 3D координате, одступања комплетне површине од CAD-а, анализе дуж пресека или ивица.

Изузетне перформансе, висока резолуција детаља и широк распон мерних подручја омогућују ефикасно и прецизно прикупљање и приказивање података за: контролу квалитета, реверзни инжењеринг, брзу израду прототипова, брзо глодање и брзу израду алата, дигитално моделирање и монтажу.

4.2.2. Оптички мерни систем TRITOP

TRITOP је индустријски оптички мерни систем који се користи за бесконтактно рење високе поузданости. Произвођач је немачка фирма GOM. Овај мерни уређај има следеће карактеристике:

- покретљивост уз коришћење стандардног преносног рачунара,
- флексибилне величине мерног објекта од 0,1 до 20m,
- лако и брзо прикупљање снимака,
- брзи бежични пренос фотографија,
- аутоматско мерење дигиталних слика,
- прецизно мерење 3D координата, маркера и адаптера,
- визуализација помака и директна повезаност са другим дигитализаторима (нпр. ATOS).

Опрема се састоји од професионалне дигиталне камере, преносивог рачунара – лаптопа са јаким процесором и великим капацитетом RAM меморије, референтних мерних летви, некодираних и кодираних референтних тачака, адаптера и ситног прибора, што чини систем лако преносивим. Приликом мерења овим системом релевантне тачке објекта се означавају маркерима, адаптерима или ознакама, а предмет се слика из више положаја фотограметријском камером високе резолуције. Помоћу добијених дигиталних

слика TRITOP софтвер израчунава 3D координате залепљених маркера и адаптера.

4.2.3. Мерна рука FARO Arm Platinum

Мерна рука FARO Arm Platinum (слика 4.3.3.1.б) је једна од три модела понуђених од стране произвођача FARO: Quantum, Platinum и Fusion. FARO нуди различите методе монтаже ових мерних система у зависности од потребе. Овај мерни систем спада у групу преносивих координатних мерних машина. Координатне мерне машине (*Coordinate Measuring Machines - CMM*) су мерни уређаји који користе покретне сонде. Положај сонде се прати низом енкодера дуж сваке осе машине. Ови енкодери, које зову и мерне траке, могу да прате померање мерне сонде до тачности у нанометрима уз једину нетачност мерења у виду крутости саме машине. *CMM* машине су још познате и као контактне сонде зато што сонда мора да оствари контакт да би издејствовала меру. Оне могу бити фиксно намонтиране или преносиве. Преносиве *CMM* руке су вишестраније али понекада мање тачности јер имају већу склоност да изгубе калибрацију. *CMM* машине могу такође да се комбинују са бесконтактним технологијама за скенирање да би се ухватиле мере целе површине. FARO рука прави тродимензионални шематски план мереног објекта. Како корисник наводи сонду преко површине објекта, софтвер у преносивом рачунару повезаном са истом црта и прави снимке свих 3D мера. Прецизност овог мерног система је $\pm 0.029\text{mm}$.

4.2.4. Мерна рука ROMER Absolute Arm

Мерна рука ROMER Absolute Arm (слика 4.3.3.1.а) такође спада у групу преносивих координатних мерних машина (*CMM*) и ради на истом принципу као мерна рука FARO Arm Platinum. Овај мерни систем је најновија ROMER иновација и члан је породице производа Hexagon Metrology фирме. Овај уређај има апсолутне енкодере, тако да се калибрација истог врши аутоматски. Прецизност овог мерног система је $\pm 0.037\text{mm}$.

4.3. Поступак мерења

Пре постављања ових уређаја врши се припрема контролних граничних мерила. Очишћено је свако мерило, а затим су залепљене референтне тачке на њих одговарајућим распоредом. Референтне тачке су лепљене на три површине сваког контролног граничног мерила које су меродавне за прављење налагања у софтверу и одређивање жељених димензија. После припреме позиционирамо мерила, референтне мерне летве и кодиране тачке по столу на којем су вршена сва мерења. Пошто се раде обе методе (контактна и бесконтактна), група мерних полуга се причвршћује за подлогу односно плочу стола стегом (слика 4.3.1.а) да не би дошло до њиховог померања при контакту са сондама мерних рука.

