

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Производно машинство

Предмет: Савремени обрадни системи

Број индекса: 383/2013

Дејан З. Јовановић

Утицај режима на тачност CNC обраде глодањем

Мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. Др Богдан Недић - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог мастер рада потребно је да кандидат у почетном делу рада прикаже основне информације о технологији обраде метала глоданјем, основне параметре обраде и утицајне параметре ана тачност обраде.

Највећи део рада посветити експерименталним испитивањима утицаја режима обраде (брзине резања и брзине помоћног кретања) при обради са алатима од брзорезног челика и тврдог метала.

Препоручена литература:

- Б. Ивковић, Обрада метала резањем, Југословенско друштво за трибологију, Машински факултет, Крагујевац, 1994.
- М. Лазић, Технологија обраде метала резањем, Машински факултет, Крагујевац, 2002.
- Б. Недић, М. Лазић, Производне технологије, Обрада метала резањем (скрипта), Машински факултет, Крагујевац, 2007.

У Крагујевцу
октобар, 2015. године

Ментор:

Проф. Др Богдан Недић

Пре свега бих посветио диплому оцу Зорану и баки Викторији, нема вас али сте увек били ту и давали ми снагу да наставим даље, дугујем вам једно велико „Хвала“. Велику захвалност дугујем мајци Верици која је и поред великих успона и падова успела да ме подржи, усмери и са пуно рада и труда помогне да доведем студирање крају. Мама обећавам да ћу се за труд, рад и зној одужити! Захвалан сам брату Душку који је увек био ту у добру и злу и деди Радиши који ми је показао шта значи бити јак и стрпљив човек, поред свих недаћа.

Захваљујем се ментору проф. др Богданом Недићу на свесрдној помоћи, стрпљењу, разумевању и пре свега на трошењу свог слободног времена .

Захваљујем се господину Алексасндру Минић и господину Светозару Рајнхофер из подuzeћа „Милановић инжењеринг“, на техничкој подрици (утрошеном времену машине, потрошњи алата, потрошњи материјала) при изради практичног дела мастер рада.

Посебне похвале упућујем Милошу Вученовић, Милошу Миловановић и Душану Радовановић који су са својим дугогодишњим радом, искуством и стручношћу допринели у објашњавању и реализацији препрека експерименталног дела рада.

... будући маст. инж. машинства

Дејан Јовановић

Abstract

In any kind of conventional machining operation, dimensional and geometrical accuracy of the machined part cannot be achieved without a precise control of cutting parameters as well as positioning accuracy. Generally, dynamic and static stiffness is not a problem as it can be too high thermal deformations of the machine structure.

Also, the machining accuracy may depend on a number of factors (which will be described in detail in the further course of work), such as:

- method of clamping the work piece
- work piece material
- tool – mill (material, number of cuts, geometry, tool wear, deviation...)
- cooling (type, pressure, direction and course, temperature...)
- machine tool (construction type, accuracy, stability, rigidity, vibrations, thermal behavior)
- process (cutting conditions, cutting data, strategy/path...)
- environment (room temperature, other)

Key words: *milling, accuracy, factors.*

Резиме

У било којој врсти конвенционалне машинске операције глодањем, димензиона и геометријска тачност обрађеног дела не може се постићи без прецизне контроле параметара сечења, као и тачности позиционирања. Генерално, динамичка и статичка крутост код ових машина нису проблем, као што може бити превисока термална структурна деформација машине. Такође, тачност израде дела може зависити од низа фактора (који ће опширније бити описани у даљем току рада) као што су:

- начин стезања предмета обраде
- материјал дела
- алата – глодала (материјал, број резних ивица, геометрије, издржљивости на хабање, дилатација...)
- хлађена (тип хлађења, притисак, правац и смер, температура...)
- машине (тип конструкције машине, прецизност, стабилност, крутост, вибрације, термално понашање)
- процеса (режими обраде, подаци обраде, стратегија/путања...)
- окружења (температура просторије и друго)

Кључне речи: *глодање, тачност, фактори.*

САДРЖАЈ

1.	УВОД	1
2.	УТИЦАЈНИ ФАКТОРИ	2
2.1	Крутост алата	3
2.2	Хабање и постојаност алата.....	6
2.3	Радијално бацање вретена, еластичне чауре и носача алата	7
2.4	Тачност позиционирања и поновљивост	8
2.5	Термичко понашање машине	8
2.6	Хлађење	11
2.7	Технолошки параметри резања (брзина, посмак и дубина резања).....	12
2.8	Супротномерно и истосмерно глодање	14
3.	ОБИМНО ГЛОДАЊЕ.....	17
3.1	Параметри обимног глодања	17
3.2	Прорачун параметара обимног глодања.....	19
3.3	Механизам резања код равних глодала	24
4.	ПРАКТИЧАН (ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ) ДЕО.....	25
4.1	Тип алатне машине (глодалице).....	25
4.2	Тип алата (глодала).....	27
4.3	Софтверски CAD/CAM пакет CATIA.....	28
4.4	Средство за хлађење и подмазивање	29
4.5	Геометрија узорака	30
4.6	Стратегија глодања.....	31
4.7	Мерна машина.....	31
4.8	Материјал	32
4.9	Режими обраде	32
4.9.1	Призматичан део	33
4.10	Резултати експеримента.....	35
4.10.1	Призматичан део, глодало Ø6 HSS (истосмерно глодање)	35
4.10.2	Призматичан део глодало Ø6 HSS (супротномерно глодање)	42
4.10.3	Призматичан део глодало Ø6 VHM (истосмерно глодање)	49
4.10.4	Призматичан део глодало Ø6- тврди метал (супротномерно глодање)....	56
4.10.5	Призматичан део глодало Ø10 VHM (истосмерно глодање)	63
4.10.6	Призматичан део глодало Ø10 VHM (супротномерно глодање)	70
4.11	Дијаграмски приказ добијених резултата	76

5.	ЗАКЉУЧАК.....	82
6.	ЛИТЕРАТУРА.....	83

1. УВОД

Глодање је поступак обраде одвајањем честица (резањем) обрадних површина произвољних облика. Изводи се на алатним машинама, претежно на глодалицама и обрадним центрима, при чему је главно кретање обртно кретање алата. Помоћно кретање је најчешће кретање припремка у односу на смер кретања алата. Помоћно кретање је континуално, производног облика и смера прихваћено најчешће као кретање припремка.

У оквиру овог дипломског рада приказане су основне карактеристике глодања, карактеристике алата, материјала алата, параметри обраде и утицајни параметри на тачност обраде као и практични део у коме су описани приказни сами фактори који утичу на тачност обраде глодањем. Највећи део експерименталног дела рада је посвећен утицају режима обраде (брзине резања и брзине помоћног кретања) при обради са алтима од брзорезног челика и тврдог метала.

Кроз рад су детаљно описани најутицајнији фактори који могу да утичу на димензиону тачност, као што су:

- технолошки параметри резања
- смер глодања
- тип хлађења
- термичко понашање машине
- хабање и постојаност алата итд.

Циљ је био испитати различите алате и њихово реаговање на промену режима обраде и факторе који утичу на димензиску тачност при обради глодањем.

2. УТИЦАЈНИ ФАКТОРИ

На процес добијања димензијске тачности утиче велики број фактора у зависности о тога који је фактор у датим условима доминантан добијају се различите вредности .Утицајни фактори на машинску тачност су приказани на *слици 2.1.*, представљају независне процесне параметре према општој теорији обраде.



Слика 2.1 – Утицајни фактори на тачност обраде при операцијама глодањем [3]

Тежина сваког од ових фактора може бити променљива у зависности од врсте процеса и операције која треба да се изврши. За овај тип испитивања, који је изведен, могу се занемарити следећи фактори:

- крутост машине (нису потребне велике силе, пошто се испитивање изводило на меком материјалу – алуминијуму),
- поступак се изводио увек у истој врсти материјала,
- стезање, центрирање и остала подешавања (немају велики утицај, јер је испитивање базирано на различитим аксијалним и радијалним дубинама резања).
- хлађење и окружење (хладило се са емулзијом и температура просторије је готово била идентична)
- ексцентрично бацање глодала (свако испитивање се изводило са новим глодалом)
- ексцентрично бацање вретена (сигурно да постоји, али у веома малим границама)

Сви претходно наведени узроци се могу занемарити и рећи да су релевантни, јер је испитивање базирано на макро нивоу и укупан збир ових грешака није велики.

2.1 Крутост алата

Експеримент је рађен са различитим врстама алата односи се претежно на врсту материјала алата.

Могу се издвојити две карактеристике које су најважније при избору алата:

- отпорност трошења алата (тврдоћа алата),
- жилавост (чврстоћа алата).

У зависности од материјала који се користи при изради алата можемо поделити групе алатних материјала:

- Алатни челици,
- брзорежни челици (HSS-High Speed Steel),
- резна керамика,
- тврди метал (VHM),
- цермети,
- кубични бор нитрид (ЦБН) и поликристални дијамант (PCD).

Алатни челици – Представљају први резни материјал и везани су за прве почетке индустријске производње. Ови материјала имају најмању границу течења материјала, већ на температурама од око 350 °С, тврдоћа им са 55 до 60 HRC опада на 35 HRC, а на температурама од око 400°С и испод 20 HRC. У данашњим условима производње незамислива је тако мала брзина резања при којој је могућа употреба алатног челика као резног материјала. У обради метала резањем се више не користе, а задржали су се само у обради дрвета, папирној индустрији итд.

Брзорежни челици – Када се појавио у 19. и 20. веку, представљао је до тада незамислив резни материјал. Добио је назив по томе што је у време његове израде није било могуће вршити резање великим брзинама, одатле потиче његов назив HSS-High Speed Steel. То су високолегирани челици, легирани хромом,молибденом-Мо, волфрамом-W, ванадијем-V, а понекад и кобалтом-Со. Резне способности HSS челика добија се правилно проведенем и веома пажљиво праћеном термичком обрадом. У легирањем са резним материјалима који имају већу границу течења и тврдоћу, као нпр. тврди метал,. HSS челик има предности, као што је велика жилавост и лака обрадивост у меко жареном стању. Међутим, ове предности ипак нису довољне обзиром да брзорежни челик има мању отпорност на хабање и много мању границу течења у односу на неке друге резне материјале.

Резна керамика – представља новији резни материјал, који се у односу на друге гране индустрије, нешто касније почео користити и као резни материјал за алате. Прва истраживања и примјена керамике као резног материјала датирају још од почетка двадесетог века. Велика кртост првих врста била је главна препрека за ширу индустријску примену. Керамика је неметални материјал добивен поступком синтеровања. Производња се састоји у очвршћивању припремљеног праха и синтеровању са или без деловања силе.

Обзиром на састав постоје две врсте резне керамике:

- Керамика на бази алуминијум оксида (Al₂O₃) – оксидна керамика и

- керамика на бази силициј нитрида (Si_3N_4) – нитридна керамика.

Највећу тврдоћу има (Si_3N_4) – нитридна керамика и навећу отпорност на термички шок. Ово издваја ову врсту керамике као најбољи резни керамички материјал

Тврди метал (ТМ) – је материјал састављен од карбида волфрама, титана, тантала, молибдена и везивне металне основе, најчешће кобалта. Скоро све врсте тврдог метала садрже волфрамов карбид (WC), са или без додатка титановог (TiC) и/или танталовог (TaC) карбида. Структура ТМ се може упоредити са структуром бетона. ТМ спада у групу веома тврдых материјала отпорних на хабање и стабилним на високим температурама. Тврди метал је прво развијен у Немачкој 1929. године са саставом од волфрамовог карбид (WC) и кобалта (Co). Данас око 50% укупне годишње светске производње ТМ отпада на производњу ТМ као резног материјала. Удео тврдог метала као резног материјала у технологији обраде резањем је око 33%. Посебан сегмент у развоју резних материјала који заузима веома значајну улогу је развој површинских превлака наношене на тврди метал. Сврха површинских превлака састоји се у повећању тврдоће површине, смањење трења, а задржавањем жилавости језгра алата, постићи већу издржљивост у раду. Тврдоћа ТМ углавном је последица јаких међуатомних веза у кристалној решетки, због чега имају високу крутост и велики модул еластичности. Захваљујући тим својствима имају високу отпорност на хабање и подносе високе температуре.

Кубни нитрид бора и Поликристални дијамант (ПКД) – као што је познато најтврђи познати природни материјал је дијамант. Оно што ограничава његову већу употребу као резног материјала је његова висока цена. Дијамант је алотропска модификација угљеника у облику кубне кристалне решетке. Синтеровањем је могуће, на температури око 2500°C и притиску од 10000 МПа, добити вештачки дијамант. Тако добијени дијамант назива се поликристални (ПКД). Поликристални дијамант се користи за обраду алуминија и његових легура, магнезијума, бакра, цинка, титана, злата, сребра, неметалних материјала као што су гума, азбест, тврди метал и керамика. Други супертврди материјал је кубни нитрид бора (КБН). Кубни нитрид бора примењује се при изради калупа и алата за обликовање, при обради каљених челика и сивог лива. Особине резних материјала приказане су у табели 1.

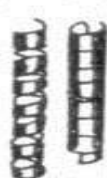
Табела 1. Основне особине резног материјала

Материјал Особине	Дијамант	HSS	Тврди метал	Цермет	Si ₃ N ₄	Al ₂ O ₃
Густина kg/m^3	3 500	3 500	14 500	6 800	3 200	4 200
Тврдоћа $,kg/mm^2$	10 000	5 000	1 500	1 600	1 600	2 500
Чврстоћа $,kg/mm^2$		110	250	200	120	40
Модул Еластичности N/mm^2	1 000 000	730 000	600 000	400 000	310 000	360 000
Температурна издржљивост W/mK	2 000	50	76	13	40	20

Овај део односи и на угиб алата (дефлексију) створене од стране силе сечења. Вретено покреће мотор који има одређену снагу и мотор је тај који доводи енергију до предмета обраде и једина ствар која повезује мотор и предмет обраде је глодало, тако да потенцијално мора да спроведе одређену величину силе. Већина силе се конвертује у сечење као резултат струготине.

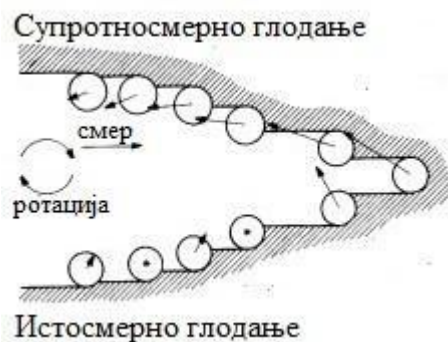
Струготина се може поделити у три групе:

- неповољну,
- добру и
- струготину која задовољава.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
												
дуга-глатка	згузвана	завојна	завојно цилиндрична	цилиндрична	кратка цилиндрична	Спирално- цилиндрична	спирална	крупно дробљена	ситно дробљена			
			ДОБРА									
НЕПОВОЉНА			ЗАДОВОЉАВА									

Слика 2.2. Врсте струготине на основу квалитета обраде

Неизбежно је да ће се одређени део силе утрошити на производњу топлоте, угиб алата, вибрације итд. Засигурно, ово није случајна грешка при машинској обради. Величина и правац силе резања зависи од геометрије алата и смера обраде (слика 2.2). Такође, дефлексија алата ће довести до неке неминовне грешке у тачности израде. Наравно, ова појава постоји скоро па у свакој операцији глодањем, али оператер за машином или програмер мора да зна који материјал обрађује (по томе задаје режиме обраде, дубину резања...) и које ће глодало искористити да би дефлексију свео на минимум и држао у прихватљивом опсегу [4].



Слика 2.3 – Утицај смера обраде на дефлексију алата [4]

Претходна слика 2.2 садржи стрелице (векторе) који показују правац дефлексије алата док се креће дуж одређене путање. Може се запазити да је код супротносмерног глодања вектор силе дефлексије скоро па паралелан са правцем кретања алата, да су вектори дужи, што указује на постојање веће силе резања. Код истосмерног глодања, вектор је скоро управан на правац кретања, а да су силе резања знатно мање.

За вретенаста глодала, повећање крутости подразумева:

- што мања дужина алата
- што краћи резни део алата (веће и круће централно језгро алата)

Са коришћењем алата мање укупне дужине и краћим резним делом, смањује се могућност велике дефлексије алата.

2.2 Хабање и постојаност алата

Све процесе обраде одвајањем материјала неизбежно прати и процес хабања резне ивице алата. Процес хабања настаје као последица оптерећења којим је алат изложен током процеса обраде (на резном алату се прогресивно губи материјал у контактним слојевима).

Ови процеси механизма хабања се могу поделити у две групе:

- као последица механичког оптерећења (адхезија и абразија)
- као последица хемијског деловања између алата, предмета обраде и околине (трибохемијско - оксидационо и корозионо хабање) [5].

Адхезивно хабање. У процесу релативног кретања долази до микрозаваривања контактних површина, а затим долази до разарања микрозаварених спојева услед јаких адхезионих сила. Раскидање се одвија у зони мекшег материјала у контакту.

Абразивно хабање настаје кретањем неравнина тврђег тела кроз површински слој тела мање тврдоће при чему се остварује микрорезање и деформација материјала контактних слојева.

У процесу остваривања контакта, обе контактне површине реагују са средином у којој се контакт остварује, односно мазиво као трећим елементом ових система, тако да се на њима стварају превлаке различитих врста. При клизању једног елемента по другом разарају се формиране хемијске превлаке и настају продукти *трибохемијског хабања*.

У процесу глодања, смањење животног века (напрснуће или лом) алата најчешће изазива струготина и она има много већи утицај него код бушења и стругања. Ово произилази због тога што је глодање најчешће прекидна операција, где резна ивица алата улази и излази у комад по неколико пута у секунди. Осим тога, дебљина струготине варира док глодало продире у материјал. Зато је пожељно да у процесу глодања постоји хлађење (емулзија или хладан ваздух), који не само што одводе генерисану топлоту у процесу резања, већ и избацују нагомилану струготину.

Животни век алата између замене или преоштравања може се дефинисати на неколико начина:

- актуелно време резања до отказа (ако је процес резања непрекидан)
- укупно време резања до отказа (ако је процес резања наизменичан)
- запремина материјала која је отклоњена током процеса резања до отказа алата
- број компоненти који је произведен до отказа алата [19]

2.3 Радијално бацање вретена, еластичне чауре и носача алата

Радијално бацање се односи на грешке при обртању калибрисаног вратила које је стегнуто у вретено. Ово узима у обзир ефекат ротационе тачности вретена и одступање осе вратила од осе вретена због стежања. Бацање зуба алата се не разматра.

У сваком случају, што је већи број обртаја, захтеви за вретено у смислу сложености израде, балансирања, радијалног бацања и стандардних компоненти као што су лежајеви су повишени. Упрошћено речено, виши квалитет лежаја доводи до геометријске савршености. Тиме се бацање своди на нижи ниво, а и повећава радни век вретена. Све ово има многу већу важност код HSM-а где су ефекти недовољног баланса и бацања увећани, што доводи до прекомерног хабања вретена и резног алата [8].

Такође, треба обрадити пажњу и на склоп еластична чаура – носач алата. У еластичну чауру се стеже алата (искључиво вретенасто глодало), затим чаура се стеже у носач алата који се поставља у машину.

За еластичну чауру је прописано радијално бацање од $0.002 - 0.02 \text{ mm}$. Наравно, што је већа прецизност израде, скупљи је и део. Еластичну чауру треба бирати на основу обраде, груба или фина, и по томе бирати максимално дозвољено бацање.

Исто тако, носач алата је карика која има велики утицај на укупну концентричност и баланс и могу се наћи у три стандарда (*ISO 30, ISO 40, ISO 50*).

2.4 Тачност позиционирања и поновљивост

Тачност позиционирања директно утиче на машинску тачност израде дела. Ове грешке се могу водити као случајне (насумичне) грешке и због тога се не могу надокнадити.



Слика 2.4 – Укупна тачност машине [9]

Повезани извори грешака тачности машине могу бити подељене на:

- **геометријске грешке** везане за основни дизајн и тачност израде машински делова
- **кинематске грешке** везане за грешке при релативном кретању машинских компоненти (обично се посматра интерполација покрета)
- **термалне грешке** везане за структурне деформације машинских компоненти као последица термичког градијента и варијација температуре
- **динамичке грешке** изазване механичким и инерционим силама које деформишу машинске компоненте

Геометријске и кинематске грешке често строго повезане и тешко их је разликовати, док су динамичке грешке занемарљиве код великих машина које су генерално веома круте и карактеришу их ниска убрзања.

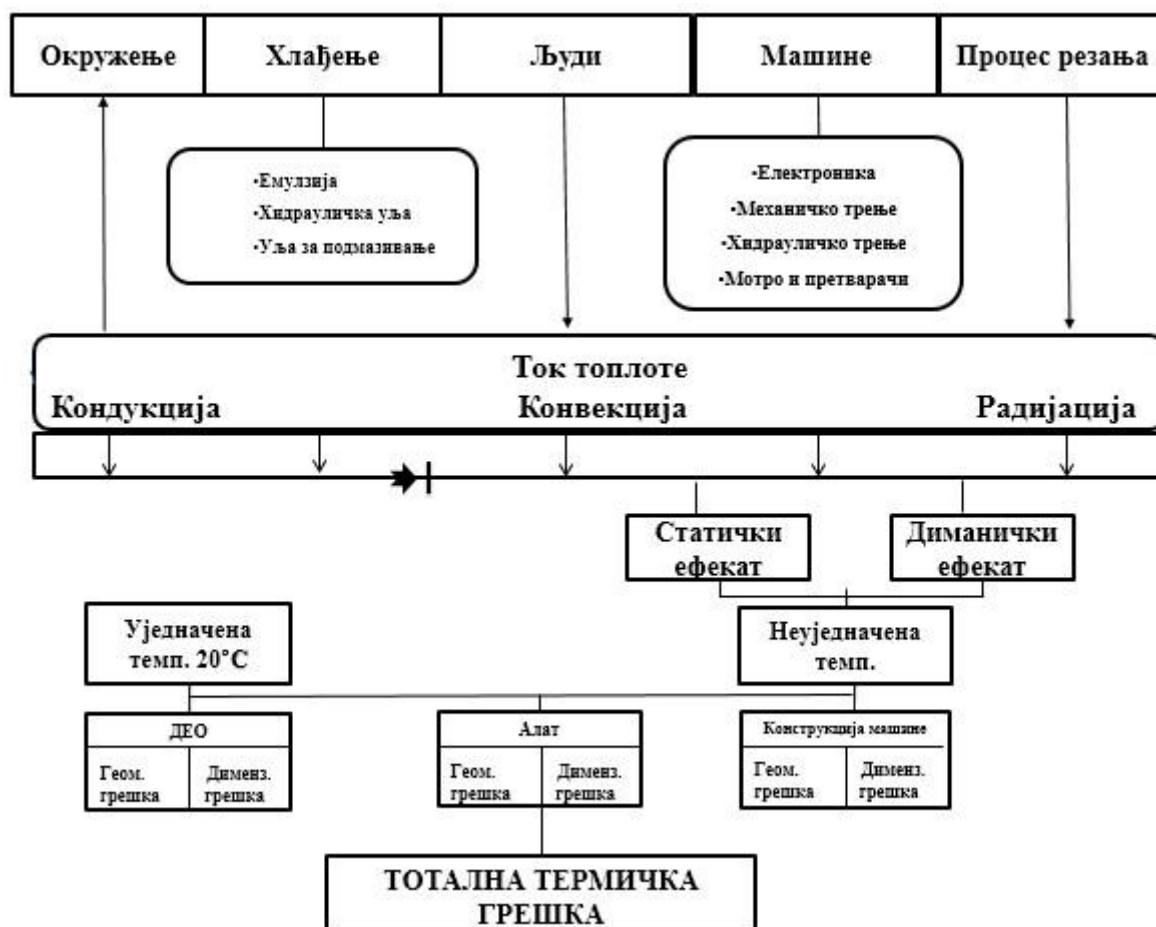
Велики је изазов одржати механичку тачност у окружењу које има велики број топлотних извора. Приликом пуштања машине у рад, она мора прво да се загреје, јер у супротном ће доћи до грешке у тачности и прецизности машине. Да би се одржала тачност и поновљивост, уобичајна пракса је да се креирају програми обраде са екстремно малим померањима од тачке до тачке, које машина учитава и затим се пушта се ради у празно [9].

2.5 Термичко понашање машине

Као што су многи аутори препознали, ово је најозбиљнији и најважнији извор машинске грешке. Интерни и екстерни извори топлоте доводе до термо-еластичних деформација машине и крајни резултат је димензиона и геометријска нетачност дела.

Различити топлотни извори у комбинацији са различитим механизмима за пренос топлоте доводе до уједначене температуре различите од 20°C или до неуједначите

расподеле температуре у структури машине. Слика 2.7 такође илуструје концепт од којег се свака машинска операција састоји.



Слика 2.5 – Веза између изазваног термичког ефекта, феномена трансформације топлоте и ефекта који доприноси укупној термичкој грешци [3]

Извори топлоте се деле на:

- **спољне** (промене у окружењу услед сунчевог зрачења, осветљења...)
- **унутрашње** (промене услед кретања машине и промене у самом процесу)

Унутрашњи извори стварају и спроводе топлоту и изазивају варијацију целокупних делова машине, због различитих дистрибуција температуре, изазивајући дисторзију и савијање. Један од главних извора генерисања топлотне енергије је завојно вретено [3].

Компоненте као што су лежајеви, завојна вретена, вођице услед кретања генеришу топлоту. Такође, мотори генеришу топлоту. Процес резања се исто мора имати у виду. Сва та топлота може изменити облик металних компоненти машине које се шире са повећањем топлоте и скупљају приликом снижавања исте. Што је већа брзина покретних делова, већа је и температура [8].

Преносници кретања на машини су такође главни извори топлоте који могу резултирати у значајној дисторзији (извијању) на алату. За локални пораст температуре су највише одговорни завојно вретено и навртка, где могу достићи температуру до око 80°C.

Други важан унутрашњи извор топлоте је сам процес сечења, који у нормалној машинској операцији загрева алат, држач алата, предмет обраде и стегу. Радни сто машине се загрева преко топле струготине настале у процесу резања.

Решења за проблем термичке деформације машине се могу груписати у три категорије:

- *редукција губљења снаге и изолација*
- *контрола температуре машине*
- *компензација [3]*

Редукција губљења снаге због унутрашњих извора топлоте и *њихова изолација* укључује редизајн машине или неких њених делова. Губитак снаге у лежајевима код вретена може се смањити са правилним избором подмазивања и коришћењем нових материјала за кугличне елементе. Хибридни лежајеви (слика 2.8) са керамичким куглама имају мање трење од конвенционалних лежајева под истим условима рада. Подмазивање лежајева преко малих отвора у спољашњем прстену лежаја повећава квалитет подмазивања и доводи до већих дозвољених брзина са мањим порастом температуре [3].



Слика 2.6 – Хибридни лежајеви са кугличним и ваљкастим котрљајним телима

Други битан аспект код вретена је преднапрезање лежајева. Лежајеви морају да се притисну пре него што се изложе динамичком оптерећењу, што резултира стабилнијим и крућим динамичким карактеристикама. Изолација лежајева од вретена се показала као ефикасна метода за смањење издужења вретена. Постоје и вретена са подесивим преднапрезањем, али се примењују само на веома скупим машинама. У већини случајева машина ради са преднапрезањем које је произвођач наменио конкретном вретену. Ако је намера да се користе велике дубине резања са алатима већих пречника, потребно је значајно преднапрезање за радијалне лежајеве на вретену. У супротном вретено неће

бити довољно круто да би дало прихватљиви ниво перформанси. Ако се користе високе брзине резања, најбоље је применити мале силе преднапрезања како би се добили што мањи отпори и трење свело на минимум [8].

Контрола температуре машине. Док се брзина и прецизност код машина повећавају, контрола топлоте постаје критична за одржавање у екстремно уским толеранцијама. Затворени тип контроле расхлађивања може да елиминише миграцију топлоте при великим брзинама обртаја вретена и топлотну дисторзију машине. Хлађење при нижим температурама повећава животни век алата и истовремено редукује оксидацију и испаравање [10].

Одређени број произвођача користе системе за хлађење који опструјавају око сервомотора и чак кроз само завојно вретено, али ће и даље бити термалних варијација. Ако посматрамо машину која започиње свој рад са хладним стартом, нестабилност се јавља све до успостављања термички стабилног стања [8].

Технике за *компензацију* термалних понашања машине су углавном подељене на:

- **директне** (скретање или заносење се јавља између алата и радног комада и директно се мери)
- **индиректне** (користе модел, тако да су сигнали у корелацији са вредностима скретања и користе се за израчунавање померања преко математичког модела) [3].

Директна компензација је често тешка, јер то подразумева периодично мерење дисторзије машине током обраде. Ефикасан начин за директну компензацију је мерење уз помоћ ласерског зрака који успоставља позицију алата са радним столом предмета.

Индиректна компензација захтева мерење температуре у репрезентативним тачкама на структури машине у функцији времена. Ова температурска мерења сачињавају улази за математички модел који може бити теоријски и емпиријски. Израчуната дисторзија се онда компензује коришћењем CNC или неког другог уређаја са прецизним погоном. Иако је немогућа тачна компензација мерења у неколико тачака, подношљива грешка може бити када се нађу значајне температурске локације. Дакле, само оне локације које су значајне треба укључити, огроман број температурских тачака ће заправо значити повећан број сензора и времена прорачунавања.

Овај приступ се највише користи до сада у мерењу линеарног кретања и нагиба између вретена и радног стола, док се истовремено температура мери на машини и у радном окружењу.

2.6 Хлађење

Осим обраде на суво, свака друго активирање расхладног средства представља термички шок за целокупни систем машине. Током обраде, расхладно средство погађа радни сто машине и генерално температура расхладног средства и машине се разликују у тренутку активирања расхладног средства, а након тога температуре имају тенденцију да се изједначе.

Ако је расхладно средство хладније од машине, сама машина ће смањити температуру расхладне течности, по термодинамичком закону, тако да ће расхладно средство постати топлије. Како год, параметар за сечење који је највише погођен је аксијална дубина резања [3].

Обрадом без СХП-а су веће температуре у зони резања, али су стабилније и боље је решење за алат од температуре која осцилује услед хлађења зоне резања. Алати обложени карбидним слојем добро подносе високе температуре, али нестабилно хлађење може довести до лома глодала. Такође, алати са облогама од TiAlN (титанијумалуминијум-нитрид) се понашају боље на високим температурама. Многа глодала данас могу да издрже високу температуру сечења и да буду веома доследни, али мало могу да трпе термичке промене [11].

Једна од штетних појава је та што струготина постаје тврђа од материјала коме је припадала (због високих температура у зони резања долази то повећања тврдоће). Заштита алата при обради на суво најбоље је извести помоћу ваздуха под притиском, који служи да одводи струготину из зоне резања.

У данашње време све више је заступљено *хлађење хладним ваздухом*, који даје одличне резултате у погледу тачности обраде и постојаности алата. Хладни ваздушни распрскивач се користи код метала и пластике и има двоструку функцију, генерише и врућ и хладан ваздух. Хладан ваздух се примарно користи на локацијама где СХП није пожељан, док се врућ ваздух може користити у ситуацијама када треба одувати струготину из зоне резања (на суво).

2.7 Технолошки параметри резања (брзина, посмак и дубина резања)

У машинској обради, разни фактори као што су деформација предмета обраде и алата, термичке деформације, вибрације, нетачност саме машине утичу на крајњу прецизност обраде. Неки од тих фактора зависе и од избора параметара резања. Три кључна улазна параметра су:

- *посмак*
- *брзина*
- *аксијална дубина резања* [13].

Манипулацијом ова три параметра може се максимално повећати продуктивност. Овај избор зависи од тога шта желимо да постигнемо, већу продуктивност на уштрб тачности дела и века алата или ће се наћи неки оптимални баланс, који задовољава све ове карактеристике.

Посмак (f) је брзина по којој алат улази у предмет обраде и обрнуто. При томе зуби глодала имају релативно кретање по трајекторијама које одговарају циклоидама, помакнуте су једна у односу на другу вредност за посмак по зубу (f_z). Порастом посмака повећава се и попречни пресек струготине, силе на зубу алата и храпавост обрађене површине.

Брзина (v) је пут који пређе резна ивица алата у односу на обрађивану површину у јединици времена. Ова брзина је у сродству са брзином ротације вретена на које је причвршћен алат (брзина резања је уствари угаона брзина вретена).

Аксијална дубина резања (a_p) представља колико широко и дубоко алат продире у предмет обраде. Треба тежити скинути што већу количину струготине уз прихватљиву тачност и квалитет обрађене површине, што се остварује вишеструким пролазима, при чему се за завршну фину обраду бира дубина резања са што мањим пресеком струготине.

Посмак, ширина и дубина резања заједно одређују **проценат уклањања материјала (ПУМ)**.

ПУМ = Посмак $\times$ Ширина $\times$ Дубина , на који утичу многе перформансе са аспекта машинске обраде:

- *животни век алата (постојаност)*
- *завршна површинска обрада*
- *димензиона тачност произведеног дела и*
- *потребна снага машине [13].*

Постојаност алата се мери количином материјала коју је тај алат отклонио. Животни век алата, мерено у времену, се смањује са повећањем *ПУМ-а*. Такође, мерење века алата се одређује по броју квалитетних делова које је алат урадио, пре његове измене. Генерално, са повећањем посмака, смањује се животни век алата. Отклањањем веће количине материјала се ствара више топлоте која деградира радни комад и алат. Са смањењем посмак, век алата се продужава, јер обрађује са мањим оптерећењем. Због свега овога, треба размотрити и тип хлађења, јер је оно увек јефтиније од алата и може да произведе огромне уштеде тако што ће чувати алат и продужити му радни век.

Као што се зна, *завршна обрада* (фина обрада) највише зависи од последњег пролаза глодала. Да би се постигла жељена тачност и квалитет површине, последњи пролаз мора да скида што мање материјала. Са недовољно хлађења, квалитет површине ће се смањивати са повећањем брзине алата. Повећањем дубине резања се повећава сила резања која доводи до повишених вибрација и машина мора бити довољно крута да би ублажила вибрације које могу утицати на квалитет обрађене површине.

Укупна *тачност дела* се дефинише као испуњавање свих димензија које су дате на цртежу од стране инжењера. Док се површинска тачност мери на малим исечцима, димензиона тачност се односи на велике секције или на комплетан део. *ПУМ* је кључна променљива која утиче на тачност дела. Док се *ПУМ* повећава, шансе за опадањем тачности расту. Најпростије речено, са повећањем *ПУМ-а*, много више снаге је потребно за отклањање материја. Уколико крутост алата није компатабилна са већом снагом мотора, могуће је појављивање дефлексије, која доводи до нетачности и непрецизности. Термичка питања се исто тако морају узети у обзир и неке од машина су веома подложне променама у њиховом окружењу. Доказано је да неке машине не производе делове истог квалитета током дана и током ноћи. Такође, материјал који се обрађује може бити

подложен термичким променама. Исто тако и хлађење има утицај на тачност и све ово је опширније описано у претходном делу рада.

Снага машине је битан услов када се одабира машина за специјалну операцију. Постоје специјалне табеле у машинским књигама које пружају смернице колико је потребно снаге за одређену апликацију. Док се *ПУМ* повећава, повећава се снага која треба све то да подржи. Битно је рећи да са различитим комбинацијама посмака и брзине, са истим *ПУМ* –ом, апликације са већом стопом посмака ће захтевати мању снагу.

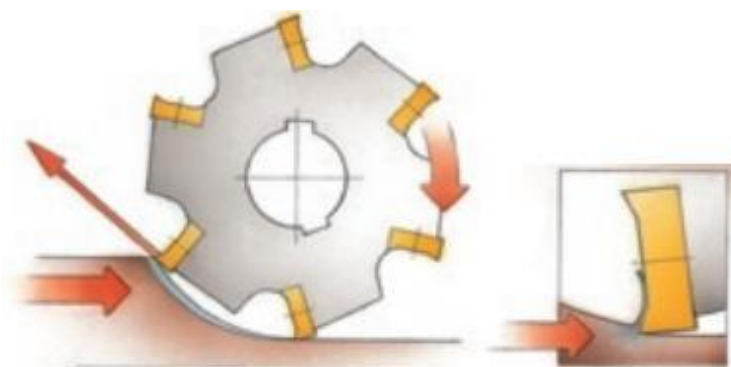
2.8 Супротносмерно и истосмерно глодање

Сваки пут када резна ивица улази у захват она је изложена ударним оптерећењима. Права врста контакта између резне ивице и материјала при улазу и излазу у захват се мора узети у обзир за успешно глодање. При поступку глодања обрада предмета је могућа у смеру ротације алата или супротно од смера ротације и према томе разликују се две врсте глодања:

- *супротносмерно*
- *истосмерно*

Код *супротносмерног* глодања (слика 2.10) радни комад се креће у супротном смеру од ротације алата. При супротносмерном глодању вертикална компонента силе глодања тежи да предмет обраде подигне из стезног прибора (у процесу се јављају високе силе које имају тенденцију да одвоје резну ивицу и предмет обраде једну од друге). Предмет обраде мора бити присиљен на резање, стварајући трење, хабање и бучни ефекат (поготово код обраде побољшаних материјала).

Овај тип глодања се све мање користи и треба га избегавати у операцијама завршне обраде, јер пре свега супротносмерно глодање због сила које делују има тенденцију да повреди (уједе) контуру и за овај тип глодања је потребно велико искуство од стране радника, како би процес глодања извео успешно. Додатак за обраду мора бити много већи него код истосмерног глодања и највише се користи у операцијама ослобађања.



Слика 2.7 – Шематски приказ супротносмерног глодања [1]

Карактеристике супротносмерног глодања:

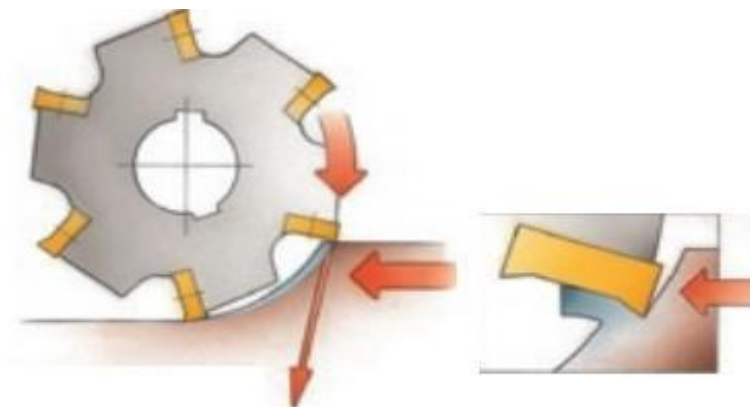
- дебљина струготине расте од нуле до максималне вредности
- резна ивица (зуб) глодала се среће са предметом обраде у дну
- узлазна сила која је формирана у овом процесу има тенденцију да подигне предмет обраде
- више снаге је потребно него код истосмерног глодања
- квалитет обрађене површине је гори, јер се струготина ношена навише од резне ивице и пада испред алата (доста струготине се поново сече)
- крутост алата је мања него код истосмерног глодања
- препоручује се за грубу обраду
- дефлексија алата ће тежити да буде паралелна са правцем кретања алата [14].

Код обраде *истосмерним глодањем* (слика 2.8), смерови главног и помоћног кретања се поклапају. Истосмерно глодање, у принципу карактерише повољнији облик осциловања зуба глодала што се позитивно одражава на квалитет обрађене површине и постојаност алата. У принципу, истосмерно глодање посебно треба користити у операцијама завршне обраде. Дебљина струготине креће од максималне и силе сечења имају тенденцију да повуче предмет обраде у резну ивицу.

Као што је у уводу овог рада напоменуте, да су неке ствари биле незамисливе пре око 30 година, то се само није односило на режиме обраде, већ и на смер обраде. Наиме, недостатак истосмерног глодања највећим делом је садржан у промени смера преносне силе код завојног вретена преносника за помоћно кретање, што је посебно било изражено код глодалица старијег типа (недостатак уређаја за елиминисање зазора). Пошто алат има тенденцију да повуче део, то значи да и радни сто треба да се избори са силама. Уколико алат вуче радни комад, посмак се ненамерно повећава што може довести до прекомерне дебљине струготине.

Некада су обичне алатне машине имале само завојно вретено (шпинглу) и навртку. Навртка се израђивала од бронзе, а завојно вретено од челика. Навртка је намерно била израђивана од бронзе, јер је лакше и јефтиније изградити навртку, него навојно вретено. Навртка се током времена троши због процеса хабања и добија се зазор између навојног вретена и навртке, па је зато немогуће код таквих глодалица радити са истосмерним глодањем. Са постојећим зазором радни сто машине тежи да испадне из својег лежишта (јер истосмерно глодање не елиминише зазор).

Данас, код модерних глодалица се користе рециркулациона вретена, где је зазор између завојног вретена и навртке увек нула. Завојно вретено је индукционо каљено, а затим брушено и по њему клизи линеарни лежај (навртка) са рециркулационим куглицама.



Слика 2.8 – Шематски приказ истосмерног глодања [1]

Карактеристике истосмерног глодања:

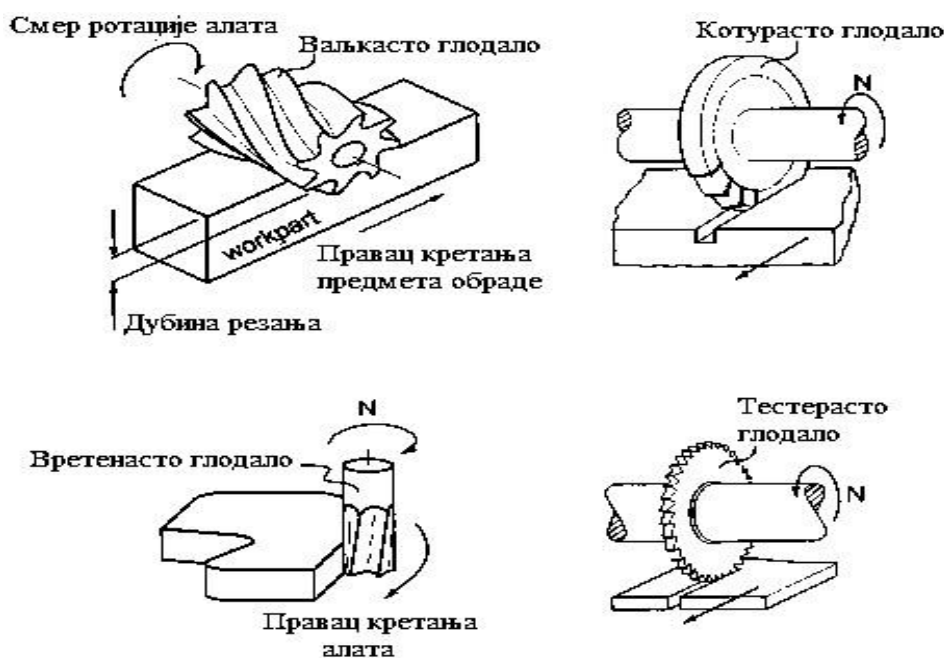
- резна ивица (зуб) алата се среће са предметом обраде у врху
- струготина пада иза глодала (мање струготине поновно долази у процес)
- крутост алата је већа уз 50% дужег животног века алата
- мања снага је потребно
- истосмерно глодање испољава потисну силу, која побољшава држање комада
- потисна сила смањује буку при обради, јер потискује танак слој струготине ка површини испод
- дефлексија алата ће тежити да буде управна на правац кретања, тако да може смањити или повећати ширину реза које утиче на тачност [14].

3. ОБИМНО ГЛОДАЊЕ

Обимно глодање се широко користи у различитим индустријским гранама (аутомобилској, авио, производној индустрији) где се добијају 2D контуре коришћењем различитих типова обимног глодала.

У обради обимним глодањем, алати се међусобно разликују највише по односу између њиховог пречника и ширине (слика 3.1). Према овом критеријуму сва глодала којим се изводи обимно глодање деле се на четири групе и то:

- ваљкаста глодала код којих је ширина глодала већа, једнака или мало мања од пречника
- катураста глодала код којих је однос између ширине глодала и пречника увек мањи од јединице
- вретенаста глодала на којима се резни елементи налазе и по обимној и по чеоној површини
- тестераста глодала изузетно мале ширине намењена операцијама сечења материјала [2].



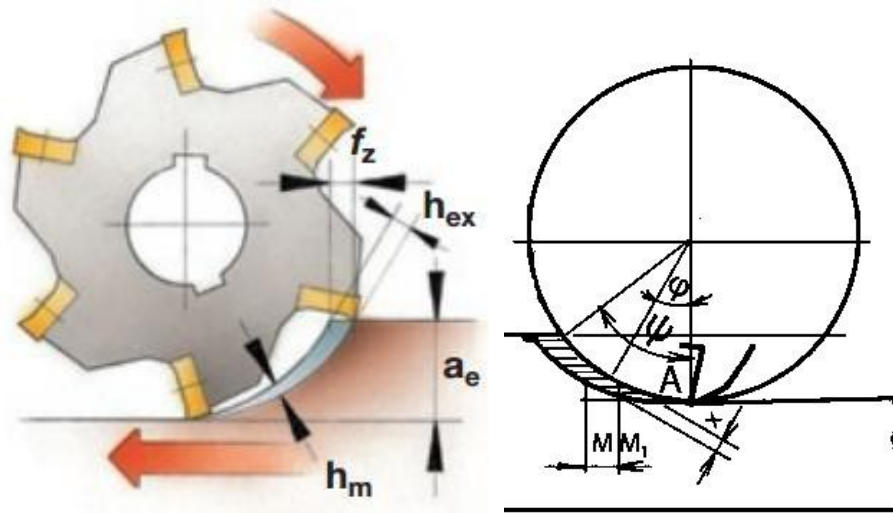
Слика 3.1 – Основни типови глодала за обимно глодање [15]

3.1 Параметри обимног глодања

Поред брзине резања (v), посмака (f) и аксијалне дубине (a_p), који су описани у претходном делу, на слици 3.2 се могу видети основни параметри глодања:

- максимална дебљина струготине (h_{ex}) (у домаћој литератури се обележава са h_{max})
- тренутна дебљина струготине (h_m)
- радијална дубина резања (a_e) (у домаћој литератури се обележава са a)
- посмак по зубу (f_z)

- посмак по ротацији (f_n)
- број (зуба) резних ивица (z_n)
- ротација алата (n)
- угао контакта (ψ) и угао захвата (φ) [1] [16].



Слика 3.2 – Приказ појединих параметара код обимног глодања [1] [17]

Максимална дебљина струготине (h_{ex} - mm) је најважнији показатељ ограничења за алат у конкретној операцији. Резна ивица на алату је дизајнирана и тестирана да ради са препорученим вредностима дебљине струготине. Дебљина струготине и попречни пресек се мења од нуле до неке максималне вредности (важи и обрнуто, у зависности од смера глодања).

Тренутна дебљина струготине (h_m) је корисна вредност за одређивање специфичних сила резања и прорачуну снаге који се рачуна на основу односа који је тип резног алата примењен.

Радијална дубина резања (a_e - mm) је ширина сечења која је обухваћена пречником алата. Код обимног глодања, ширина резања је једнака ширини резног слоја (струготине)

Посмак по зубу (f_z - $mm/zubi$) је вредност која се користи за израчунавање помоћног кретања. Пошто је глодало вишесечни алат, то је линеарно растојање које глодало пређе док је један резни зуб у захвату. Вредности посмака по зубу се израчунава по препорученим вредностима дебљине струготине.

Посмак по ротацији (f_n - mm/rot) је помоћна вредност која указује колико се алат помери у току једне ротације. Ова вредност се користи за прорачун посмака. **Број резних ивица (зуба)** (z_n) варира од алата до алата. Са којим бројем зуба ће се алат користити зависи од материјала који се обрађује, габарита дела, жељеног квалитета површине...

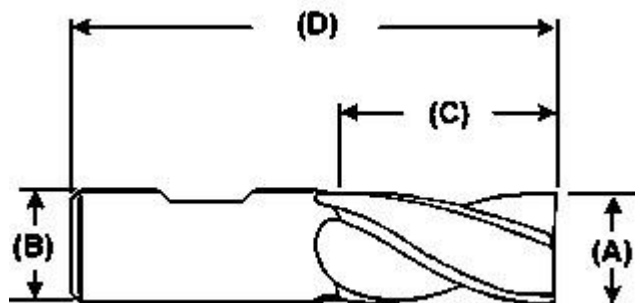
Ротација алата ($n - \text{°}/\text{min}$) је број ротације глодала које вретено направи у једном минути. Ово је вредност која се задаје на основу препоручених вредности које се дају за одређен материја [1].

Угао контакта (ψ) је целокупни угао тј. лук који одговара додиру алата и предмета обраде.

Угао захвата (φ) дефинише тренутни положај зуба глодала у захвату [16].

3.2 Прорачун параметара обимног глодања

Пре него што се крене у било какав прорачун, потребно је се упознати са алатом и његовом геометријом (слика 3.3).



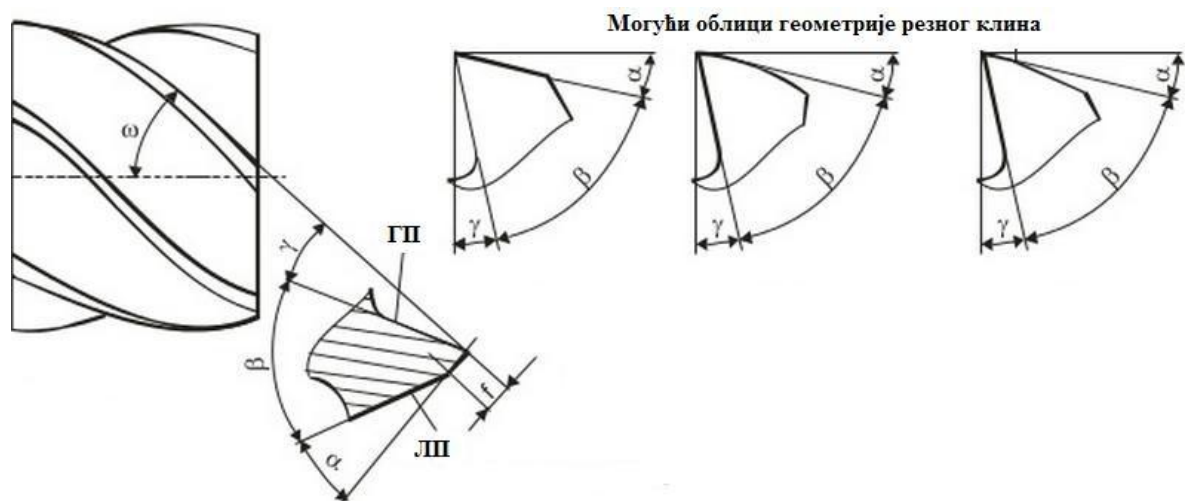
Слика 3.3 – Основне габаритне мере вретеног глодала [18]

Где је:

- А – пречник резног дела алата
- В – пречник стабла алата (дршка) □ С – дужина резног дела алата
- D – укупна дужина алата [18].

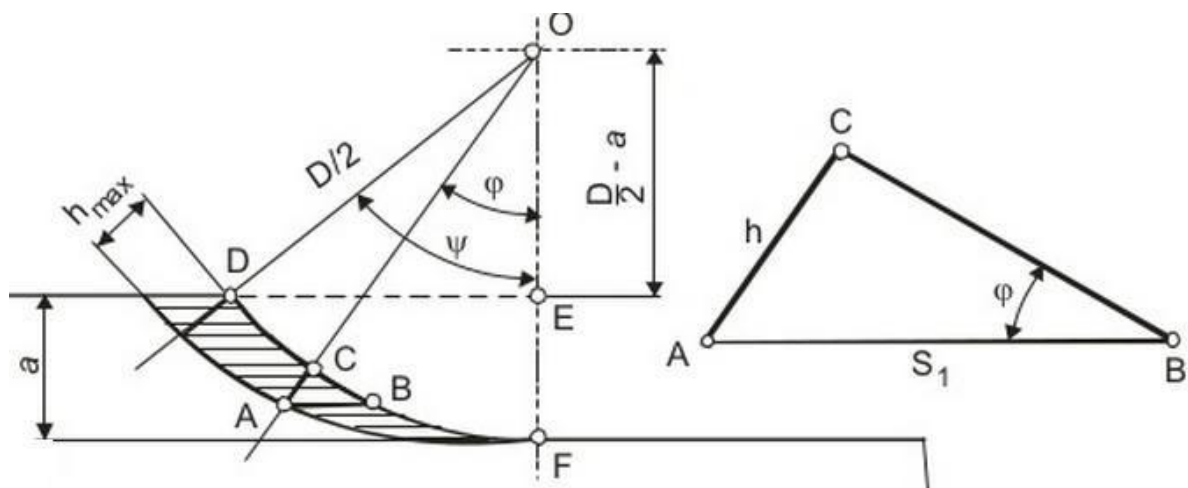
Поред основних габаритних мера, геометрију алата чине још и:

- геометрија резног клина
 1. леђни угао – α
 2. угао клина – β
 3. грудни угао – γ
- угао спирале завојнице ω
- број резних ивица (зуба) алата [16].



Слика 3.4 – Геометрија резних елемената глодала за обимно глодање [16]

Као што је већ речено, ширина струготине код обимног глодања је једнака ширини глодања, док тренутна дебелина струготине (слика 3.5) за производни угао захвата следи из троугла ABC:



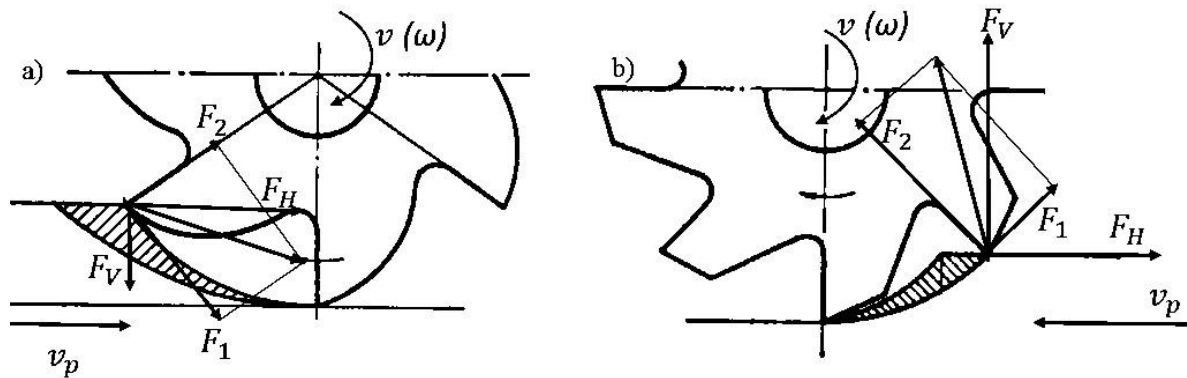
Слика 3.5 – Основни геометријски параметри процеса резања при обимном глодању. Из овога закључујемо да дебелина струготине зависи од положаја зуба глодала у предмету обраде и одређена је углом φ тј.

$$X = S_1 \cdot \sin \rho$$

Вектор брзине помоћног кретања v_p је у најнижој тачки додира алата и предмета обраде и при:

- супротносмерном глодању има исти правац као вектор брзине, али супротан смер (Слика 3.6а)

- истосмерном глодању има исти и правац и смер као вектор брзине (Слика 3.6b) [2].



Слика 3.6 – Отпори резања при супротносмерном и истосмерном глодању

Резултујући отпори резања при обимном глодању разлаже се на две основне компоненте:

- компоненте у правцу главног кретања (главни отпори резања)
- компоненте у правцу управном на правац главног кретања (радијална компонента)

Главни отпор резања, односно обимна компонента силе резања делује у правцу тангенте на резни елемент глодала (зуб глодала). При кретању зуба кроз материјал, врх зуба описује циклоиду која се са довољном тачношћу може апроксимирати кружним луком полупречника $D/2$ (D – пречник алата). Обимна компонента отпора резања мења се са променом површине пресека струготине односно са променом дебљине струготине и то од нуле до неке максималне вредности и обрнуто [2].