Након позиционирања ових мерила врши се калибрација оптичког скенера ATOS. Површине контролних граничних мерила морају да се замаскирају против рефлексије (слика 4.3.2.б).



Слика 4.3.1. – Позиционирање контролних граничних мерила пре мерења и припрема мерног волумена

Површине се маскирају спрејом беле боје чији је слој дебљине неколико микрометара, тако да је утицај овог спреја на тачност занемарљива.

Маскирање је неопходно због јарке светлости коју одаје оптички скенер ATOS, а она се лако рефлектује од површине ових мерила што чини добијање одговарајућих површина на рачунару немогуће.

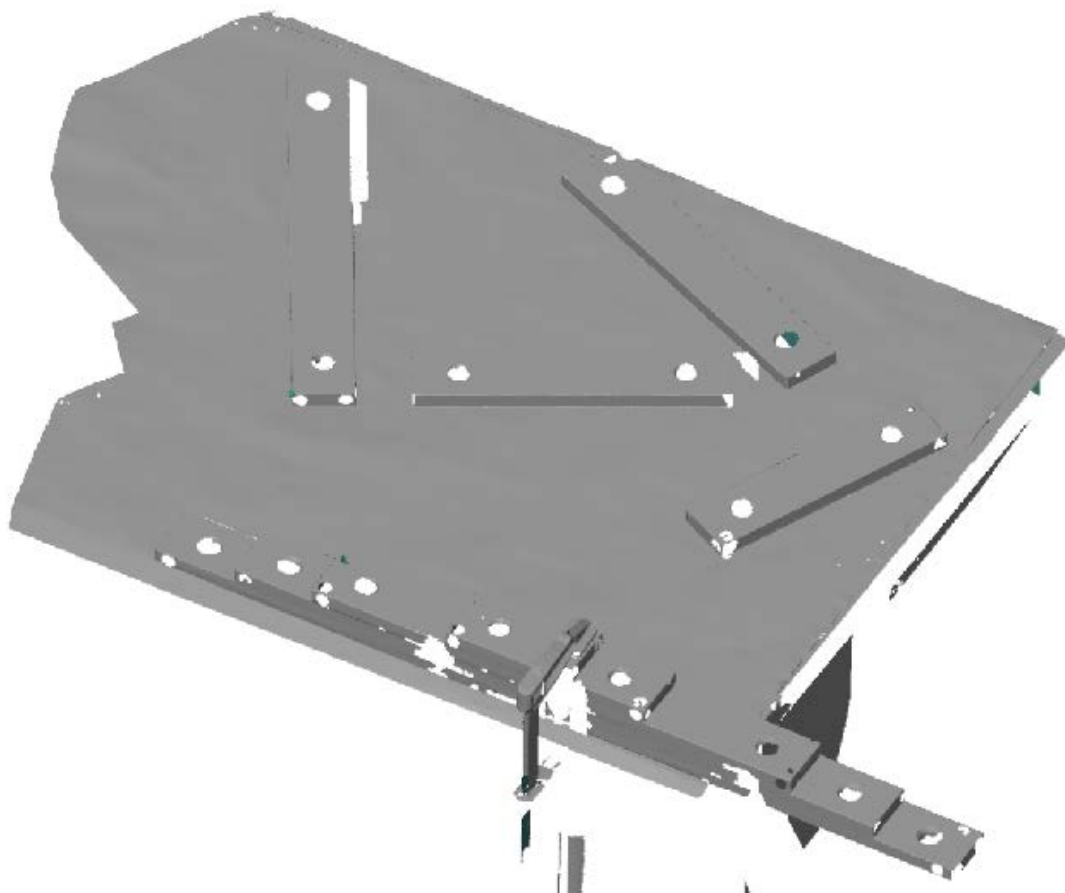
Када су све површине спремне, почиње се са мерењем оптичким мерним системом ATOS (слика 4.3.1.1).

4.3.1 Мерење оптичким мерним системом ATOS

Притискањем тастера Space на преносивом рачунару који је повезан са скенером снимамо жељена подручја, притом гледамо како се модел креира у софтверу и у складу са тим померамо скенер да бисмо добили жељене резултате. На слици 4.3.1.2 видимо креирање 3D модела у софтверу.



Слика 4.3.1.1. – Мерење оптичким скенером ATOS



Слика 4.3.1.2. – Модел добијен 3D скенирањем оптичким мерним системом ATOS

4.3.2. Мерење оптичким мерним системом TRITOP

Мерење је извршено снимањем серија фотографија обилажењем око мерног волумена (слике 4.3.2.2) и фотографисањем истих из што више углова је могуће, да би све референтне тачке биле јасно видљиве у софтверу за обраду мера. Мерења су извршена конфигурацијом мерног уређаја приказаном у табели 4.3.2.1.

Компонента	Карактеристика
Фотограметријска камера	NIKON D200 12Mpx
Референтне мерне летве	Optical Scale Bar 1000mm SG00243, Dist.0/1: 906.351mm, CrNi Steel on $20^{\circ}\text{C } 16.2 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ SG00244, Dist.2/3: 907.577mm, CrNi Steel on $20^{\circ}\text{C } 16.2 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$
Кодиране референтне тачке	15bit Coded Reference Points
Програм	TRITOP v602 GOM Inspect

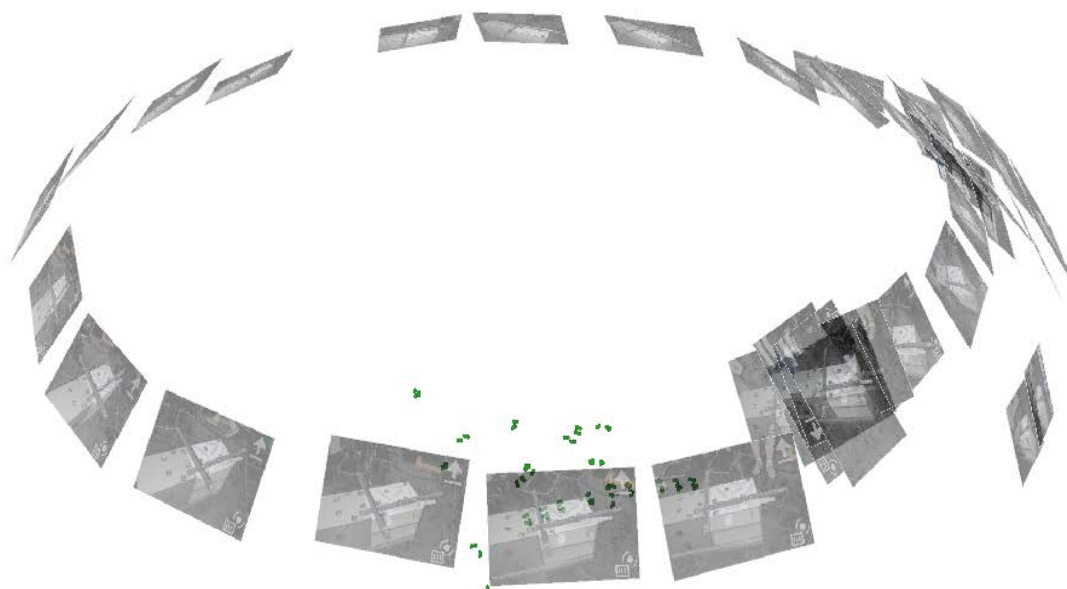
Табела 4.3.2.1. – Конфигурација мерног уређаја



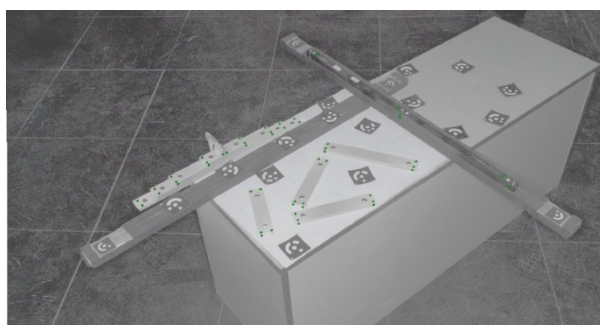
(a)

(б)