Максимални отпор резања у правцу главног кретања F_1 јавља се при појави максималне дебљине струготине:

$$h_{max} = s_1 \cdot \sin \psi$$

Максимална дебљина струготине зависи од величине помоћног кретања, дубине резања и пречника глодала. До израза за њену величину долази се на основу познавања угла ψ .

На основу троугла OED (слика 3.5) се лако може добити величина угла ψ из косинусне теореме:

$$\cos \psi = \frac{\frac{D}{2} - a}{\frac{D}{2}} = 1 - \frac{2 \cdot a}{D}$$

Из основне тригонометријске формуле $\sin^2 x + \cos^2 x = 1$ следи:

$$\sin \psi = \sqrt{1 - \cos^2 \psi} = 2 \cdot \sqrt{\frac{a}{D} - \left(\frac{a}{D}\right)^2}$$

$$h_{max} = s_1 \cdot \sin \psi \rightarrow h_{max} = 2 \cdot s_1 \cdot \sqrt{\frac{a}{D} - \left(\frac{a}{D}\right)^2}$$

Максимална вредност главног отпора резања F_1 при обимном глодању добија се као производ специфичног отпора резања и максималног пресека струготине:

$$F_{1mah} = k_s \cdot A ; A = h_{max} \cdot b$$

Према *Kroneberg*-у специфични отпор резања k_s зависи од пресека струготине и израчунава се према обрасцу [2]:

$$k_s = C_k \cdot A^{-\frac{1}{\varepsilon_k}}, \text{ за алуминијум } C_k = 110,$$

где је:

- C_k – јединични специфични отпор резања (специфични отпор резања за површину пресека струготине 1 mm^2 . Ова константа зависи од врха резног клина β , врсте и тврдоће материјала који се обрађује, типа хлађења итд.
- ε_k – експонента која се одређује експерименталним путем [2] [19].

Пошто се овај експеримент изводио на алуминијуму, а у литератури [2] експонент за алуминијум није дефинисан, истраживањем других литература се могу наћи разноразни обрасци по којима се израчунава специфичан отпор резања .

Други израз за специфичан отпор резања дао је *Hipler* [19]:

$$k_s = C_k \cdot A^{-0.25}$$

Претходни израз не дефинише експонента ε_k , тако да су остварени сви услови за израчунавање максималног отпора резања F_1 .

Такође, *Martellotti* је извео сличан образац за израчунавање главног отпора резања [19]:

$$F_1 = k_s \cdot a_p \cdot f_z \cdot \sin \psi,$$

где је:

- a_p – аксијална дубина резања
- f_z – посмак по зубу (описана у поглављу 3.1).

Посмак по зубу f_z се израчунава према обрасцу [20]:

$$f_z = \frac{f}{z \cdot n}$$

где су нам сви параметри познати:

- посмак f и број обртаја алата (вретена) n , које задаје програмер и $\square$ број зуба глодала z

Број зуба глодала који истовремено врше резање z_r зависи од дубине резања, пречника глодала и укупног броја зуба глодала [2]:

$$z_r = \frac{\psi}{\theta} = \left[z \cdot \arccos \left(1 - \frac{2 \cdot a}{D} \right) \right] \cdot \frac{1}{360} \rightarrow \theta = \frac{360^\circ}{z}$$

Израз за обимну брзину глодала се рачуна преко обрасца [2]:

$$v = \frac{D \cdot \pi \cdot n}{1000} \left[\frac{m}{min} \right]$$

Однос уклоњеног материјала је дат изразом [19]:

$$Q = \frac{f_z \cdot z \cdot n \cdot a_p \cdot a_e}{1000} \left[\frac{cm^3}{min} \right]$$

Познавањем величине главног отпора резања F_1 (слика 3.6) омогућава прорачун погонске снаге машине и избор електромотора за погон главног кретања. Од величине радијалне компоненте резултујућег отпора резања F_2 , која делује на леђну површину резних елемената (зуба) глодала, зависи интензитет развоја процеса хабања и постојаности алата. Осим тога, на алат делује резултујући отпор резања, тако да његова деформација или деформација вратила на коме се алат налази зависи од обе компоненте отпора резања.

Однос између компоненти отпора резања F_2 и F_1 зависи од поступка глодања (супротносмерно, истосмерно) и од дебљине струготине односно дубине резања и пречника глодала. У литератури се налазе бројни подаци за величину главног отпора резања F_1 , јер је ову компоненту отпора резања лако мерити. За одређивање величине радијалне компоненте F_2 , најчешће се препоручује усвајање односа између ње и компоненте F_1 и то:

- у обради супротносмерним глодањем $F_2/F_1 = 0.7$
- у обради истосмерним глодањем $F_2/F_1 = 0.45$

Пошто на алат такође делује и резултујући отпор резања, он се разлаже на вертикалну F_v и хоризонталну компоненту F_h .

Вертикална компонента отпора резања F_v , при супротносмерном глодању, мења смер са повећањем односа дубине резања и пречника глодала a/D . При малим дубинама резања вертикална компонента отпора резања притискује предмет обраде на радни сто машине. Код већих дубина резања, међутим, она има супротан смер и тежи да подигне предмет обраде са радног стола.

При истосмерном глодању смер дејства вертикалне компоненте је непроменљив. У овом случају она при свим дубинама резања притискује предмет обраде на радни сто машине.

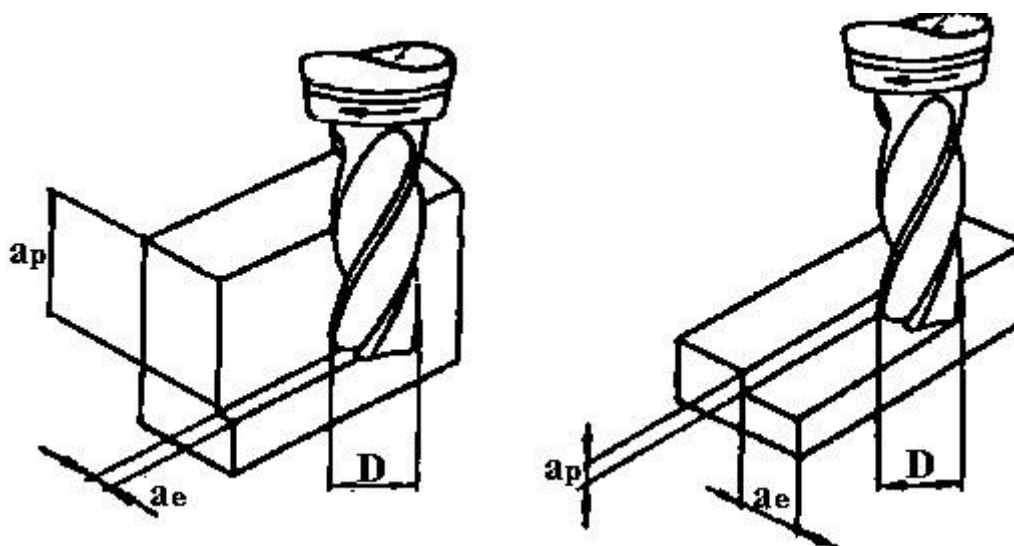
Хоризонтална компонента отпора резања F_h дејствује, при супротносмерном глодању, у смеру помоћног кретања. При обради истосмерним глодањем хоризонтална компонента отпора резања дејствује у супротном смеру од смера помоћног кретања [2].

3.3 Механизам резања код равних глодала

Код равних вртенастих глодала зуби су распоређени и по челу и по обиму алата. Приликом њихове употребе оса ротације алата је управна на површину предмета обраде (слика 3.7). Сматра се да при обради равним алатом, обимни зуби више режу него што то раде чеони.

Стандард ISO 8688-2 је дао препоруке за критеријум резања код равних глодала:

- ако је $a_p > a_e$ онда зуби који су распоређени по обиму имају доминантан утицај при резању
- ако је $a_p < a_e$ онда зуби распоређени по челу алата имају доминантан утицај при резању



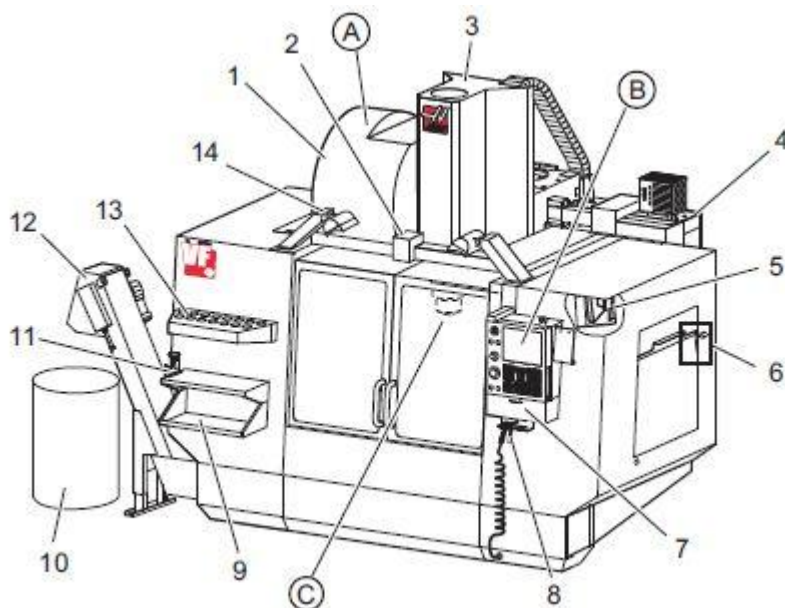
Слика 3.7 – Однос аксијалне и радијалне дубине резања

4. ПРАКТИЧАН (ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ) ДЕО

У овом делу рада биће приказано и описано комплетно испитивање, почевши од машине, алата, начина мерења, типа глодања, материјал, режима обраде итд.

4.1 Тип алатне машине (глодалице)

Машина на којој се изводио експеримент је троосна вертикална глодалица *Haas VF-3SS* са три CNC контролисане осе. Ова вертикална глодалица има осу обртања у правцу Z осе, док X оса представља дужину радног стола, а Y оса прати кретање стола напред и назад. Сва кретања по осама обезбеђују завојна вретена са навртком, а као мерни систем се користи линеарни енкодер. Контролна јединица HAAS VF-3SS је HAAS 2.



Слика 4.1 Опис спољашних делова глодалице

Спољашни изглед глодалице карактерише: (слика 21.)

1. Измењивач алата с бочним постављањем,
2. Серво аутоматска врата,
3. Склоп вретена,
4. Електрична управљачка кутија,
5. Радно светло (2X),
6. Прозор,
7. Ормарић,
8. Ваздушни пиштољ,
9. Предњи радни сто,
10. Контејнер за струготину,
11. Ормар за држање алата,
12. Избацивач струготине,
13. Сталак за алат,
14. Расвета високог интензитета (2X) .

Основне карактеристике глодалице могу се видети у Табели 1.[22]

Табела 2. Карактеристике глодалице HAAS VF-3SS

Hass VF-3SS		
Путање	S.A.E.	METRIC
X-оса	40 "	1016 mm
Y-оса	20 "	508 mm
Z-оса	25 "	635 mm
Радни сто	S.A.E.	METRIC
Дужина	48 "	1219 mm
Ширина	18 "	457 mm
T-Прорез ширина	5/8 "	16 mm
T-Прорез растојање	3.15 "	80 mm
Број T-прореа	5	5
Максимална носивост	1750 lb	794 kg
Измењивач алата	S.A.E.	METRIC
Тип	SMTC	SMTC
Капацитет	24+1	24+1
Макс. пречник алата	5 "	127
Макс. дужина алата	11 "	279mm
Макс. маса алата	12 lb	54kg
Време замене алата	1.6 sec	2.2 sec
Раскладно средство	S.A.E.	METRIC
Ваздушно хлађење	4 scfm, 100 psi	113 L/min, 6.9 bar
Капацитет емулзије	55 gal	208 L
Посмак	S.A.E.	METRIC
Брзина по X	1400 in/min	35.6 m/min
Брзина по Y	1400 in/min	35.6 m/min
Брзина по Z	1400 in/min	35.6 m/min
Макс. резање	833 in/min	21.2 m/min
Мотори оса	S.A.E.	METRIC
Макс. сила по X	3085 lb	13723 N
Макс. сила по Y	3085 lb	13723 N
Макс. сила по Z	3923 lb	17450 N



Слика 4.2 Глодалица HAAS VF-3SS [22]

4.2 Тип алата (глодала)

За испитивање су се користила равна глодала сличних геометриских димензија, различитих врста алатног материјала ($\varnothing 6$ брзорежни челик- HSS, $\varnothing 6$ тврди метал ТМ, $\varnothing 10$ тврди метал ТМ).

Карактеристике глодала - $\varnothing 6$ брзорежни челик HSSE Бр 15112 Orion – HAHN+KOLB GRUPA намењено за профилно глодање и израду жлебова и укопа:

- пречник $D = 6 \text{ mm}$
- дужина резног дела $l_2 = 13 \text{ mm}$
- дубина продирања (дужина препуста) $l_3 = 25 \text{ mm}$
- дужина $l_1 = 57 \text{ mm}$
- држач $d_2 = 6 \text{ mm}$
- угао завојнице $\omega = 45^\circ$
- број зуба $z = 3$

Карактеристике глодала - $\varnothing 6$ тврди метал VHM 20 2243 Garant, намењено за профилно глодање и израду жлебова и укопа:

- пречник $D = 6 \text{ mm}$
- дужина резног дела $l_2 = 13 \text{ mm}$
- дубина продирања (дужина препуста) $l_3 = 19 \text{ mm}$
- дужина $l_1 = 57 \text{ mm}$
- угао завојнице $\omega = 45^\circ$
- број зуба $z = 3$

Карактеристике глодала $\text{--}\phi 10$ тврди метал VHM 20 2243 Garant, намењено за профилно глодање и израду жлебова и укопа:

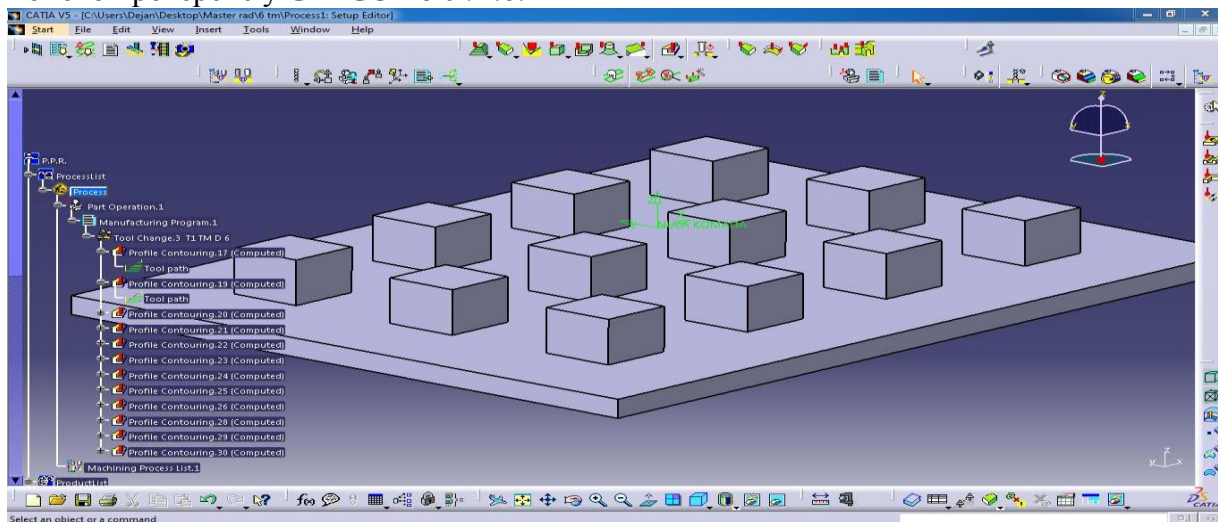
- пречник $D = 10 \text{ mm}$
- дужина резног дела $l_2 = 22 \text{ mm}$
- дубина продирања (дужина препуста) $l_3 = 30 \text{ mm}$
- дужина $l_1 = 72 \text{ mm}$
- угао завојнице $\omega = 45^\circ$
- број зуба $z = 3$

4.3 Софтверски CAD/CAM пакет CATIA

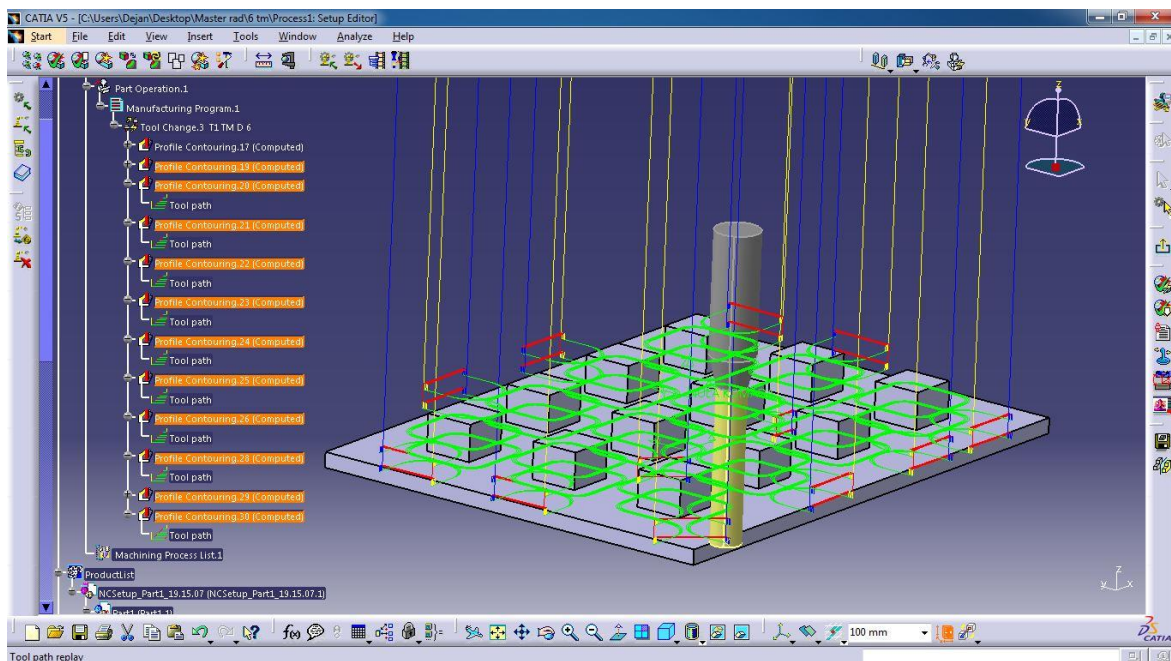
Catia је водећи светски интегрисани CAD/CAM програмски пакет новије генерације. Будући да је развијена првенствено за Windows PC платформу у потпуности су искоришћене све предности технологије Windows-a и осигурана потпуна компатибилност с Windows оперативним системом са осталим апликацијама (интернет, Office). У складу с филозофијом Windows-a, као и посебном труду да се CAD/CAM систем приближи корисницима, Catia V5 одликује се једноставношћу приликом учења и кориштења.

Catia V5 нуди модуле за CNC, који покривају процесе: обраде на стругу, 2 1/2-осног, 3осног и 5-осног глодања. Catia CNC укључује пак симулацију, као и велики број стандардних пост процесора. Уколико постоје захтеви за специфичним пост процесором, тим стручњака Catia дефине пост процесор тачно према датим спецификацијама.

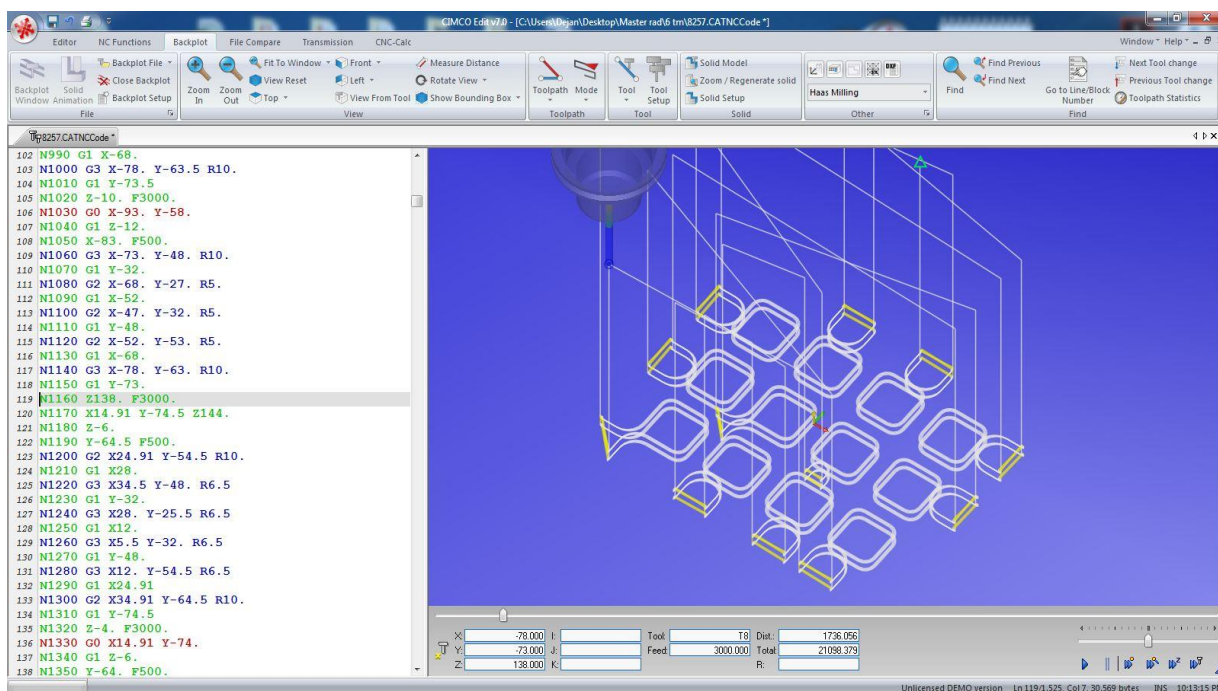
Све стазе (путање кретања) алата, као и модели делова који су коришћене у овом експерименту су добијене употребом софтвера CATIA P3 V5-6R2014. Путање алата су поново проверене у CIMCO Edit v7.0.7



Слика 4.3 Приказ операција у CATIA V5



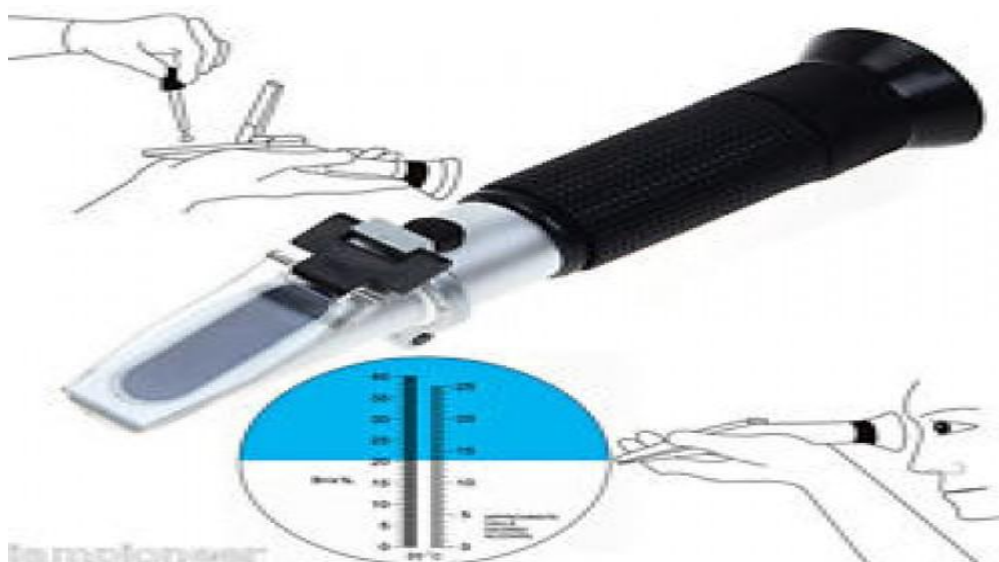
Слика 4.4 Приказ симулације путање алата



Слика 4.5 Провера генерисаног кода и путања алата у програму SIMCO

4.4 Средство за хлађење и подмазивање

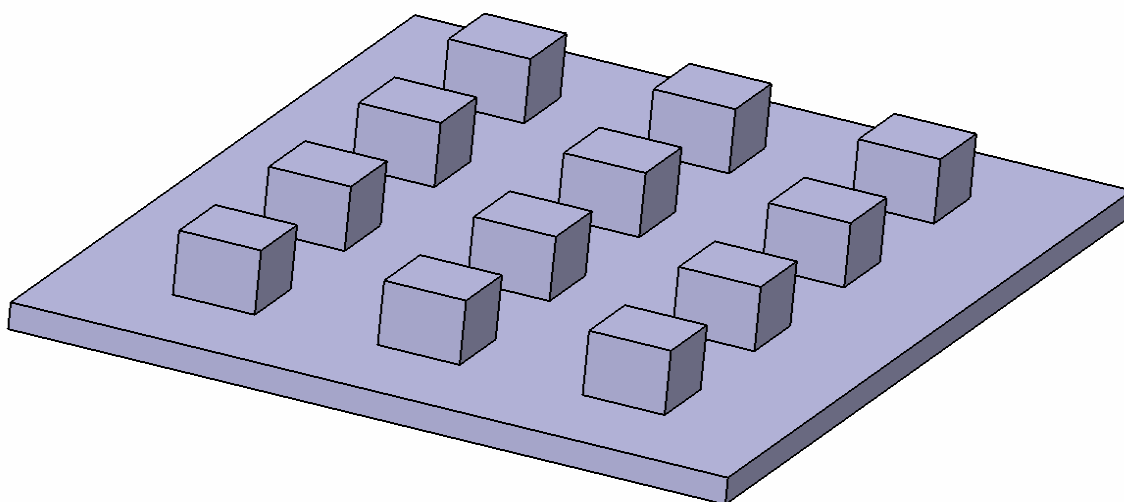
Као СХП користила се емулзија са 6% уља, измерена рефрактометаром РСЕ-010. Што се тиче овог експеримента, емулзија је више коришћена као средство за подмазивање него за хлађење, јер брзине резања нису биле велике. За меке легуре, као што је алуминијум је обавезно примењивати СХП, јер у супротном би дошло до залепљивања струготине за алат, прегревања алата и на самом крају и до лома глодала.



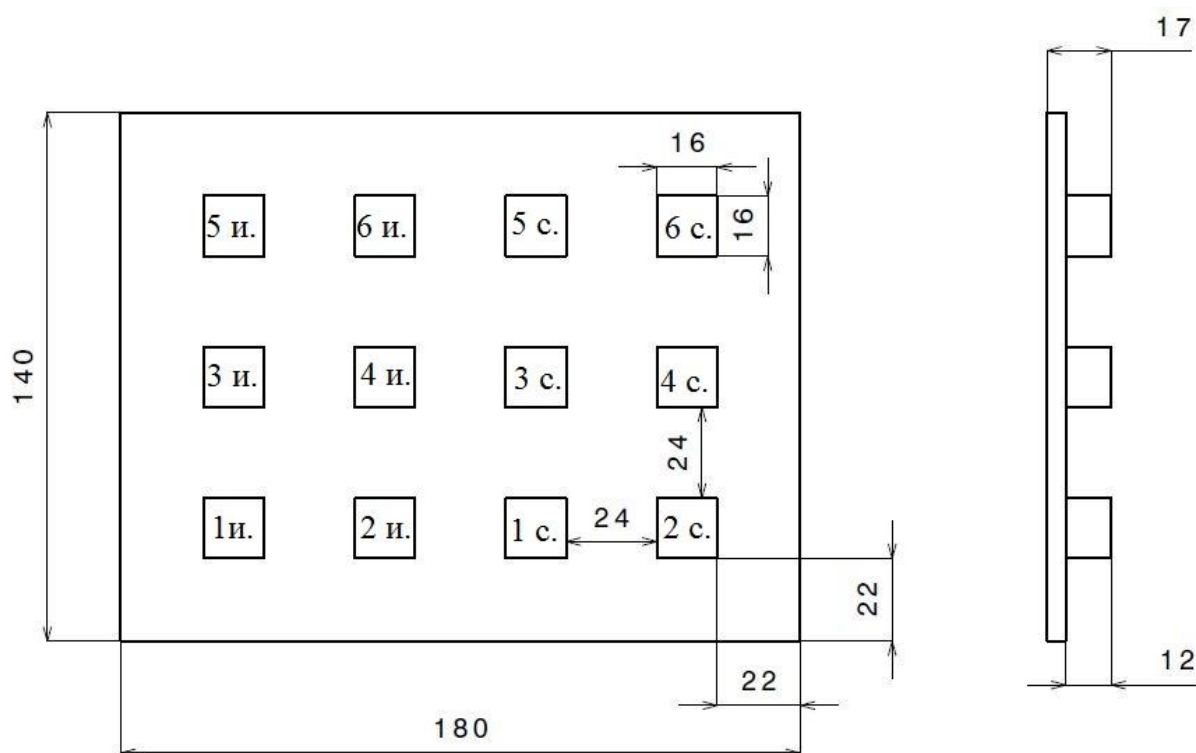
Слика 4.6 – Приказ мерења рефрактометаром [21]

4.5 Геометрија узорака

Површине које су се обрађиване биле су равне призматичног облика, истих димензија 12x16x16 са (слика 4.1).



Слика 4.7 – Изглед геометрије узорака



Слика 4.8 Приказ основних димезија и распореда обраде истосмерним и супротносмерним глодањем

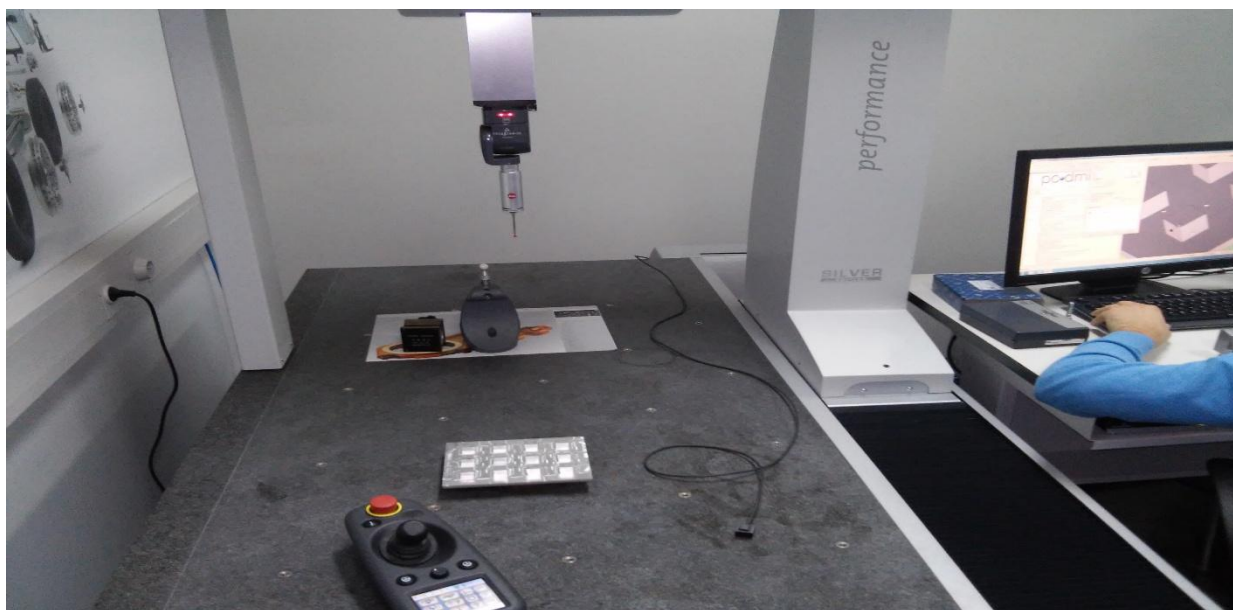
4.6 Стратегија глодања

Стратегије које су се користиле за експеримент су супротносмерно и истосмерно глодање.

4.7 Мерна машина

Добијени делови су се мерили у преставништву HEXAGON METROLOGY чије се заступништво налази на Факултету инжењерских наука у Крагујевцу. Мерење добијених делова вршено је на CNC мерној машини DEA GLOBAL Silver Performance 09.15.08..

Место мерења је тачно на половини од максималне висине изданака, мерна машина је програмирана да мери димензије и одступања од управности на дубини од 6 mm од Z осе.



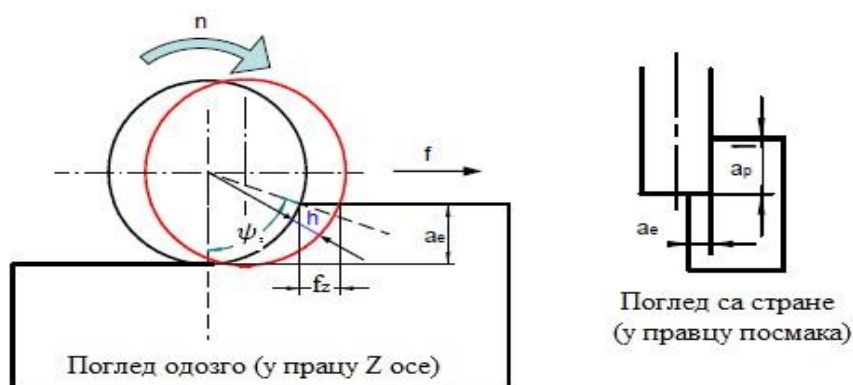
Слика 4.9 – Профилно глодање са равним глодалом

4.8 Материјал

Материјал који се користио за експеримент је 6005А-Т6 Аl (АlSiMg(А)3.3210) са саставом Аl 96.5 до 99.1% , Si 0.5 до 0,9 % , Mg 0,4 до 0,7 % , Fe 0-0,5 % , Cr 0-0,3%, Cu 0-0,3 % , Zn 0-0,2, Ti 0-0,1. Обрадивост највише зависи од процента Si у материјалу из разлога јер повећава његову тврдоћу. Поред тога он се добро обрађује, јер је тврд и даје добар квалитет обрађиване површине. Овај тип алуминијума је знатно заступљен у изради железничке и аутобуске профил конструкције, стубова, платформи, цевовода итд.

4.9 Режији обраде

Испитивање је засновано на различитим аксијалним дубинама (ширина) резања профилним глодањем (истосмерним и супротносмерним) са идентичним режимима обраде.



Слика 4.10 – Профилно глодање са равним глодалом

4.9.1 Призматичан део

Стратегија за овај део је направљена из тзв. ослобађања и финишних пролаза на меру. Из четвртасте плоче димензија (180x140x20) прво су се ослободили призматични делови (изданци) глодалом намењеном за грубу обраду Ø16 (кукурузар), тако да би се финим глодалом Ø 16 (вретенасто) добиле димензије (20x20x12). Затим се приступило финишном машинирању, који је сада из једног пролаза радио призматичне изданке директно на меру са 20x20 на 16x16 са истим аксијалним и радијалним дубинама резања али различитим вредностима посмака и броја обртаја.

Табела 3. Дефинисани параметри резања- посмак(f , mm/min) , број обртаја (n , °/min) за глодала Ø6 HSS, Ø6 ТМ и Ø10 ТМ

		Вредности режима обраде											
Параметар		1 и.	2 и.	3 и.	4 и.	5 и.	6 и.	1 с.	2 с.	3 с.	4 с.	5 с.	6 с.
Посмак (f , mm/min)	6HSS	500	1500	2000	500	1500	2000	500	1500	2000	500	1500	2000
	6 ТМ												
	10ТМ												
Број обртаја (n , °/min)	6HSS	3500	3500	3500	5500	5500	5500	3500	3500	3500	5500	5500	5500
	6 ТМ												
	10ТМ												

Табела 4. Параметри резања код призматичног дела за глодало Ø6 HSSE Бр 15112 Orion – HAHN+KOLB

Параметар	Вредност
Посмак - f (mm/min)	500/1500/2000
Брзина - v (°/min)	3500/5500
Број зуба алата- z	3
Радијална дубина- a_e (mm)	0.875/0.875/0,25
Аксијална дубина- a_p (mm)	6/6

Табела 5. Параметри резања код призматичног дела за глодало Ø6 ТМ VHM 20 2243 Garant

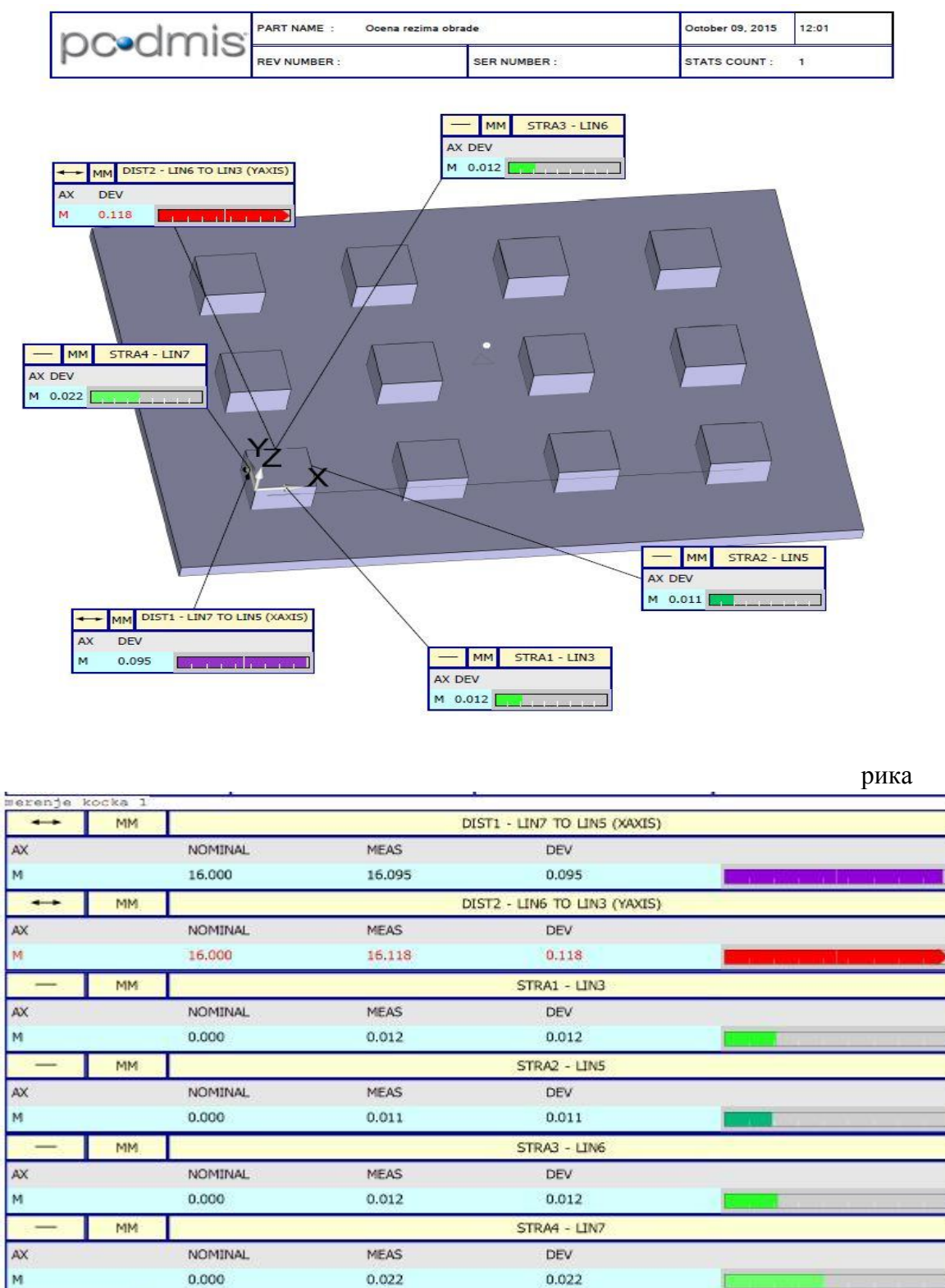
Параметар	Вредност
Посмак - f (mm/min)	500/1500/2000
Брзина - v (°/min)	3500/5500
Број зуба алата- z	3
Радијална дубина- a_e (mm)	0.875/0.875/0,25
Аксијална дубина- a_p (mm)	6/6

Табела 6. Параметри резања код призматичног дела за глодало $\varnothing 10$ VHM 20 2243 Garanat

Параметар	Вредност
Посмак -f (mm/min)	500/1500/2000
Брзина -v (°/min)	3500/5500
Број зуба алата-z	3
Радијална дубина- a_e (mm)	0.875/0.875/0,25
Аксијална дубина- a_p (mm)	6/6

4.10 Резултати експеримента

4.10.1 Призматичан део, глодало Ø6 HSS (истосмерно глодање)

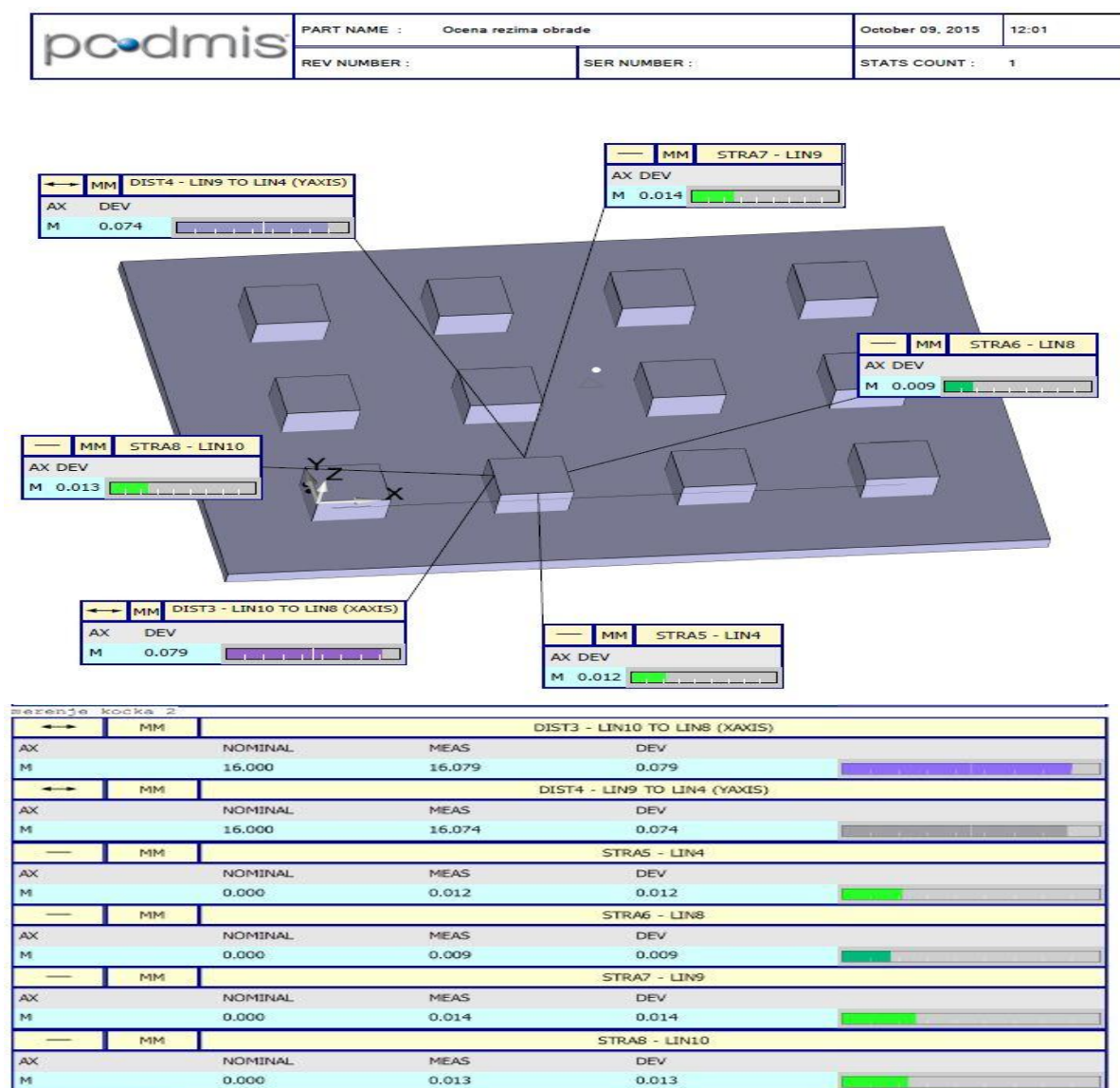


Слика 4.11 – Мерење призматичног дела 1 код истосмерним глодањем, Ø6 HSS

На сликама су приказана мерења призматичних изданака следећим редоследом и приказом :

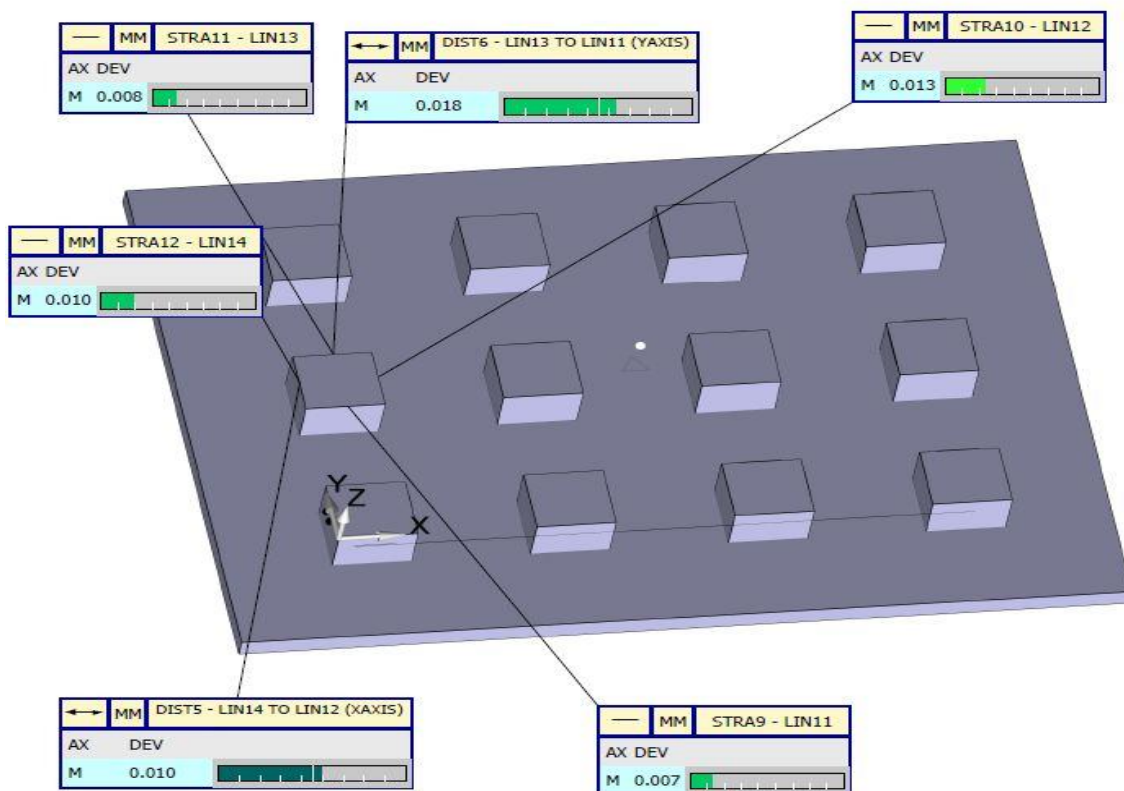
1. Одступање од номиналне димензије 16 по x-оси,
2. Одступање од номиналне димензије 16 по y-оси,
3. Одступање од управности по у оси са доње стране,
4. Одступање од управности по х оси са десне стране,
5. Одступање од управности по у оси са горње стране и
6. Одступање од управности по х оси са леве стране.

На осталим сликама мерења важе иста правила, која су усвојена ради лакшег праћења и сакупљањ добијених резултата. Мерење одступања номиналне мере 16 по х и у вршено је додиривањем мерног припка на средишњем делу изданка за сваки изданак посебно. Мерење одступања од управности за 3./4./5./6. се вршило додиривањем мерне куглице на ивице површина.



Слика 4.12 – Мерење призматичног дела 2 код истосмерним глодањем, Ø6 HSS

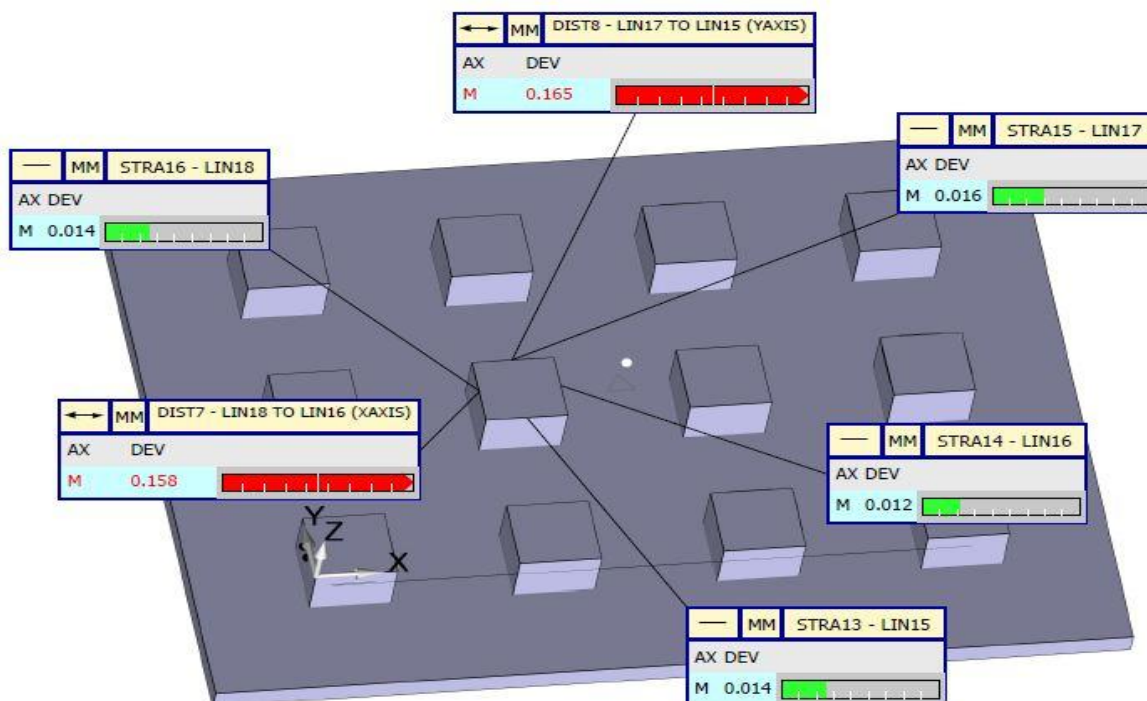
	PART NAME : Ocena rezima obrade		October 09, 2015	12:01
	REV NUMBER :	SER NUMBER :	STATS COUNT : 1	



↔	MM	DIST5 - LIN14 TO LIN12 (XAXIS)		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		16.000	16.010	0.010
↔	MM	DIST6 - LIN13 TO LIN11 (YAXIS)		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		16.000	16.018	0.018
—	MM	STRA9 - LIN11		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.007	0.007
—	MM	STRA10 - LIN12		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.013	0.013
—	MM	STRA11 - LIN13		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.008	0.008
—	MM	STRA12 - LIN14		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.010	0.010

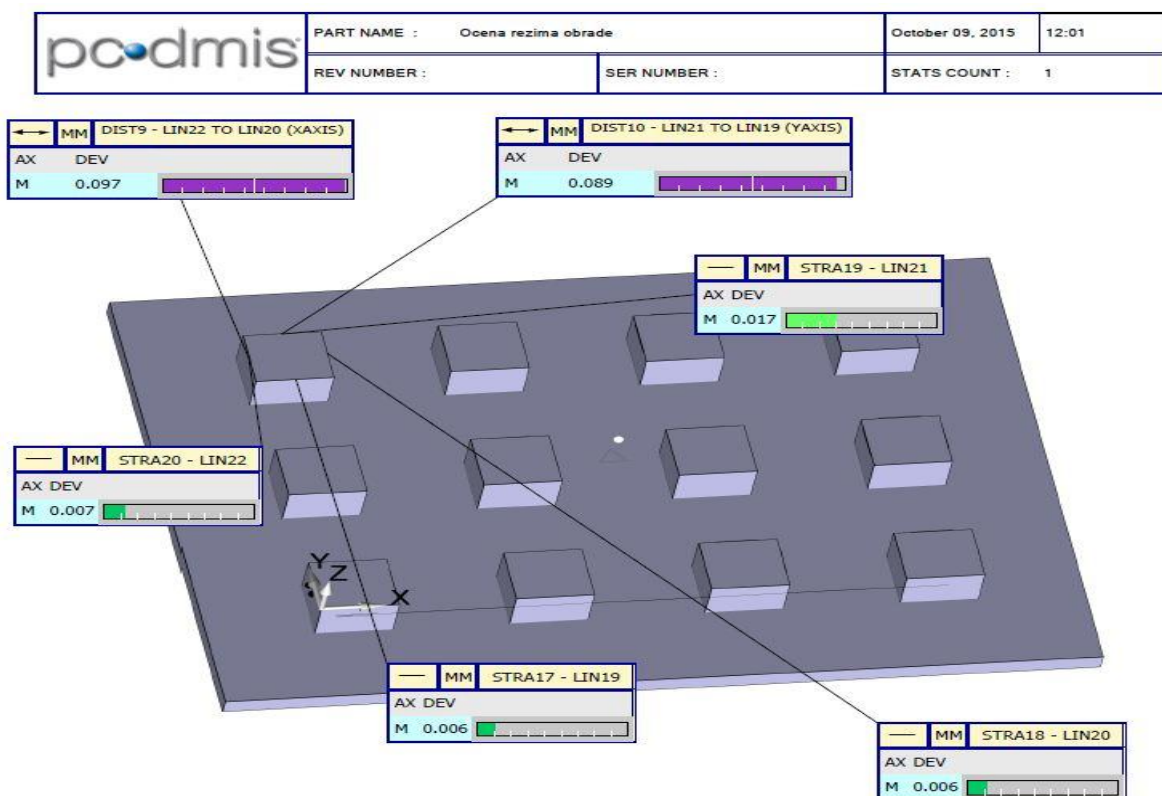
Слика 4.13 – Мерење призматичног дела 3 код истосмерним глодањем, Ø6 HSS

poodmis	PART NAME :	Ocena rezima obrade	October 09, 2015	12:01
	REV NUMBER :	SER NUMBER :	STATS COUNT :	1



merenje kocka 4				
↔	MM	DIST7 - LIN18 TO LIN16 (XAXIS)		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		16.000	16.158	0.158
↔	MM	DIST8 - LIN17 TO LIN15 (YAXIS)		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		16.000	16.165	0.165
—	MM	STRA13 - LIN15		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.014	0.014
—	MM	STRA14 - LIN16		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.012	0.012
—	MM	STRA15 - LIN17		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.016	0.016
—	MM	STRA16 - LIN18		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.014	0.014

Слика 4.14 – Мерење призматичног дела 4 код истосмерним глодањем, Ø6 HSS



merenje kocka 5

↔	MM	DIST9 - LIN22 TO LIN20 (XAXIS)		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		16.000	16.097	0.097

↔	MM	DIST10 - LIN21 TO LIN19 (YAXIS)		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		16.000	16.089	0.089