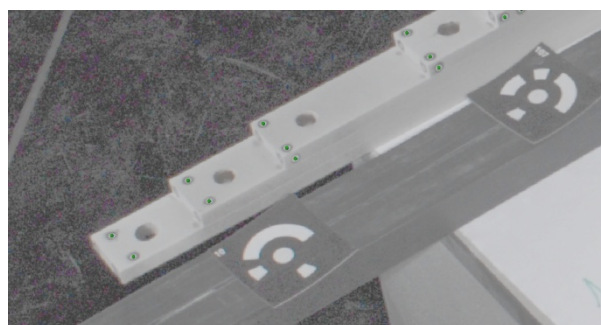
Слика 4.3.2.2. – Снимање фотограметријских фотографија



Слика 4.3.2.3. – Распоред фотограметрисјких фотографија при мерењу



(a)



(б)

Слика 4.3.2.4. – Кодирание и некодирание референтне тачке идентификоване у софтверу

4.3.3. Мерење мерним рукама ROMER Absolute Arm и FARO Arm Platinum

Сада се мере жељена растојања помоћу две механичке мерне руке које су различитих марки. Принцип мерења овим уређајима је исти, а мерене су само причвршћене контролне граничне мерне полуге.

Мерење мерном руком се своди на прислањање сонде (контакт) на одређену површину, а затим прављење тачака додиривањем те површине сондом и потврђивање тастерима. Потребно је дефинисати минимално три тачке на једној површини за прављење једне жељене равни у софтверу који се налази у рачунару повезаним са мерном руком.

На слици 4.3.3.1.а видимо мерење мерном руком марке ROMER, а на слици 4.3.3.2.б мерном руком марке FARO.



Слика 4.3.3.1. – Мерење мерним рукама: (а) ROMER Absolute Arm и(б) FARO Arm Platinum

4.4. Резултати

4.4.1. – Апсолутне вредности измерених дужина

Табела 4.4.1.1 – Прво мерење

Називна мера	ATOS	TRITOP V602	TRITOP GOM Inspect	FARO	ROMER
20	19,992	19,996	19,947	20,078	20,037
125	125,032	124,983	124,938	125,064	125,032
150	150,014	150,008	150,010	/	/
175	175,041	175,033	174,895	/	/
200	200,050	200,008	199,973	/	/
250	250,015	249,984	250,010	/	/
300	299,977	299,957	299,886	300,046	300,008
400	400,086	399,970	399,994	400,026	400,005
500	500,080	/	500,017	500,034	500,023

Табела 4.4.1.2 – Друго мерење

<i>Називна мера</i>	<i>ATOS</i>	<i>TRITOP V602</i>	<i>TRITOP GOM Inspect</i>	<i>FARO</i>	<i>ROMER</i>
20	20,056	20,033	20,026	20,004	20,014
125	125,076	124,975	124,985	124,983	125,017
150	150,101	149,961	149,959	/	/
175	175,099	174,974	174,934	/	/
200	200,037	199,994	199,991	/	/
250	250,067	249,994	249,986	/	/
300	300,053	299,943	300,003	299,959	300,026
400	400,075	399,990	399,991	399,941	400,013
500	500,060	/	499,977	499,964	500,021

Табела 4.4.1.3 – Треће мерење

<i>Називна мера</i>	<i>ATOS</i>	<i>TRITOP V602</i>	<i>TRITOP GOM Inspect</i>	<i>FARO</i>	<i>ROMER</i>
20	20,005	20,024	20,030	19,988	20,010
125	125,041	124,986	125,005	124,983	125,009
150	150,095	149,975	149,975	/	/
175	175,054	174,958	174,968	/	/
200	200,065	199,999	200,002	/	/
250	250,081	250,010	249,995	/	/
300	300,115	299,964	299,999	299,987	300,020
400	400,126	400,023	400,022	399,977	400,012
500	500,138	/	500,012	499,989	500,016

4.4.2. – Одступање у односу на просечне вредности измерених дужина

Табела 4.4.2.1 – Просечна измерена вредност свих мерења

<i>Називна мера</i>	<i>Просечна измерена вредност</i>
20	20,016
125	125,007
150	150,026
175	175,027
200	200,026
250	250,025
300	299,996
400	400,017
500	500,028