—	MM	STRA17 - LIN19		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.006	0.006

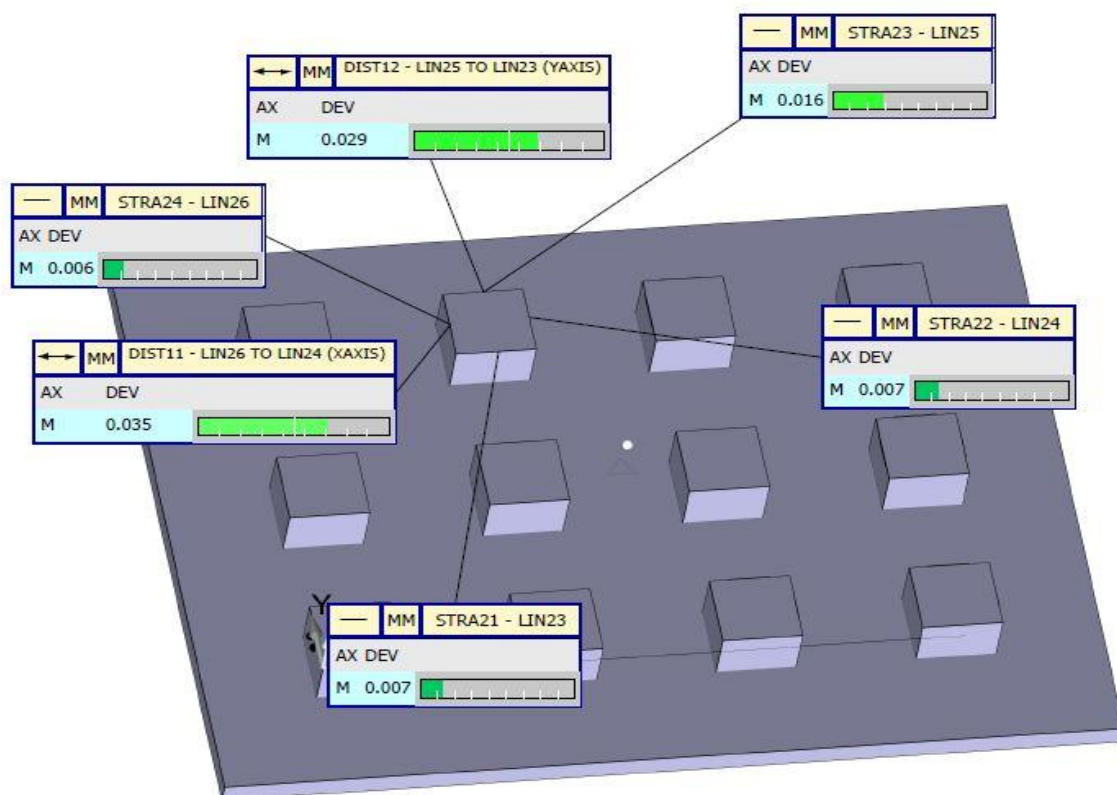
—	MM	STRA18 - LIN20		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.006	0.006

—	MM	STRA19 - LIN21		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.017	0.017

—	MM	STRA20 - LIN22		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.007	0.007

Слика 4.15 – Мерење призматичног дела 5 код истосмерним глодањем, Ø6 HSS

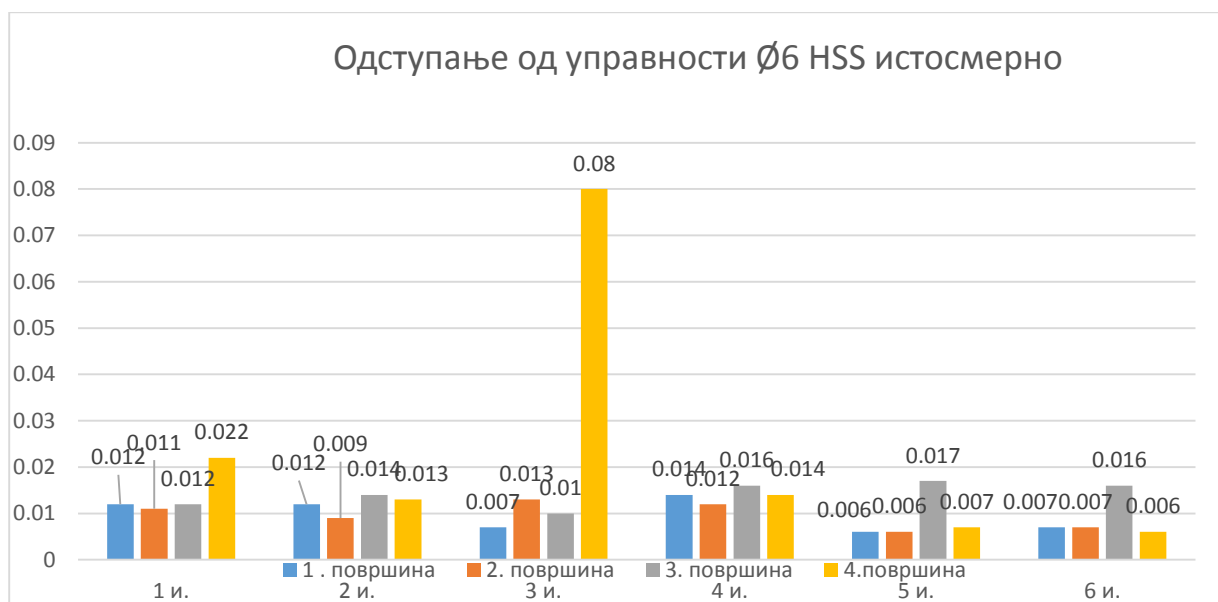
pcodmis	PART NAME : Ocena rezima obrade		October 09, 2015	12:01
	REV NUMBER :	SER NUMBER :	STATS COUNT : 1	



merenje kocka 6

↔	MM	DIST11 - LIN26 TO LIN24 (XAXIS)		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		16.000	16.035	0.035
↔	MM	DIST12 - LIN25 TO LIN23 (YAXIS)		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		16.000	16.029	0.029
—	MM	STRA21 - LIN23		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.007	0.007
—	MM	STRA22 - LIN24		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.007	0.007
—	MM	STRA23 - LIN25		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.016	0.016
—	MM	STRA24 - LIN26		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.006	0.006

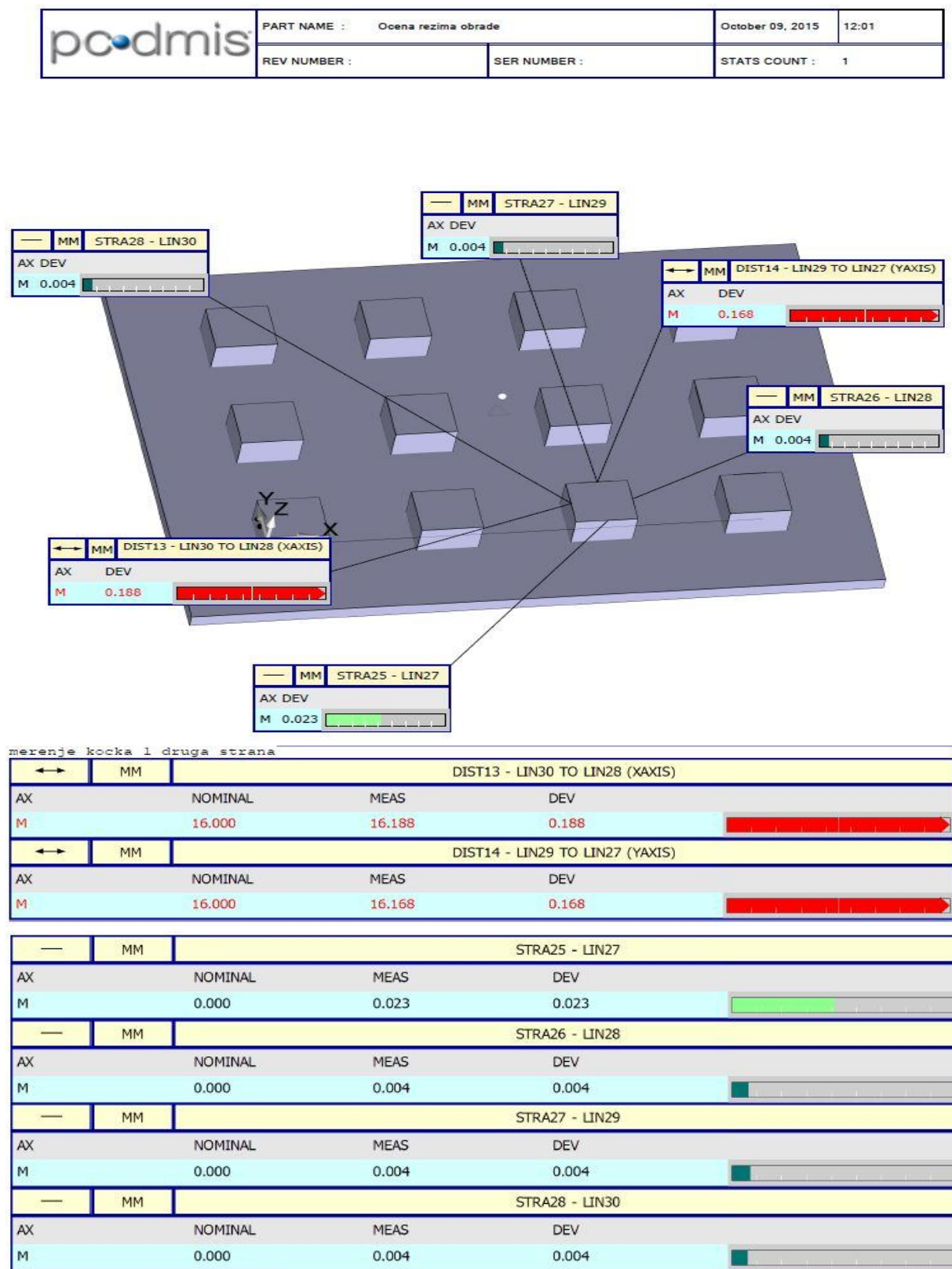
Слика 4.16 – Мерење призматичног дела 6 истосмерним глодањем, Ø6 HSS



Слика 4.17 –Дијаграмски приказ добијених резултата одступања од управности површине праћено променом посмака и брзине $\varnothing 6$ HSS

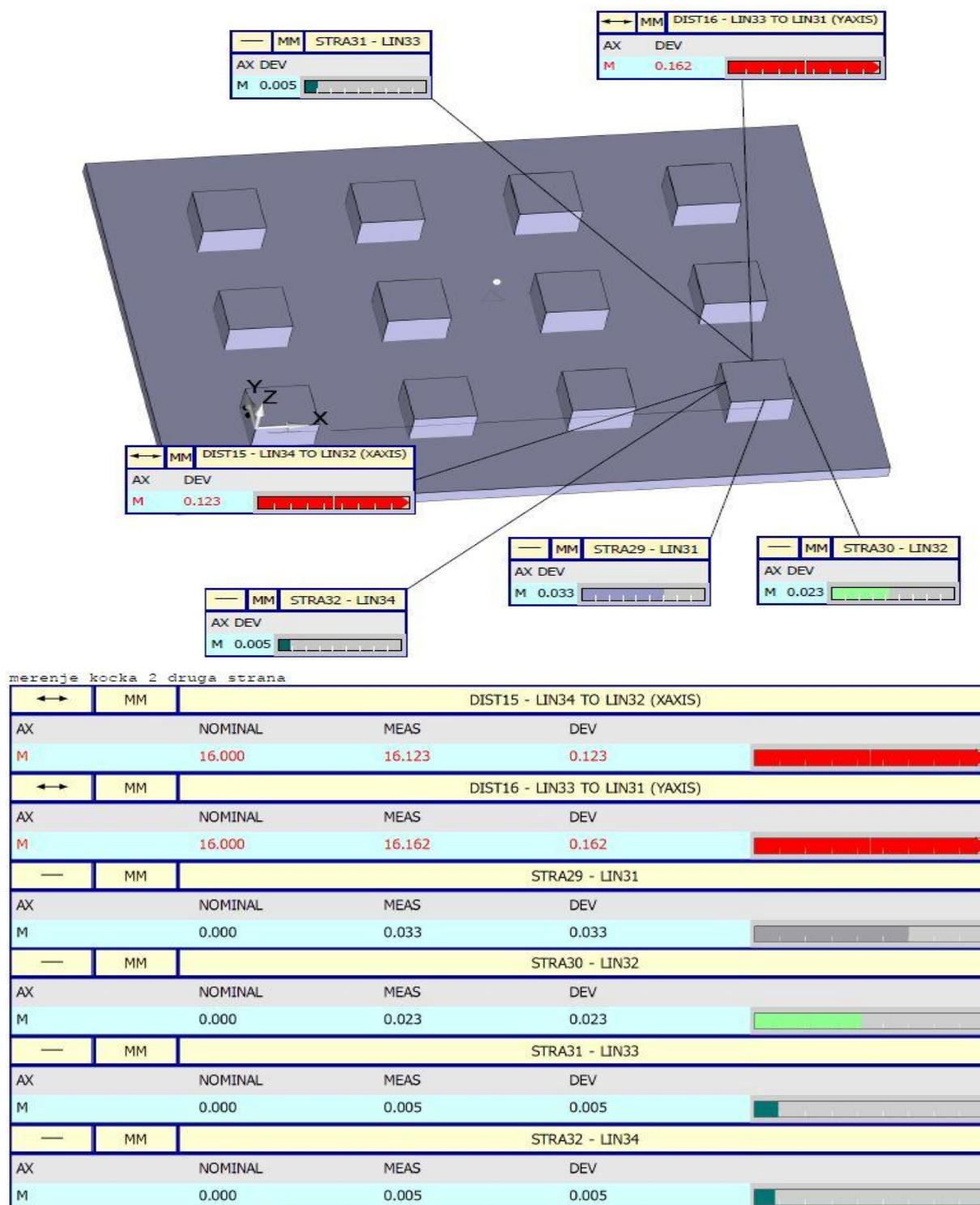
Приказано је одступање од управности површина (слици 4.17), свака линија представља површину призме LIN1, LIN2, LIN3, LIN4 (слике 4.11, 4.12, 4.13, 4.14, 4.15, 4.16.). Највећа одступања су се дешавала при самим улазима алата на површину и при великим брзинама и посмаку. На претходном графичком приказу се види да је највеће одступање настало са повећањем посмака.

4.10.2 Призматичан део глодало Ø6 HSS (супротносмерно глодање)



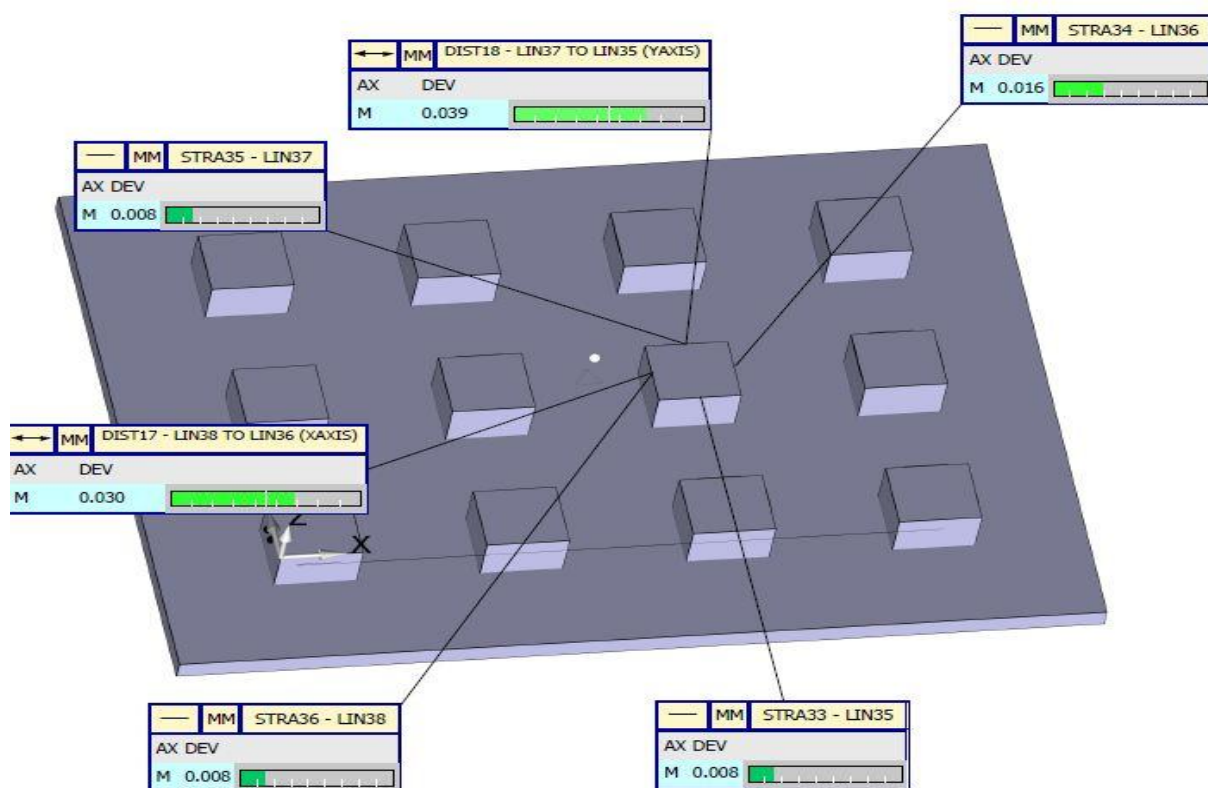
Слика 4.18 – Мерење призматичног дела 1 супротносмерним глодањем, Ø6 HSS

poodmis	PART NAME : Ocena rezima obrade		October 09, 2015	12:01
	REV NUMBER :	SER NUMBER :	STATS COUNT : 1	



Слика 4.19 – Мерење призматичног дела 2 супротносмерним глодањем, Ø6 HSS

pcodmis	PART NAME : Ocena rezima obrade		October 09, 2015	12:01
	REV NUMBER :	SER NUMBER :	STATS COUNT : 1	

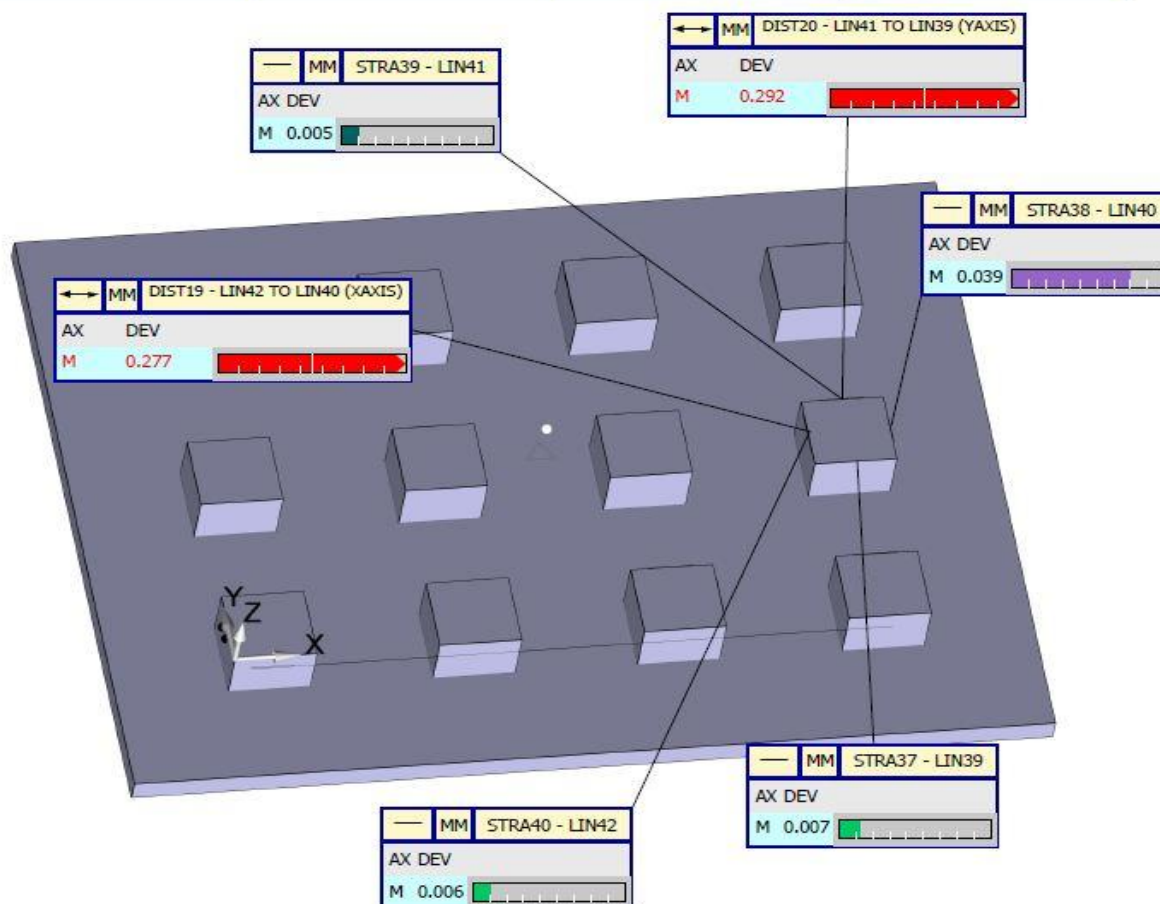


merenje kocka 3 druga strana

↔	MM	DIST17 - LIN38 TO LIN36 (XAXIS)		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		16.000	16.030	0.030
↔	MM	DIST18 - LIN37 TO LIN35 (YAXIS)		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		16.000	16.039	0.039
—	MM	STRA33 - LIN35		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.008	0.008
—	MM	STRA34 - LIN36		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.016	0.016
—	MM	STRA35 - LIN37		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.008	0.008
—	MM	STRA36 - LIN38		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.008	0.008

Слика 4.20 – Мерење призматичног дела 3 супротносмерним глодањем, Ø6 HSS

	PART NAME : Ocena rezima obrade		October 09, 2015	12:01
	REV NUMBER :	SER NUMBER :	STATS COUNT : 1	

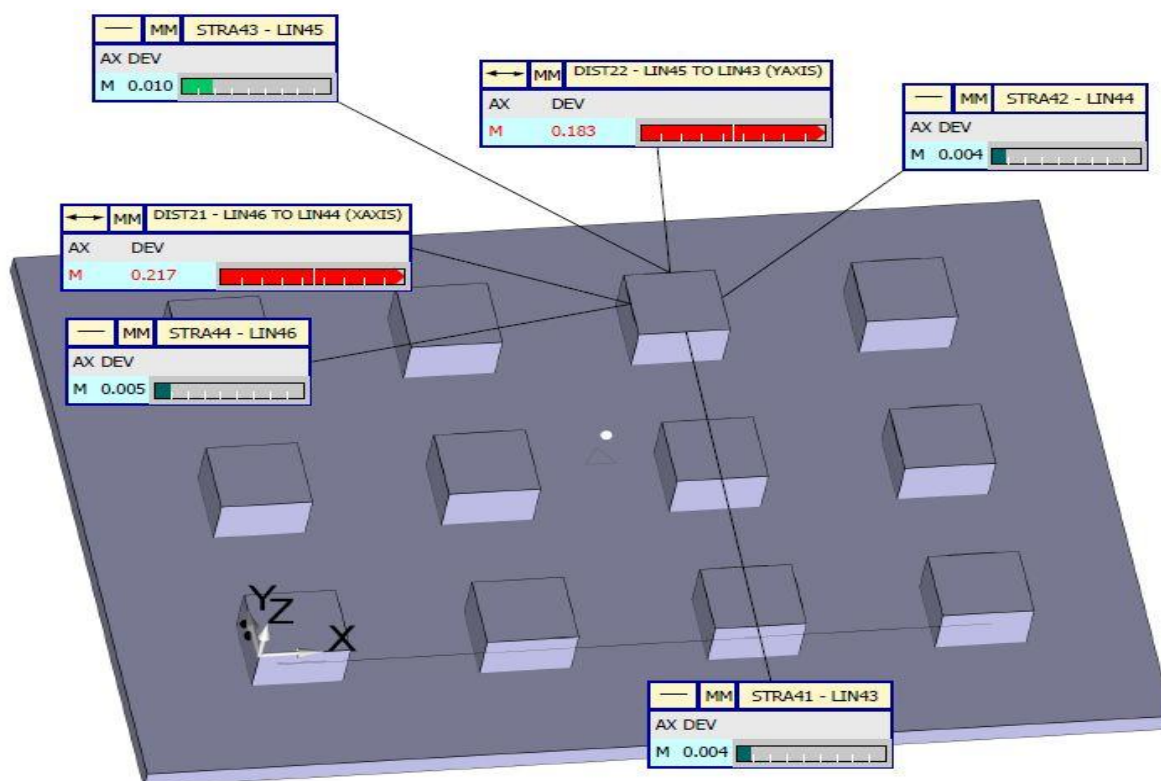


merenje kocka 4 druga strana

←→	MM	DIST19 - LIN42 TO LIN40 (XAXIS)		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		16.000	16.277	0.277
←→	MM	DIST20 - LIN41 TO LIN39 (YAXIS)		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		16.000	16.292	0.292
—	MM	STRA37 - LIN39		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.007	0.007
—	MM	STRA38 - LIN40		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.039	0.039
—	MM	STRA39 - LIN41		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.005	0.005
—	MM	STRA40 - LIN42		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.006	0.006

Слика 4.21 – Мерење призматичног дела 4 супротносмерним глодањем, Ø6 HSS

	PART NAME : Ocena rezima obrade		October 09, 2015	12:01
	REV NUMBER :	SER NUMBER :	STATS COUNT : 1	

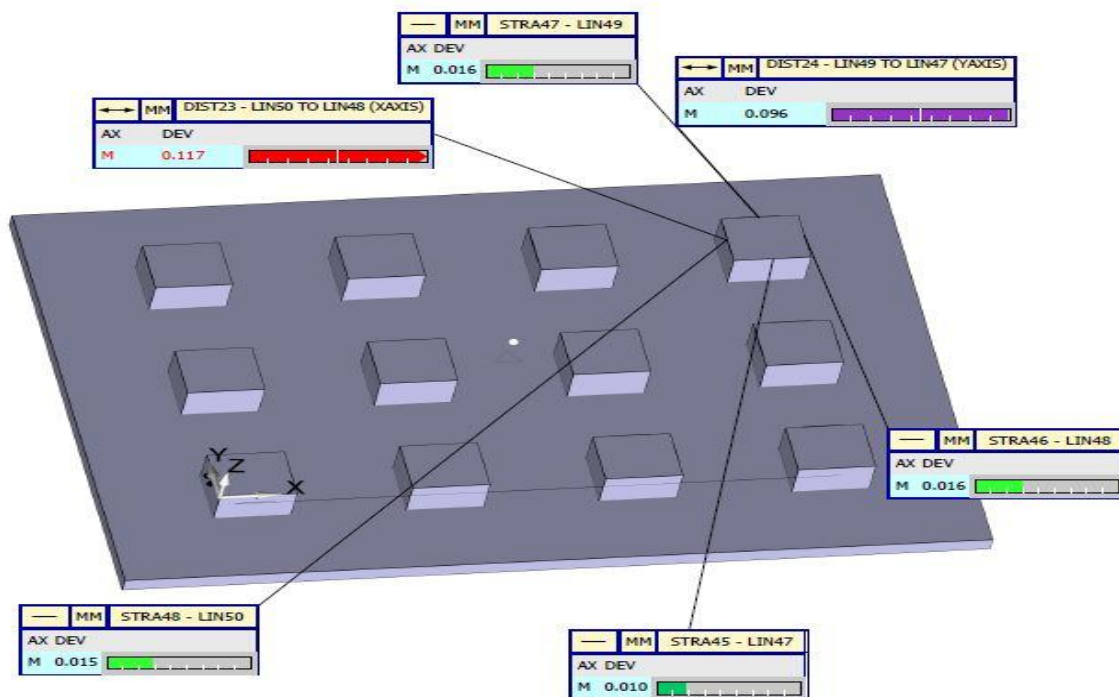


merenje kocka 5 druga strana

↔	MM	DIST21 - LIN46 TO LIN44 (XAXIS)		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		16.000	16.217	0.217
↔	MM	DIST22 - LIN45 TO LIN43 (YAXIS)		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		16.000	16.183	0.183
—	MM	STRA41 - LIN43		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.004	0.004
—	MM	STRA42 - LIN44		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.004	0.004
—	MM	STRA43 - LIN45		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.010	0.010
—	MM	STRA44 - LIN46		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.005	0.005

Слика 4.22 – Мерење призматичног дела 5 супротносмерним глодањем, Ø6 HSS

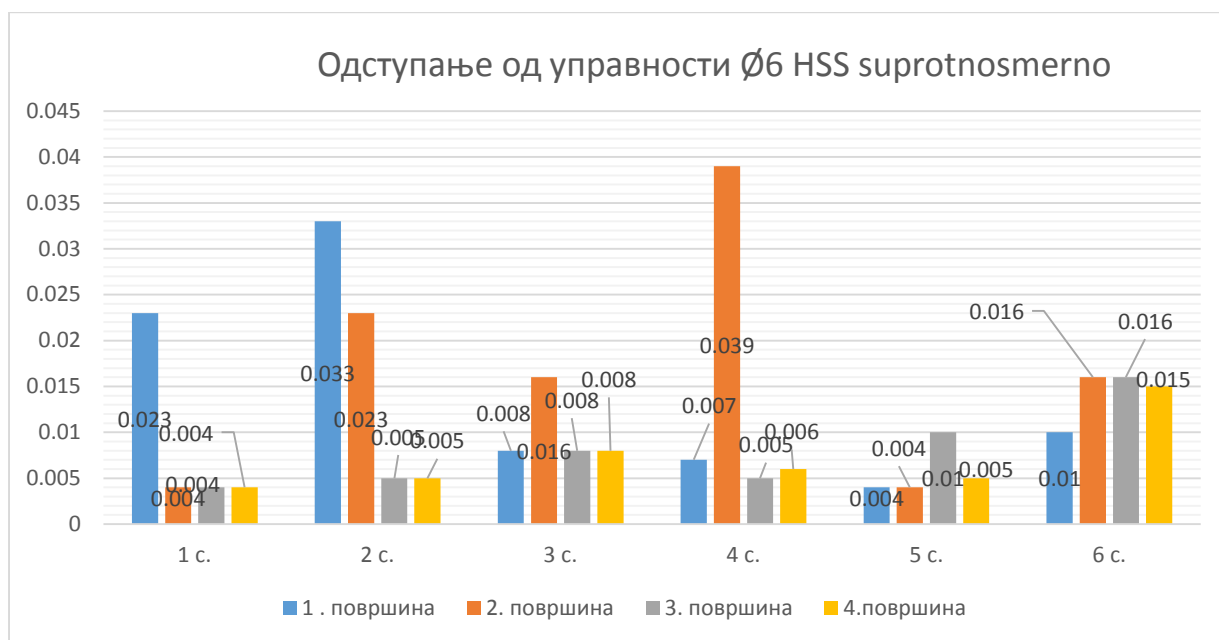
pcodmis	PART NAME : Ocena rezima obrade		October 09, 2015	12:01
	REV NUMBER :	SER NUMBER :	STATS COUNT : 1	



merenje kocka 6 druga strana

↔	MM	DIST23 - LIN50 TO LIN48 (XAXIS)		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		16.000	16.117	0.117
↔	MM	DIST24 - LIN49 TO LIN47 (YAXIS)		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		16.000	16.096	0.096
—	MM	STRA45 - LIN47		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.010	0.010
—	MM	STRA46 - LIN48		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.016	0.016
—	MM	STRA47 - LIN49		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.016	0.016
—	MM	STRA48 - LIN50		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.015	0.015

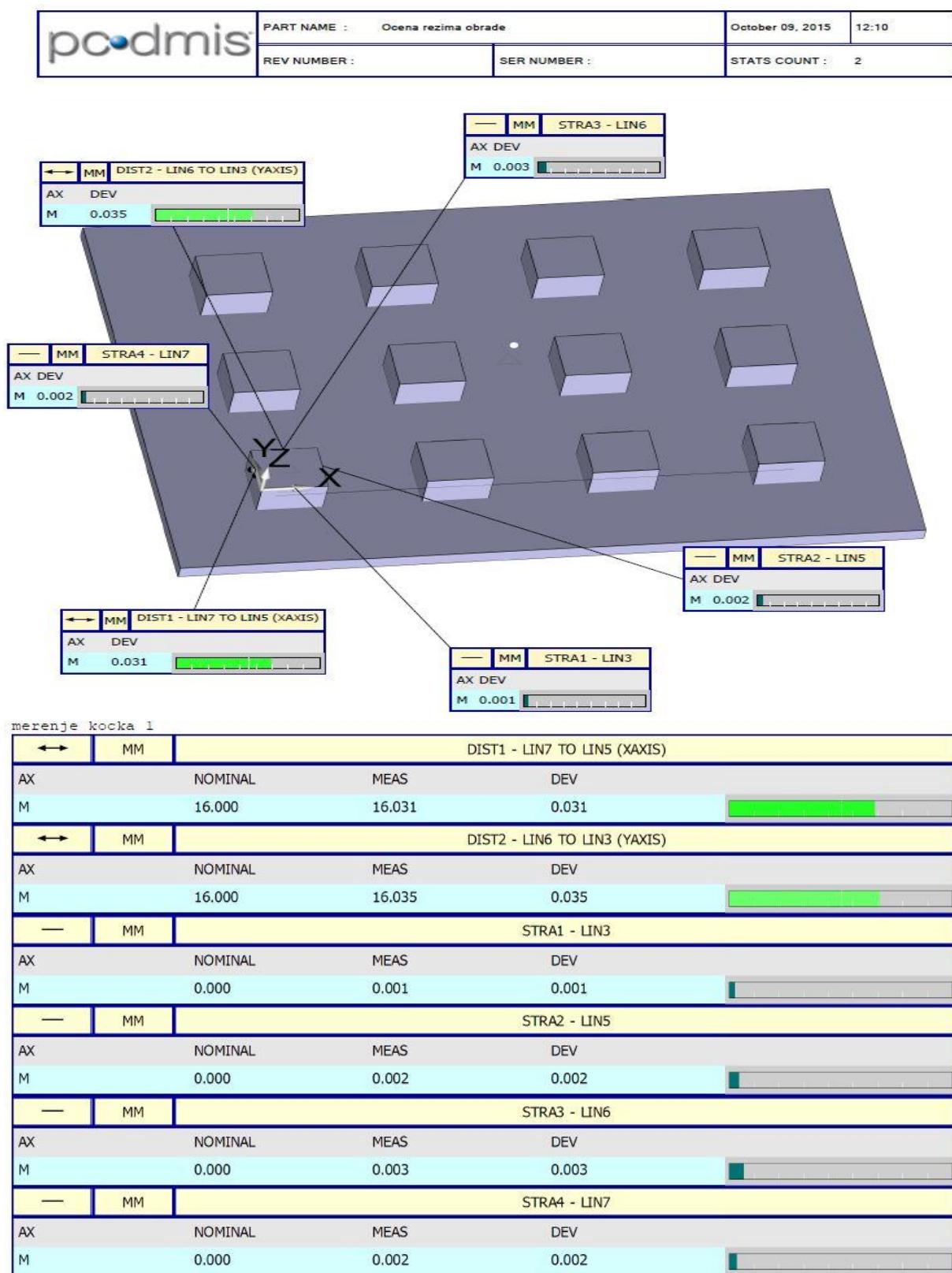
Слика 4.23 – Мерење призматичног дела 6 супротносмерним глодањем, Ø6 HSS



Слика 4.24 – Дијаграмски приказ добијених резултата одступања од управности површине праћено променом посмака и брзине $\varnothing 6$ HSS

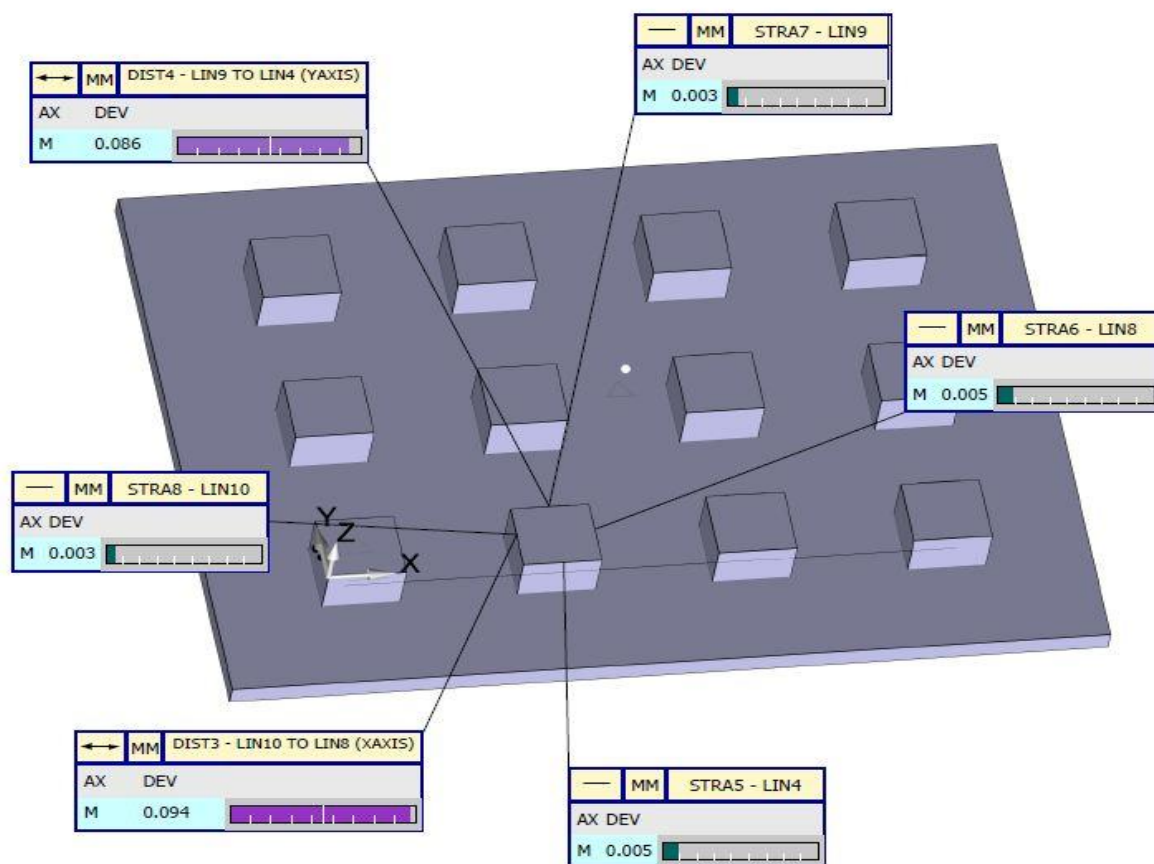
Приказано је одступање од управности површина (слици 4.17), свака линија представља површину призме LIN1, LIN2, LIN3, LIN4 (слике 4.21, 4.22, 4.23, 4.24, 4.25, 4.26.). Највећа одступања су се дешавала због крутости алата, као што је у предходним тексту објашњено, супротносмерним глодањем алат тежи да исчупа припремак тако да долази појаве високих вибрација, буке које могу довести до лома глодала, наручито при великим брзинама посмака и обртаја.

4.10.3 Призматичан део глодало Ø6 VHM (истосмерно глодање)



Слика 4.25 – Мерење призматичног дела 1 истосмерним глодањем, Ø6 VHM

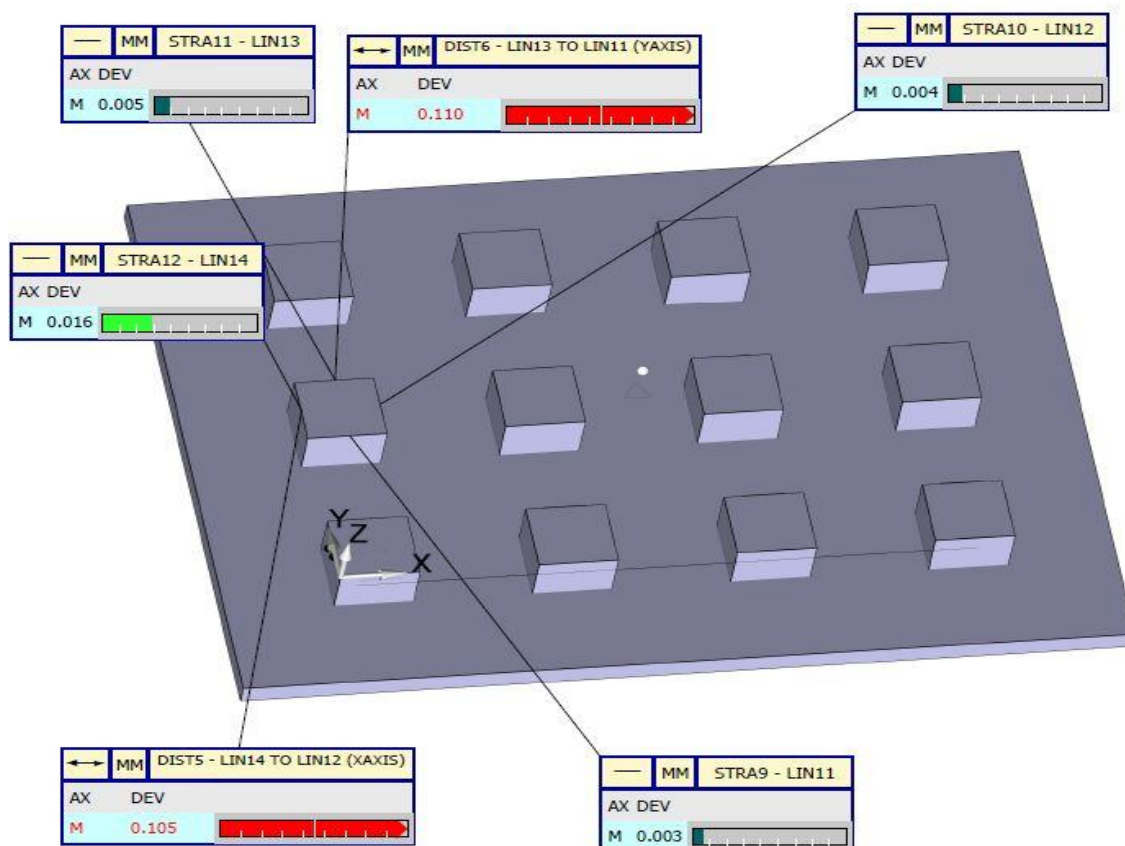
	PART NAME : Ocena rezima obrade		October 09, 2015	12:10
	REV NUMBER :	SER NUMBER :	STATS COUNT : 2	



merenje kocka 2				
↔	MM	DIST3 - LIN10 TO LIN8 (XAXIS)		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		16.000	16.094	0.094
↔	MM	DIST4 - LIN9 TO LIN4 (YAXIS)		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		16.000	16.086	0.086
—	MM	STRA5 - LIN4		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.005	0.005
—	MM	STRA6 - LIN8		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.005	0.005
—	MM	STRA7 - LIN9		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.003	0.003
—	MM	STRA8 - LIN10		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.003	0.003

Слика 4.26 – Мерење призматичног дела 2 истосмерним глодањем, Ø6 VHM

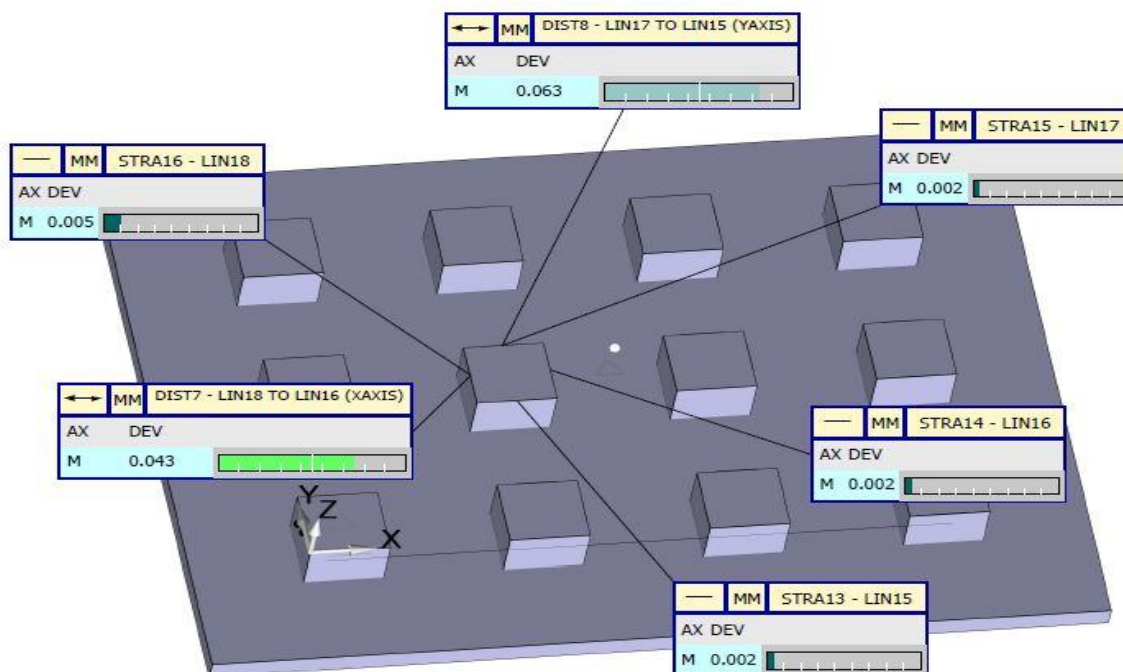
	PART NAME : Ocena rezima obrade		October 09, 2015	12:10
	REV NUMBER :	SER NUMBER :	STATS COUNT : 2	



↔	MM	DIST5 - LIN14 TO LIN12 (XAXIS)		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		16.000	16.105	0.105
↔	MM	DIST6 - LIN13 TO LIN11 (YAXIS)		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		16.000	16.110	0.110
—	MM	STRA9 - LIN11		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.003	0.003
—	MM	STRA10 - LIN12		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.004	0.004
—	MM	STRA11 - LIN13		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.005	0.005
—	MM	STRA12 - LIN14		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.016	0.016

Слика 4.27 – Мерење призматичног дела 3 истосмерним глодањем, Ø6 VHM

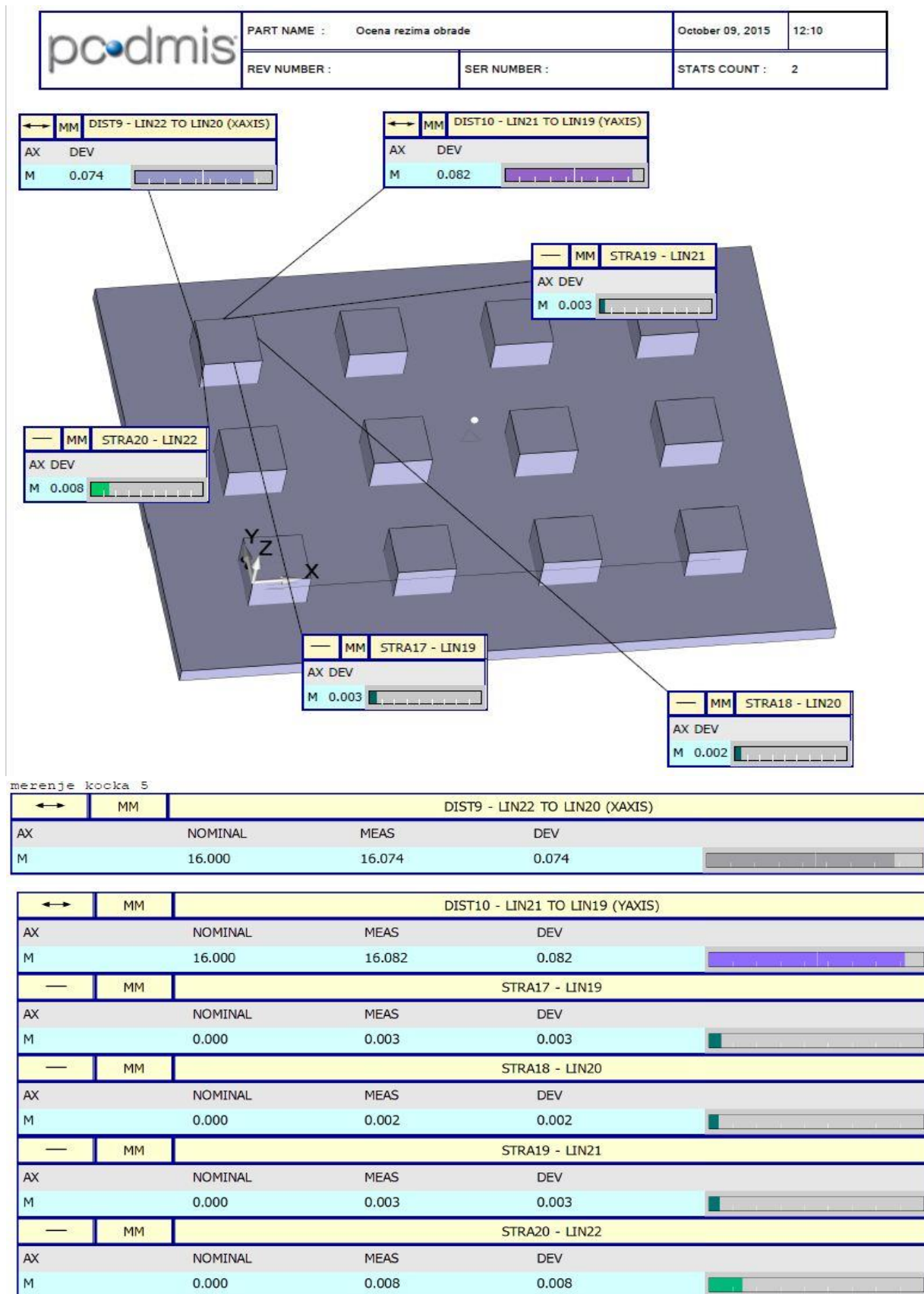
pcodmis	PART NAME : Ocena rezima obrade		October 09, 2015	12:10
	REV NUMBER :	SER NUMBER :	STATS COUNT : 2	



merenje kocka 4

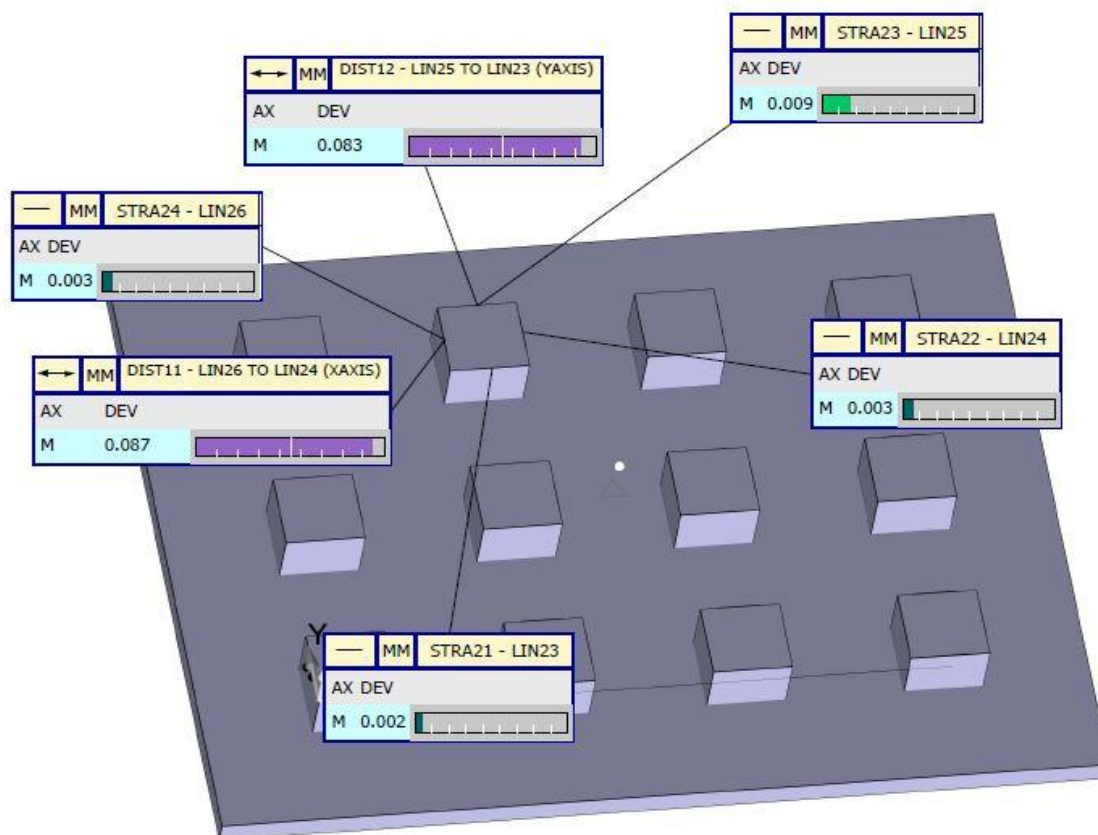
	MM	DIST7 - LIN18 TO LIN16 (XAXIS)		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		16.000	16.043	0.043
	MM	DIST8 - LIN17 TO LIN15 (YAXIS)		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		16.000	16.063	0.063
	MM	STRA13 - LIN15		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.002	0.002
	MM	STRA14 - LIN16		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.002	0.002
	MM	STRA15 - LIN17		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.002	0.002
	MM	STRA16 - LIN18		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.005	0.005

Слика 4.28 – Мерење призматичног дела 4 истосмерним глодањем, Ø6 VHM



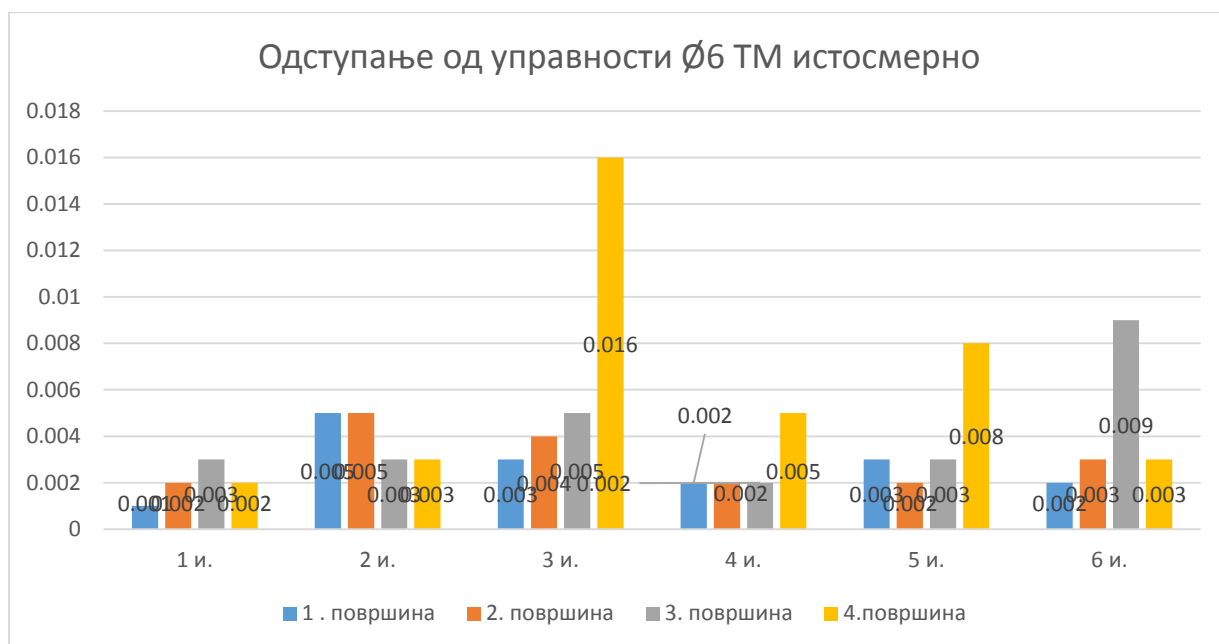
Слика 4.29 – Мерење призматичног дела 5 истосмерним глодањем, $\varnothing 6$ VHM