Табела 4.4.2.2 – Прво мерење

<i>Називна мера</i>	<i>ATOS</i>	<i>TRITOP V602</i>	<i>TRITOP GOM Inspect</i>	<i>FARO</i>	<i>ROMER</i>
20	-0,024	-0,020	-0,069	0,062	0,021
125	0,025	-0,024	-0,069	0,057	0,025
150	-0,012	-0,018	-0,016	/	/
175	0,014	0,006	-0,132	/	/
200	0,025	-0,017	-0,052	/	/
250	-0,010	-0,041	-0,015	/	/
300	-0,019	-0,039	-0,110	0,050	0,012
400	0,069	-0,047	-0,023	0,009	-0,012
500	0,052	/	-0,011	0,006	-0,005

Табела 4.4.2.3 – Друго мерење

<i>Називна мера</i>	<i>ATOS</i>	<i>TRITOP V602</i>	<i>TRITOP GOM Inspect</i>	<i>FARO</i>	<i>ROMER</i>
20	0,040	0,017	0,010	-0,012	-0,002
125	0,069	-0,032	-0,022	-0,024	0,010
150	0,075	-0,065	-0,067	/	/
175	0,072	-0,053	-0,093	/	/
200	0,012	-0,031	-0,034	/	/
250	0,042	-0,031	-0,039	/	/
300	0,057	-0,053	0,007	-0,037	0,030
400	0,058	-0,027	-0,026	-0,076	-0,004
500	0,032	/	-0,051	-0,064	-0,007

Табела 4.4.2.4 – Треће мерење

<i>Називна мера</i>	<i>ATOS</i>	<i>TRITOP V602</i>	<i>TRITOP GOM Inspect</i>	<i>FARO</i>	<i>ROMER</i>
20	-0,011	0,008	0,014	-0,028	-0,006
125	0,034	-0,021	-0,002	-0,024	0,002
150	0,069	-0,051	-0,051	/	/
175	0,027	-0,069	-0,059	/	/
200	0,040	-0,026	-0,023	/	/
250	0,056	-0,015	-0,030	/	/
300	0,119	-0,032	0,003	-0,009	0,024
400	0,109	0,006	0,005	-0,040	-0,005
500	0,110	/	-0,016	-0,039	-0,012

4.4.3. - Одступање у односу на називну вредност паралелних граничних мерила за дужину

Табела 4.4.3.1 – Прво мерење

<i>Називна мера</i>	<i>ATOS</i>	<i>TRITOP V602</i>	<i>TRITOP GOM Inspect</i>	<i>FARO</i>	<i>ROMER</i>
20	-0,008	-0,004	-0,053	0,078	0,037
125	0,032	-0,017	-0,062	0,064	0,032
150	0,014	0,008	0,010	/	/
175	0,041	0,033	-0,105	/	/
200	0,050	0,008	-0,027	/	/
250	0,015	-0,016	0,010	/	/
300	-0,023	-0,043	-0,114	0,046	0,008
400	0,086	-0,030	-0,006	0,026	0,005
500	0,080	/	0,017	0,034	0,023

Табела 4.4.3.2 – Друго мерење

<i>Називна мера</i>	<i>ATOS</i>	<i>TRITOP V602</i>	<i>TRITOP GOM Inspect</i>	<i>FARO</i>	<i>ROMER</i>
20	0,056	0,033	0,026	0,004	0,014
125	0,076	-0,025	-0,015	-0,017	0,017
150	0,101	-0,039	-0,041	/	/
175	0,099	-0,026	-0,066	/	/
200	0,037	-0,006	-0,009	/	/
250	0,067	-0,006	-0,014	/	/
300	0,053	-0,057	0,003	-0,041	0,026
400	0,075	-0,010	-0,009	-0,059	0,013
500	0,060	/	-0,023	-0,036	0,021