	PART NAME : Oena rezima obrade		October 09, 2015	12:10
	REV NUMBER :	SER NUMBER :	STATS COUNT : 2	



merenje kocka 6				
↔	MM	DIST11 - LIN26 TO LIN24 (XAXIS)		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		16.000	16.087	0.087
↔	MM	DIST12 - LIN25 TO LIN23 (YAXIS)		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		16.000	16.083	0.083
—	MM	STRA21 - LIN23		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.002	0.002
—	MM	STRA22 - LIN24		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.003	0.003
—	MM	STRA23 - LIN25		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.009	0.009
—	MM	STRA24 - LIN26		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.003	0.003

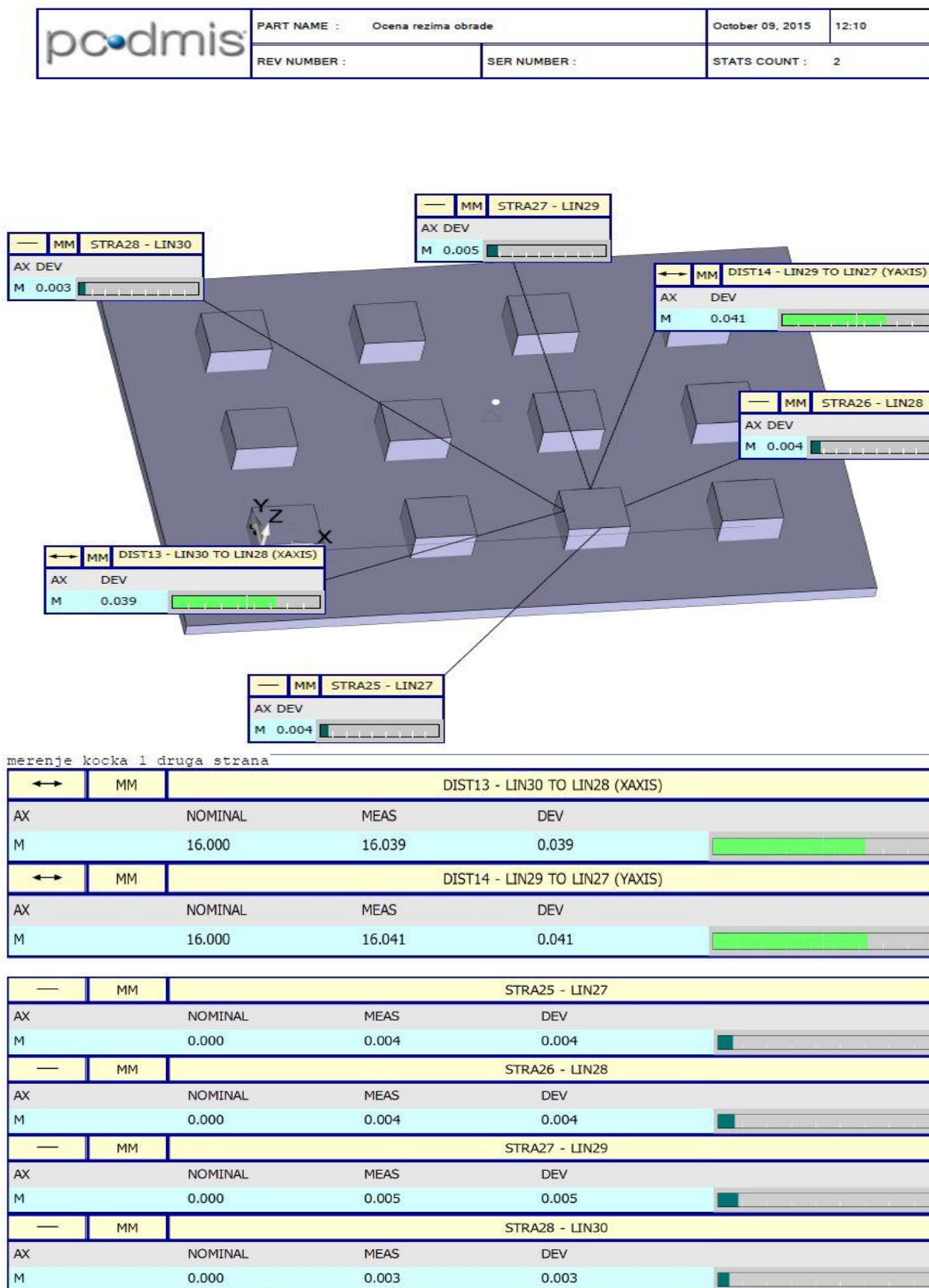
Слика 4.30 – Мерење призматичног дела 6 истосмерним глодањем, Ø6 VHM



Слика 4.31 – Дијаграмски приказ добијених резултата одступања од управности површине праћено променом посмака и брзине

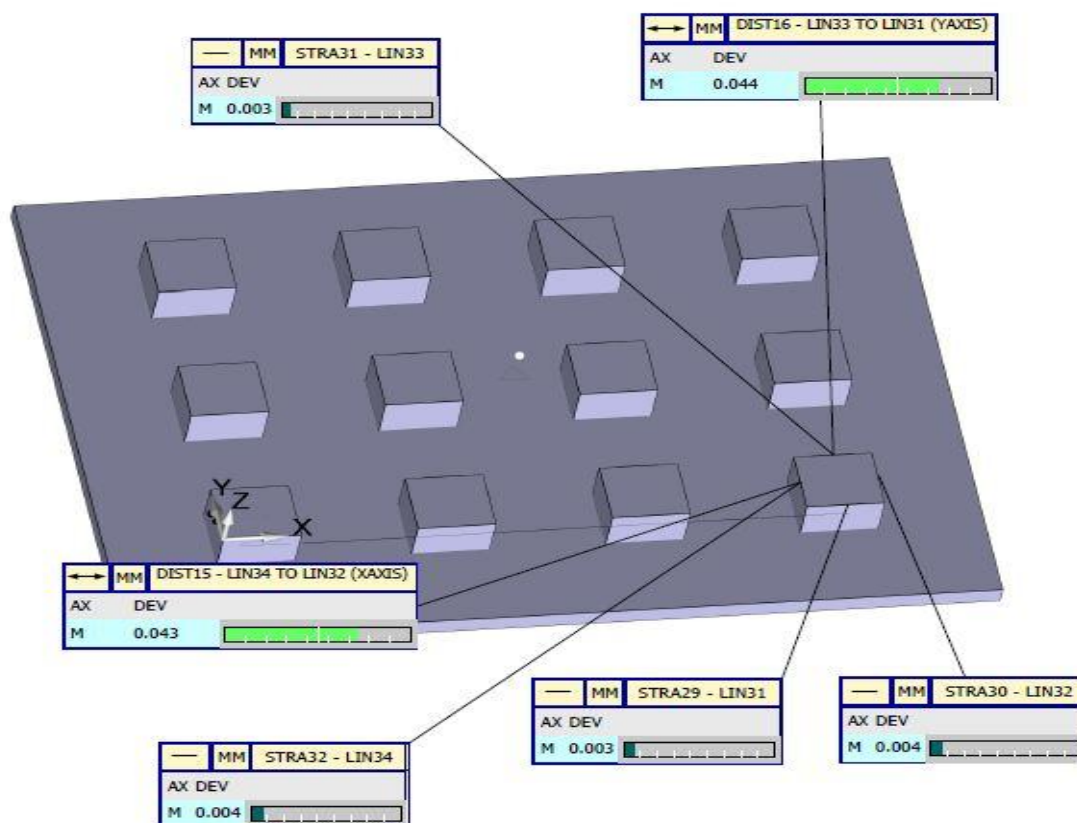
При обради глодалом Ø6 VHM долази до одступања али јединице мере су знатно мање у односу на глодало Ø6 HSS. Важе исти параметри као и у претходном случају за истосмерно глоање, највећа одступања су настала при самим улазу алата у комад.

4.10.4 Призматичан део глодало Ø6- тврди метал (супротносмерно глодање)



Слика 4.32 – Мерење призматичног дела 1 супротносмерним глодањем, Ø6VHM

pcodmis	PART NAME : Ocena rezima obrade		October 09, 2015	12:10
	REV NUMBER :	SER NUMBER :	STATS COUNT : 2	

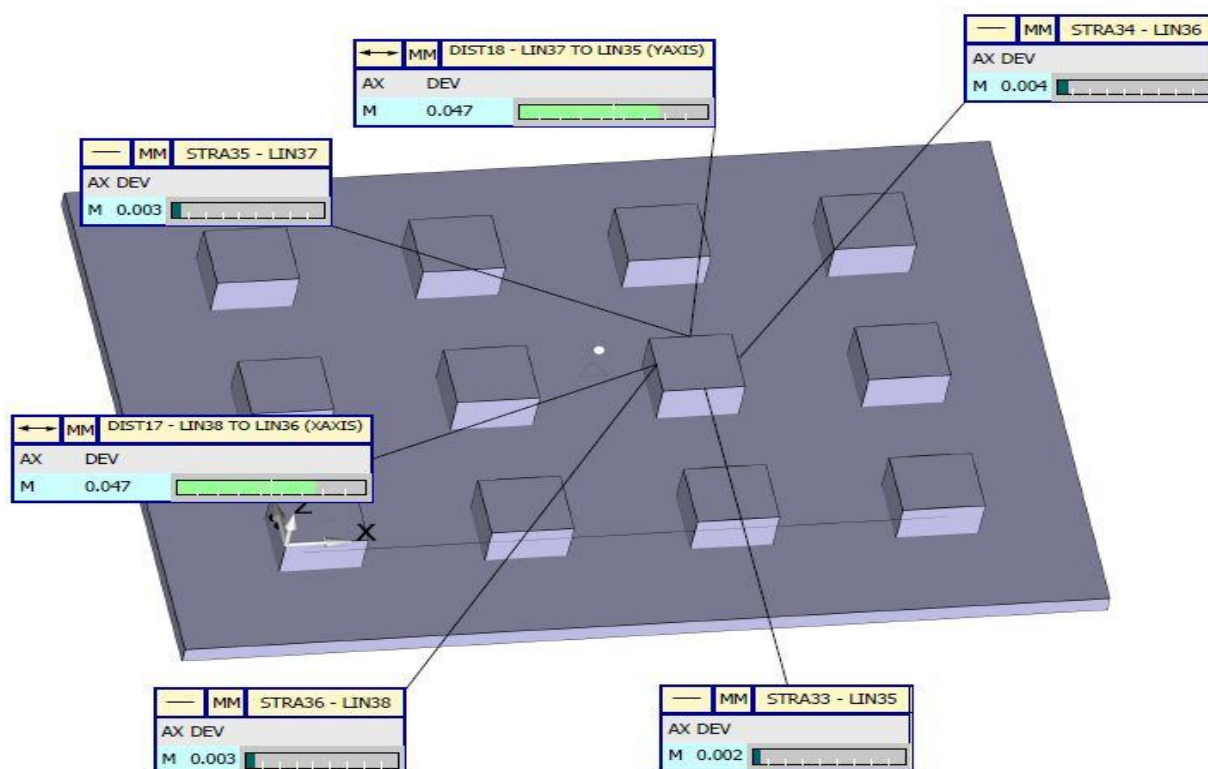


merenje kocka 2 druga strana

↔	MM	DIST15 - LIN34 TO LIN32 (XAXIS)		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		16.000	16.043	0.043
↔	MM	DIST16 - LIN33 TO LIN31 (YAXIS)		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		16.000	16.044	0.044
—	MM	STRA29 - LIN31		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.003	0.003
—	MM	STRA30 - LIN32		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.004	0.004
—	MM	STRA31 - LIN33		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.003	0.003
—	MM	STRA32 - LIN34		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.004	0.004

Слика 4.33 – Мерење призматичног дела 2 супротносмерним глодањем, Ø6VHM

pcodmis	PART NAME : Ocena rezima obrade		October 09, 2015	12:10
	REV NUMBER :	SER NUMBER :	STATS COUNT : 2	

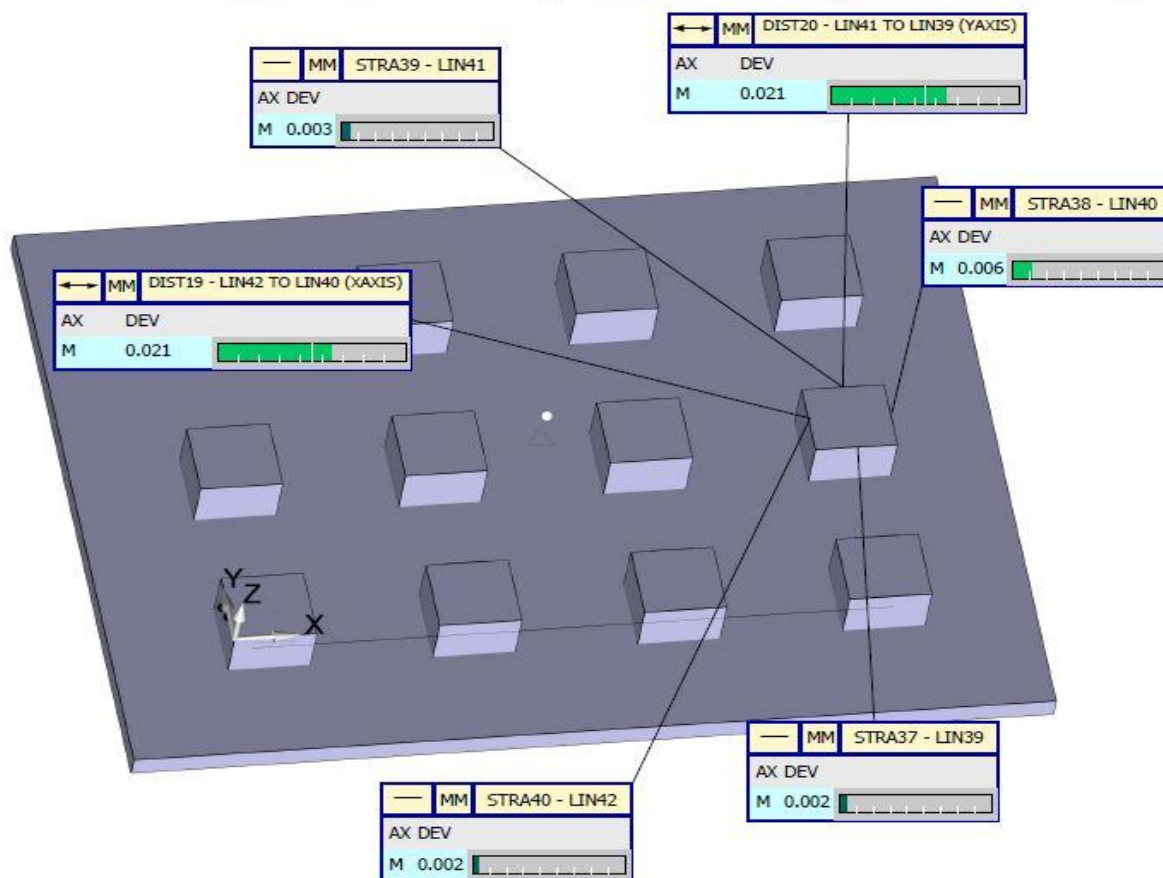


merenje kocka 3 druga strana

↔	MM	DIST17 - LIN38 TO LIN36 (XAXIS)		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		16.000	16.047	0.047
↔	MM	DIST18 - LIN37 TO LIN35 (YAXIS)		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		16.000	16.047	0.047
—	MM	STRA33 - LIN35		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.002	0.002
—	MM	STRA34 - LIN36		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.004	0.004
—	MM	STRA35 - LIN37		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.003	0.003
—	MM	STRA36 - LIN38		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.003	0.003

Слика 4.34 – Мерење призматичног дела 3 супротносмерним глодањем, Ø6VHM

poodmis	PART NAME :	Ocena rezima obrade	October 09, 2015	12:10
	REV NUMBER :	SER NUMBER :	STATS COUNT :	2

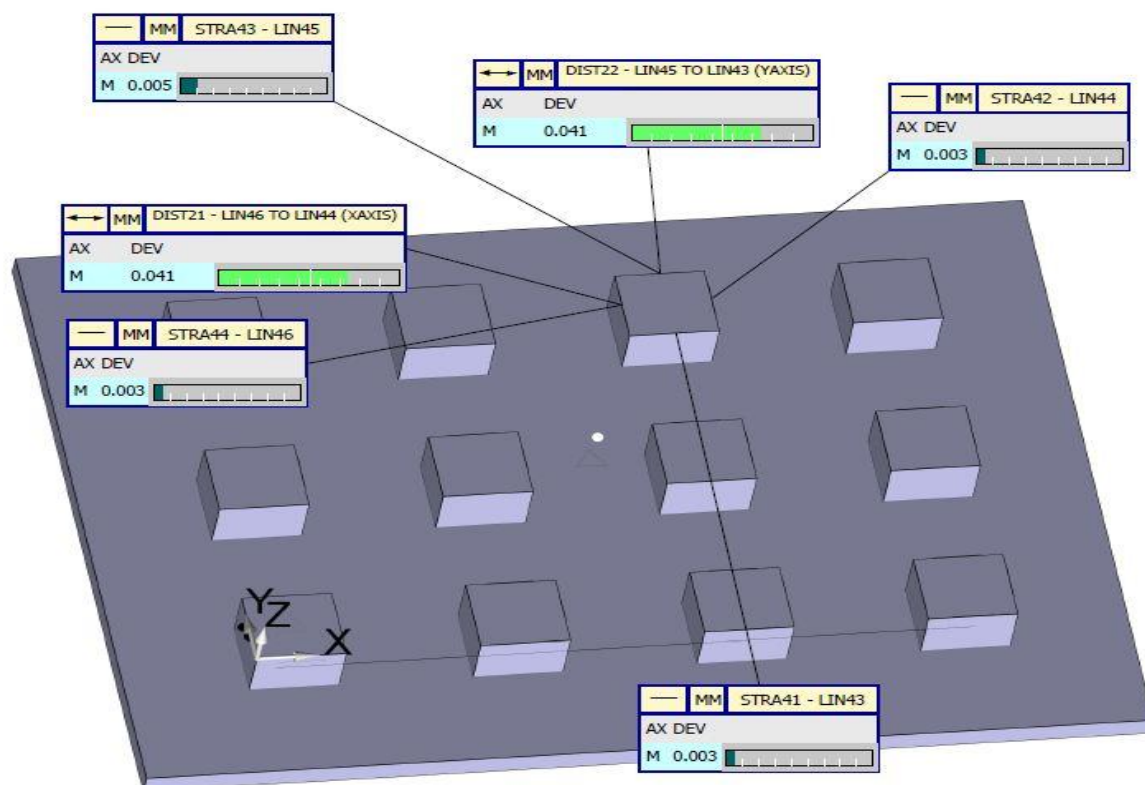


merenje kocka 4 druga strana

↔	MM	DIST19 - LIN42 TO LIN40 (XAXIS)		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		16.000	16.021	0.021
↔	MM	DIST20 - LIN41 TO LIN39 (YAXIS)		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		16.000	16.021	0.021
—	MM	STRA37 - LIN39		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.002	0.002
—	MM	STRA38 - LIN40		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.006	0.006
—	MM	STRA39 - LIN41		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.003	0.003
—	MM	STRA40 - LIN42		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.002	0.002

Слика 4.35 – Мерење призматичног дела 4 супротносмерним глодањем, Ø6VHM

pcodmis	PART NAME : Ocena rezima obrade		October 09, 2015	12:10
	REV NUMBER :	SER NUMBER :	STATS COUNT : 2	

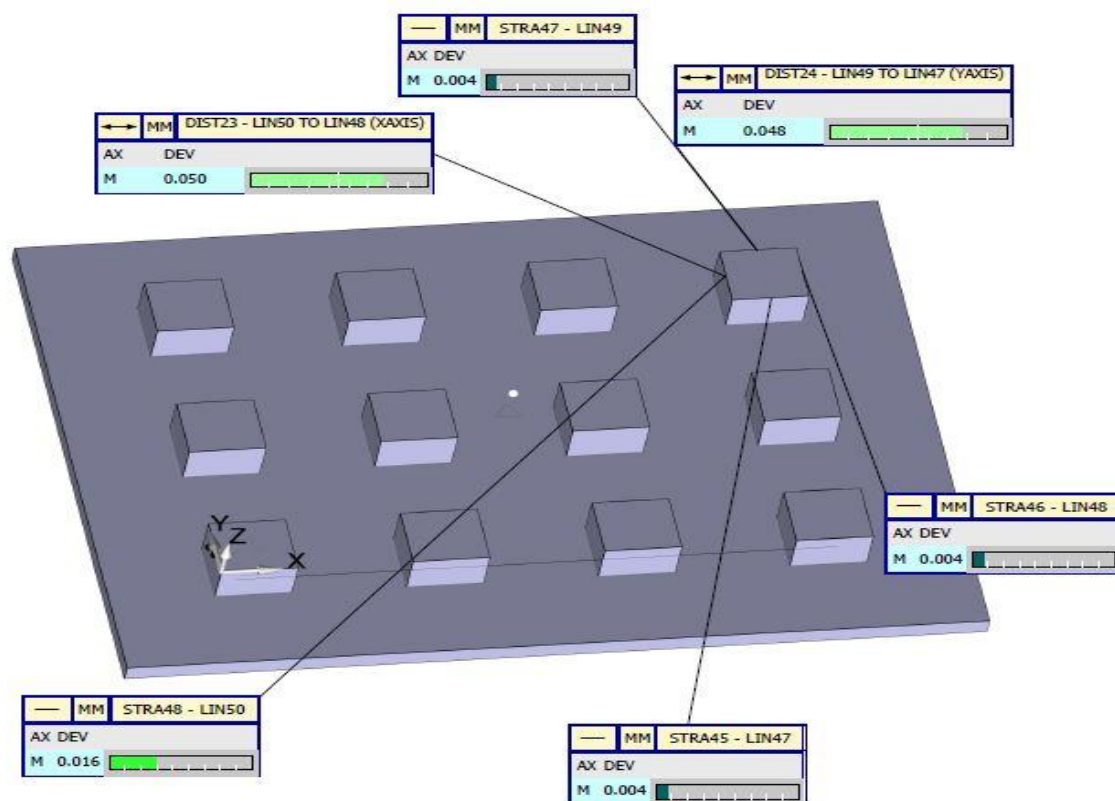


merenje kocka 5 druga strana

↔	MM	DIST21 - LIN46 TO LIN44 (XAXIS)		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		16.000	16.041	0.041
↔	MM	DIST22 - LIN45 TO LIN43 (YAXIS)		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		16.000	16.041	0.041
—	MM	STRA41 - LIN43		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.003	0.003
—	MM	STRA42 - LIN44		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.003	0.003
—	MM	STRA43 - LIN45		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.005	0.005
—	MM	STRA44 - LIN46		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.003	0.003

Слика 4.36 – Мерење призматичног дела 5 супротносмерним глодањем, Ø6VHM

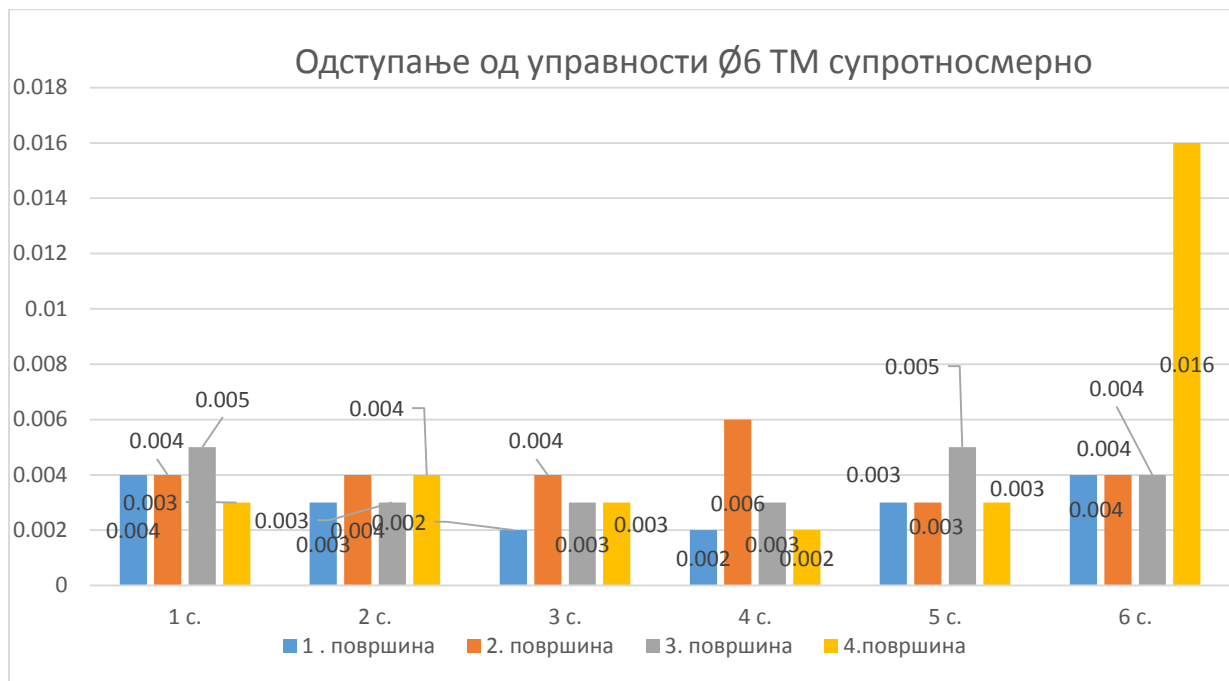
pcodmis	PART NAME : Oцена rezima obrade		October 09, 2015	12:10
	REV NUMBER :	SER NUMBER :	STATS COUNT : 2	



merenje kocka 6 druga strana

↔	MM	DIST23 - LIN50 TO LIN48 (XAXIS)		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		16.000	16.050	0.050
↔	MM	DIST24 - LIN49 TO LIN47 (YAXIS)		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		16.000	16.048	0.048
—	MM	STRA45 - LIN47		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.004	0.004
—	MM	STRA46 - LIN48		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.004	0.004
—	MM	STRA47 - LIN49		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.004	0.004
—	MM	STRA48 - LIN50		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.016	0.016