Табела 4.4.3.3 – Треће мерење

<i>Називна мера</i>	<i>ATOS</i>	<i>TRITOP V602</i>	<i>TRITOP GOM Inspect</i>	<i>FARO</i>	<i>ROMER</i>
20	0,005	0,024	0,030	-0,012	0,010
125	0,041	-0,014	0,005	-0,017	0,009
150	0,095	-0,025	-0,025	/	/
175	0,054	-0,042	-0,032	/	/
200	0,065	-0,001	0,002	/	/
250	0,081	0,010	-0,005	/	/
300	0,115	-0,036	-0,001	-0,013	0,020
400	0,126	0,023	0,022	-0,023	0,012
500	0,138	/	0,012	-0,011	0,016

Закључак

Практичан део овог рада показао је многе предности мерења бесконтактним оптичким мерним системима у односу на мерења контактним методама. Поређење тачности ових метода указује на то да и бесконтактним методама може да се постигне висок ниво тачности мерења жељене мере. Уз упутство за алате који се користе при контроли и опште смернице приказане у раду корисник ових мерних метода би требао да добије основно разумевање оптичких мерних метода и да буде у могућности да изврши контролу жељеног предмета.

Битна предност оптичких мерних система у односу на контактне мерне системе је што мерење помоћу сонди контактних мерних система одређује ивице и друге битне облике рачунајући пресеке и растојања равни на основу пар тачака, а оптички мерни системи проналазе ивице и облике директно. Контактне методе су ограничене бројем тачака које добијају у анализи. За сваку тачку на различитим равнима потребан је прилаз, контакт, потврђивање, повлачење и репозиционирање.

Неке од предности мерењем оптичким мерним системима у односу на тактилне:

- Сакупљање великог броја тачака сваким начињеним снимком
- Брже и прецизније мерење складиштењем огромне количине информација веома брзо
- Брже позиционирање и калибрација
- Контрола деформације целе површине
- Контрола објекта велике сложености
- Могућност мерења са удаљености без утицаја на мерни објекат

Мерење без утицаја на мерни објекат је нарочито битно у случајевима када је мерни објекат од таквог материјала (нпр. гума) да је мерење контактним методама немогуће.

Литература

- [1] Milan Blagojević, Miroslav Živković, 3D Deformation Measurement of Car Body Parts Based on Point Cloud Generated by Optical Measuring Techniques, International Congress Motor Vehicles & Motors 2012 - MVM2012, Kragujevac, Serbia, 2012, October 3rd-5th, pp. 326-333, ISBN 978-86-86663-91-7
- [2] Milan Blagojević, Miroslav Živković, Aleksandar Nikolić, The Influence of the DSLR Camera Shutter Count on The Accuracy of the Photogrammetric Measurements, Conference on Mechanical Engineering Technologies and Applications - COMETA 2012, Jahorina, Bosnia and Herzegovina, 2012, November 28th-30th, pp. 601-606, ISBN 978-99938-655-5-1
- [3] Milan Blagojević, Miroslav Živković, Ana Pavlović, Quality Control of Contour Verifies Using Photogrammetric Measuring Systems, 34th International Conference on Production Engineering, Niš, Serbia, 2011, September 28th-30th, pp. 139 - 142, ISBN 978-86-6055-019-6
- [4] Blagojević Milan, Primena optičkih mernih sistema u modeliranju i simulaciji, Diplomski rad, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Kragujevac, 2009
- [5] Blagojević Milan, Merenje deformacija optičkim mernim metodama, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Kragujevac, 2011
- [6] TRITOP, User Manual – Software, TRITOP v6.1, GOM mbH, 2008
- [7] IVIEW, User Manual – Real-Time Sensor, Real-Time Sensor as of v6.1.1, GOM mbH, 2008
- [8] ARAMIS, PONTOS, User Manual – Software, TRITOP v6.1, GOM mbH, 2008
- [9] TRITOP, User Information, TRITOP Photogrammetric Camera NIKON D200, GOM mbH, 2008
- [10] TRITOP, User Information, TRITOP Adapters, GOM mbH, 2008
- [11] Milan Blagojević, Dragan Rakić, Miroslav Živković, Zoran Bogdanović, Optička koordinatna merenja delova i sklopova u automobilskoj industriji, XVI konferencija YU INFO 2010, Kopaonik, 2010, March 3rd - 6th, ISBN 978-86-85525-05-6