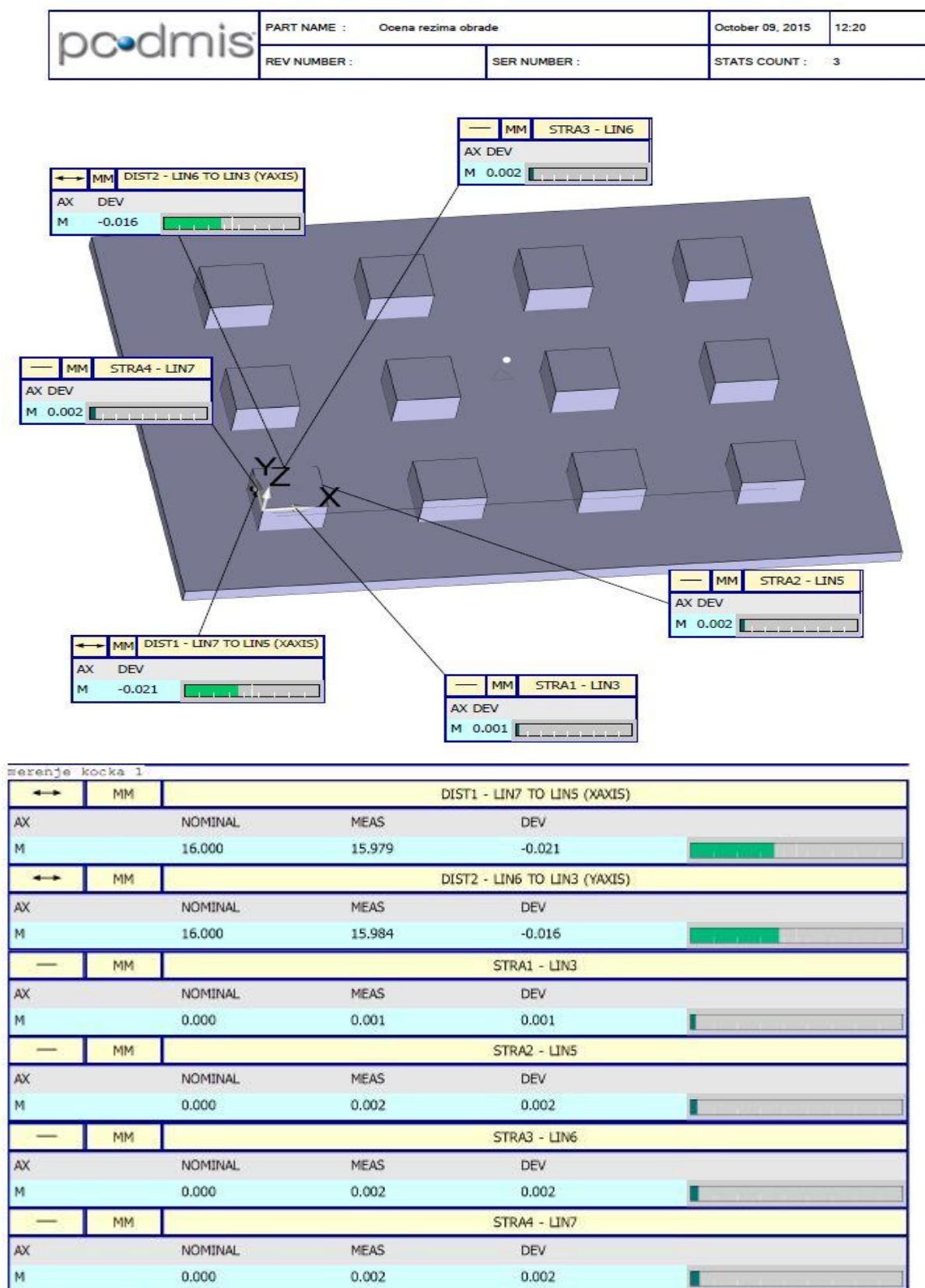
Слика 4.37 – Мерење призматичног дела 6 супротносмерним глодањем, Ø6VHM



Слика 4.38 – Дијаграмски приказ добијених резултата одступања од управности површине праћено променом посмака Ø6 VHM

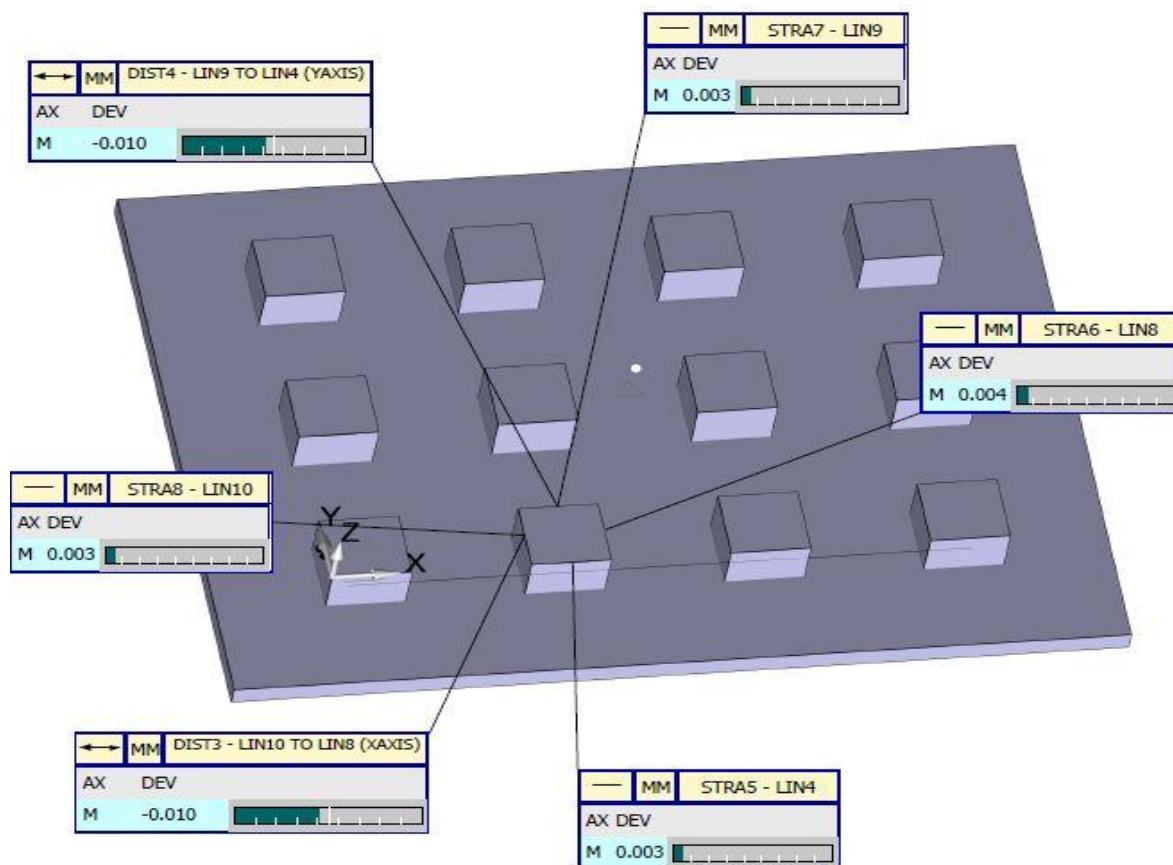
У овом случају резултати су доста бољи у односу на претходна три случаја, добијени резултати су константни, димензије одступања су мање и идентичније.

4.10.5 Призматичан део глодало Ø10 VHM (истосмерно глодање)



Слика 4.39 – Мерење призматичног дела 1 истосмерним глодањем, Ø10 VHM

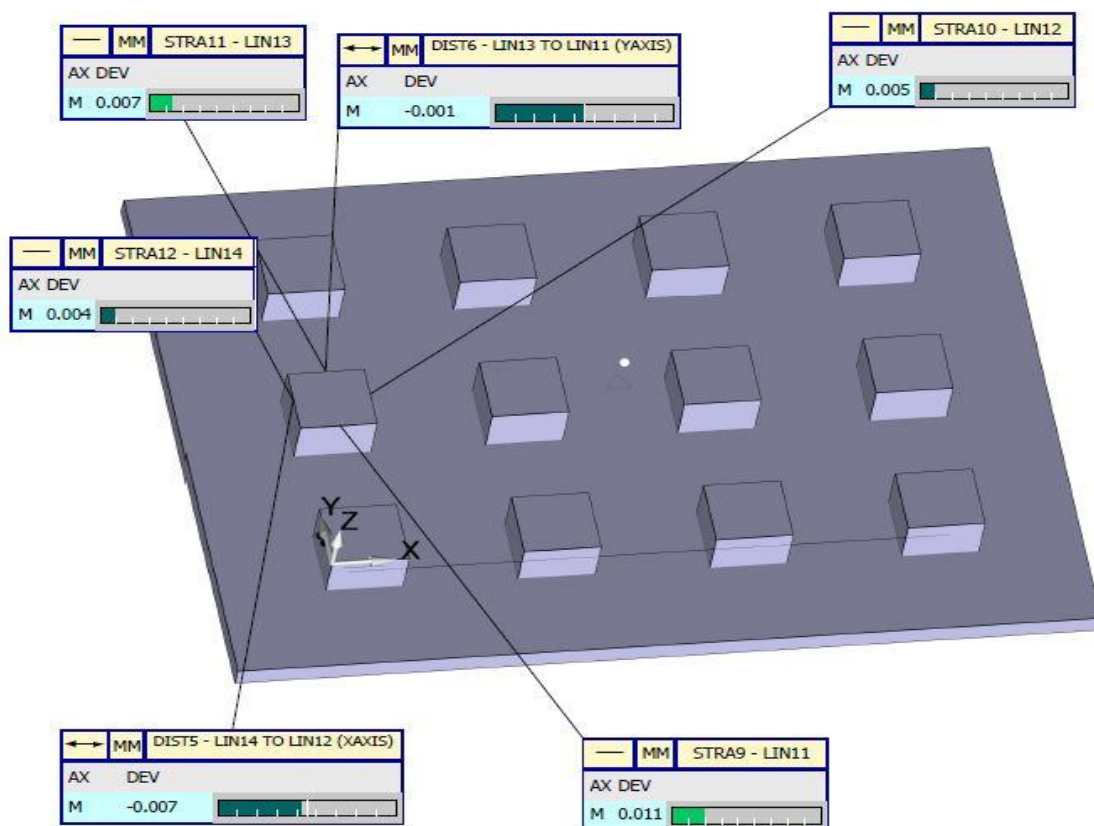
	PART NAME : Ocena rezima obrade		October 09, 2015	12:20
	REV NUMBER :	SER NUMBER :	STATS COUNT : 3	



Merenje kocka 2				
↔	MM	DIST3 - LIN10 TO LIN8 (XAXIS)		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		16.000	15.990	-0.010
↔	MM	DIST4 - LIN9 TO LIN4 (YAXIS)		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		16.000	15.990	-0.010
—	MM	STRA5 - LIN4		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.003	0.003
—	MM	STRA6 - LIN8		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.004	0.004
—	MM	STRA7 - LIN9		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.003	0.003
—	MM	STRA8 - LIN10		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.003	0.003

Слика 4.40 – Мерење призматичног дела 2 истосмерним глодањем, $\varnothing 10$ VHM

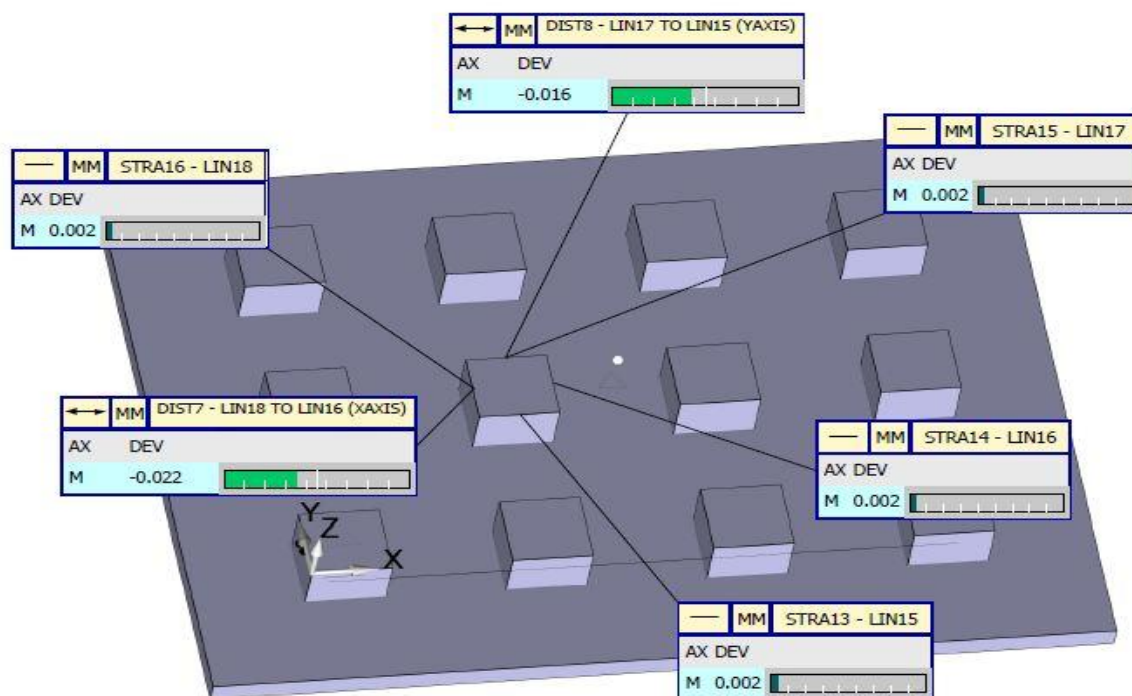
	PART NAME : Ocena rezima obrade		October 09, 2015	12:20
	REV NUMBER :	SER NUMBER :	STATS COUNT : 3	



MM	DIST5 - LIN14 TO LIN12 (XAXIS)		
AX	NOMINAL	MEAS	DEV
M	16.000	15.993	-0.007
MM	DIST6 - LIN13 TO LIN11 (YAXIS)		
AX	NOMINAL	MEAS	DEV
M	16.000	15.999	-0.001
MM	STRA9 - LIN11		
AX	NOMINAL	MEAS	DEV
M	0.000	0.011	0.011
MM	STRA10 - LIN12		
AX	NOMINAL	MEAS	DEV
M	0.000	0.005	0.005
MM	STRA11 - LIN13		
AX	NOMINAL	MEAS	DEV
M	0.000	0.007	0.007
MM	STRA12 - LIN14		
AX	NOMINAL	MEAS	DEV
M	0.000	0.004	0.004

Слика 4.41 – Мерење призматичног дела 2 истосмерним глодањем, $\varnothing 10$ VHM

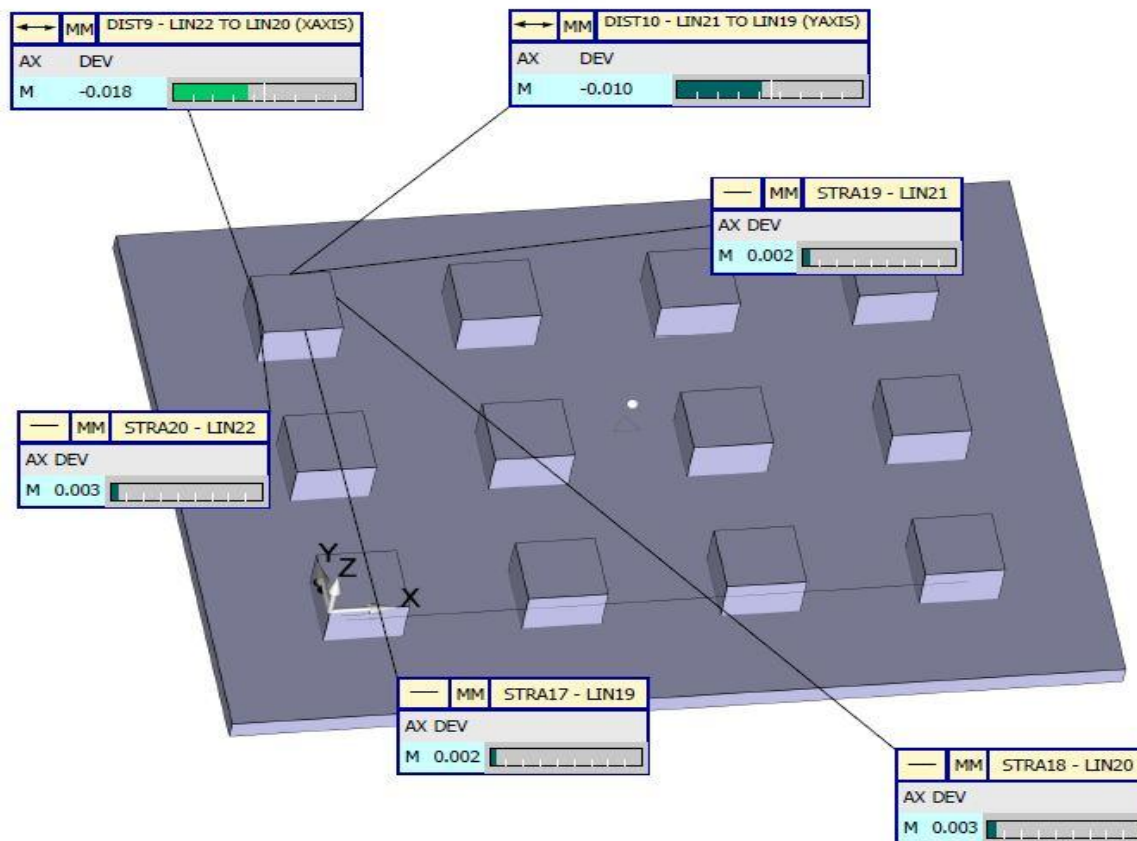
	PART NAME : Ocena rezima obrade		October 09, 2015	12:20
	REV NUMBER :	SER NUMBER :	STATS COUNT : 3	



merenje kocka 4				
↔	MM	DIST7 - LIN18 TO LIN16 (XAXIS)		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		16.000	15.978	-0.022
↔	MM	DIST8 - LIN17 TO LIN15 (YAXIS)		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		16.000	15.984	-0.016
—	MM	STRA13 - LIN15		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.002	0.002
—	MM	STRA14 - LIN16		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.002	0.002
—	MM	STRA15 - LIN17		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.002	0.002
—	MM	STRA16 - LIN18		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.002	0.002

Слика 4.42 – Мерење призматичног дела 3 истосмерним глодањем, $\varnothing 10$ VHM

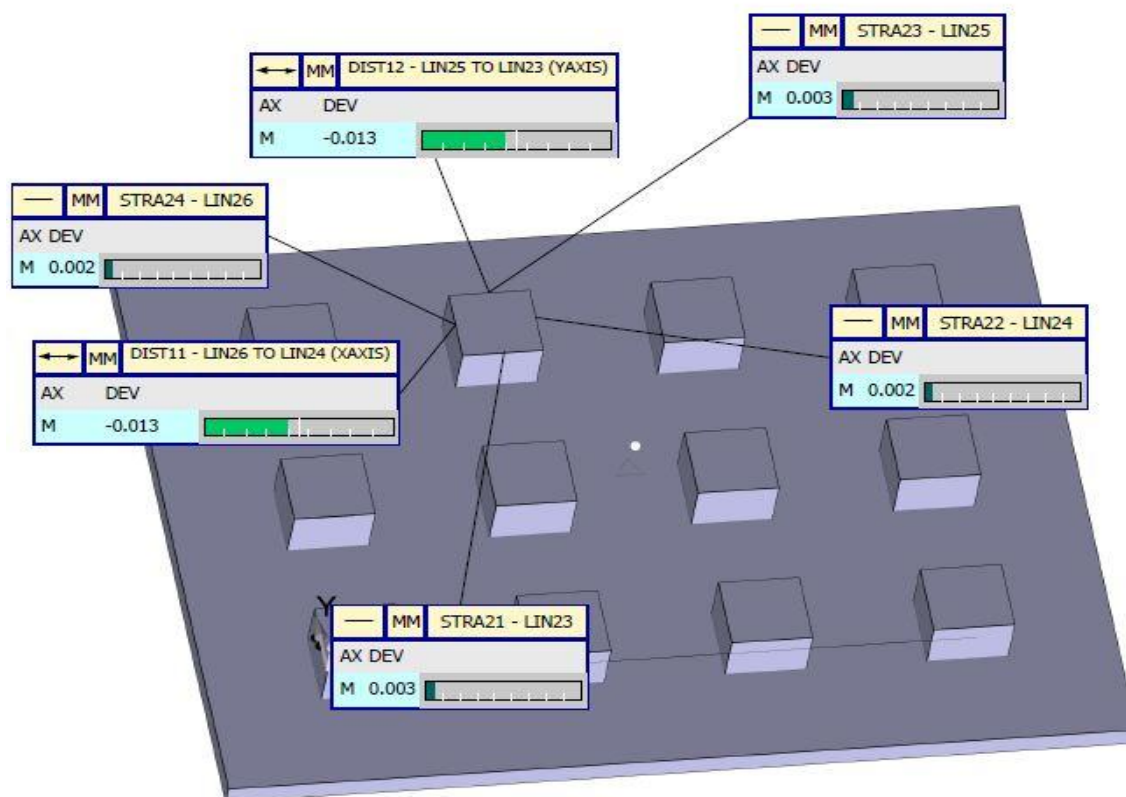
	PART NAME : Ooena rezima obrade		October 09, 2015	12:20
	REV NUMBER :	SER NUMBER :	STATS COUNT : 3	



merenje kocka 5				
↔	MM	DIST9 - LIN22 TO LIN20 (XAXIS)		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		16.000	15.982	-0.018
—	MM	DIST10 - LIN21 TO LIN19 (YAXIS)		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		16.000	15.990	-0.010
—	MM	STRA17 - LIN19		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.002	0.002
—	MM	STRA18 - LIN20		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.003	0.003
—	MM	STRA19 - LIN21		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.002	0.002
—	MM	STRA20 - LIN22		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.003	0.003

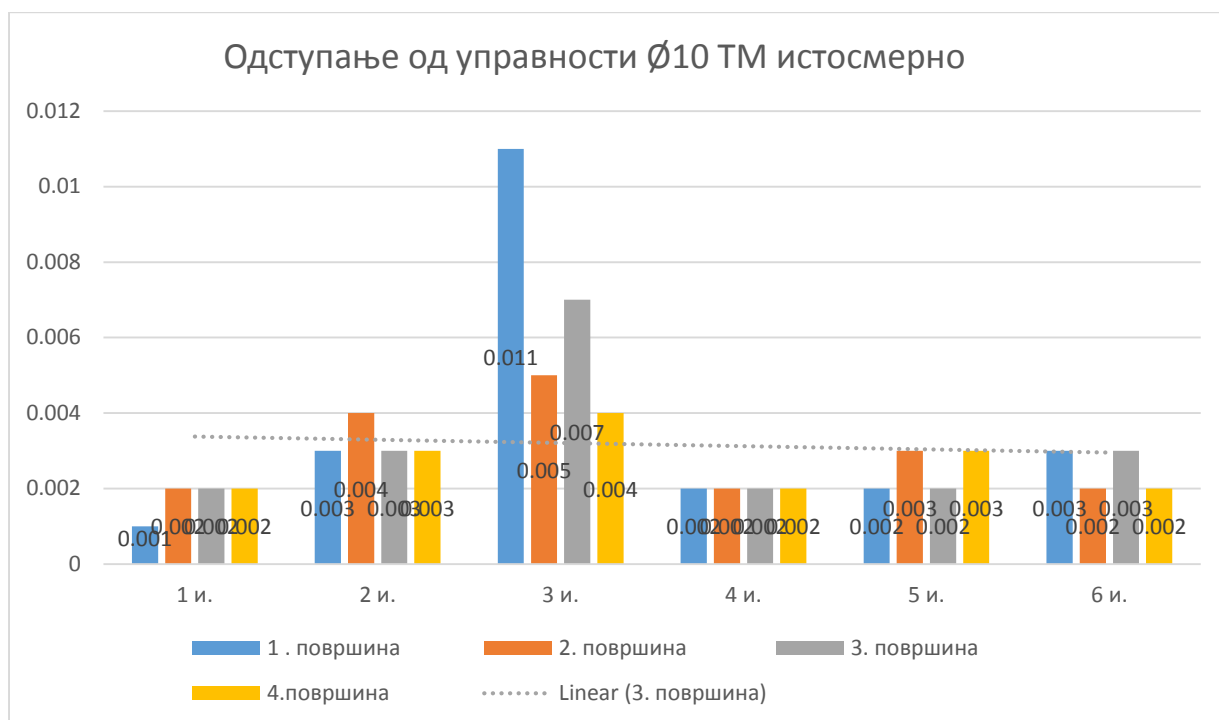
Слика 4.43 – Мерење призматичног дела 5 истосмерним глодањем, $\varnothing 10$ VHM

poodmis	PART NAME : Ocena rezima obrade		October 09, 2015	12:20
	REV NUMBER :	SER NUMBER :	STATS COUNT : 3	



merenje kocka 6				
↔	MM	DIST11 - LIN26 TO LIN24 (XAXIS)		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		16.000	15.987	-0.013
↔	MM	DIST12 - LIN25 TO LIN23 (YAXIS)		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		16.000	15.987	-0.013
—	MM	STRA21 - LIN23		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.003	0.003
—	MM	STRA22 - LIN24		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.002	0.002
—	MM	STRA23 - LIN25		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.003	0.003
—	MM	STRA24 - LIN26		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.002	0.002

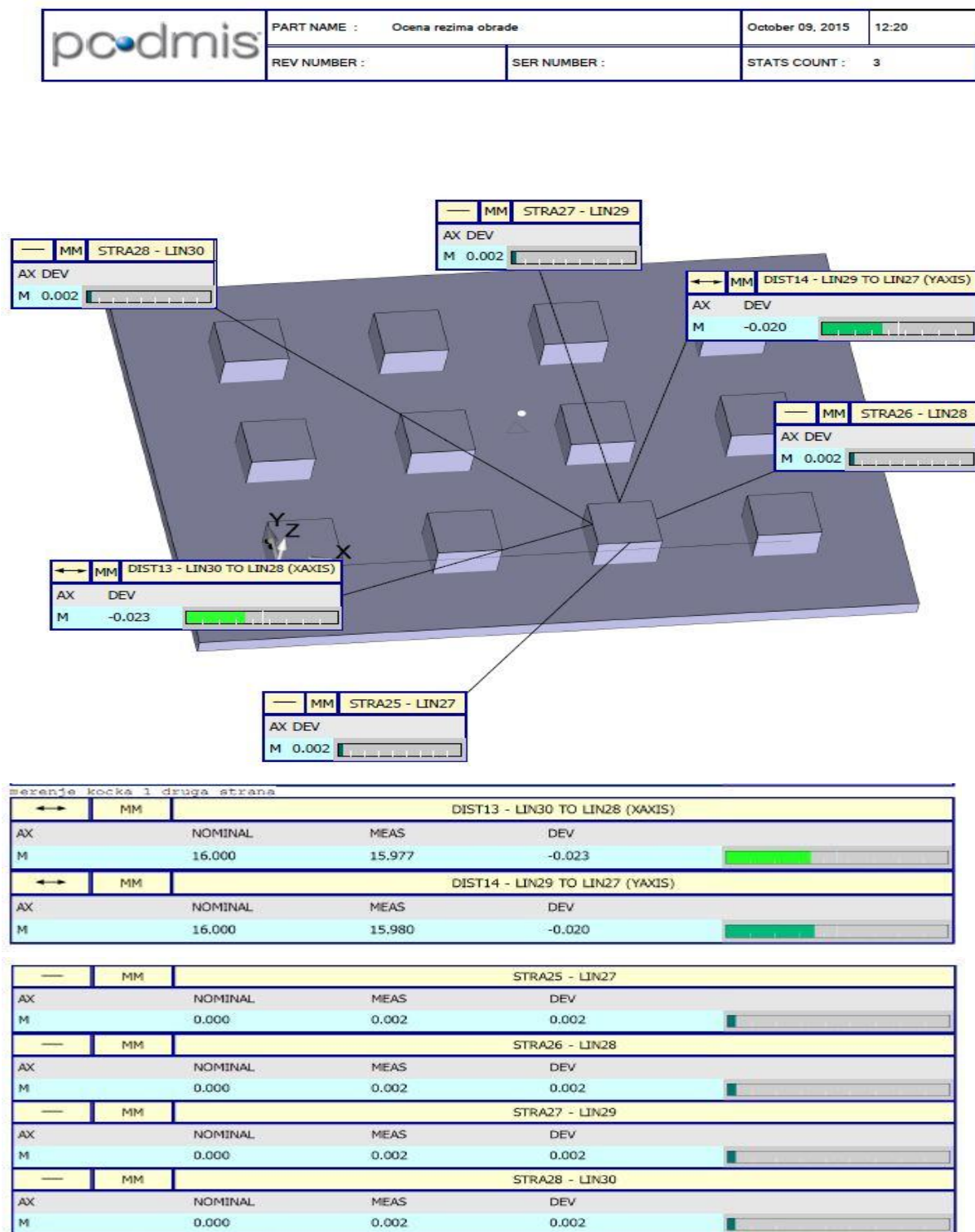
Слика 4.44 – Мерење призматичног дела 6 истосмерним глодањем, $\varnothing 10$ VHM



Слика 4.45 – Дијаграмски приказ добијених резултата истосмерним глодањем и одступања од управности површина $\varnothing 10$ VHM

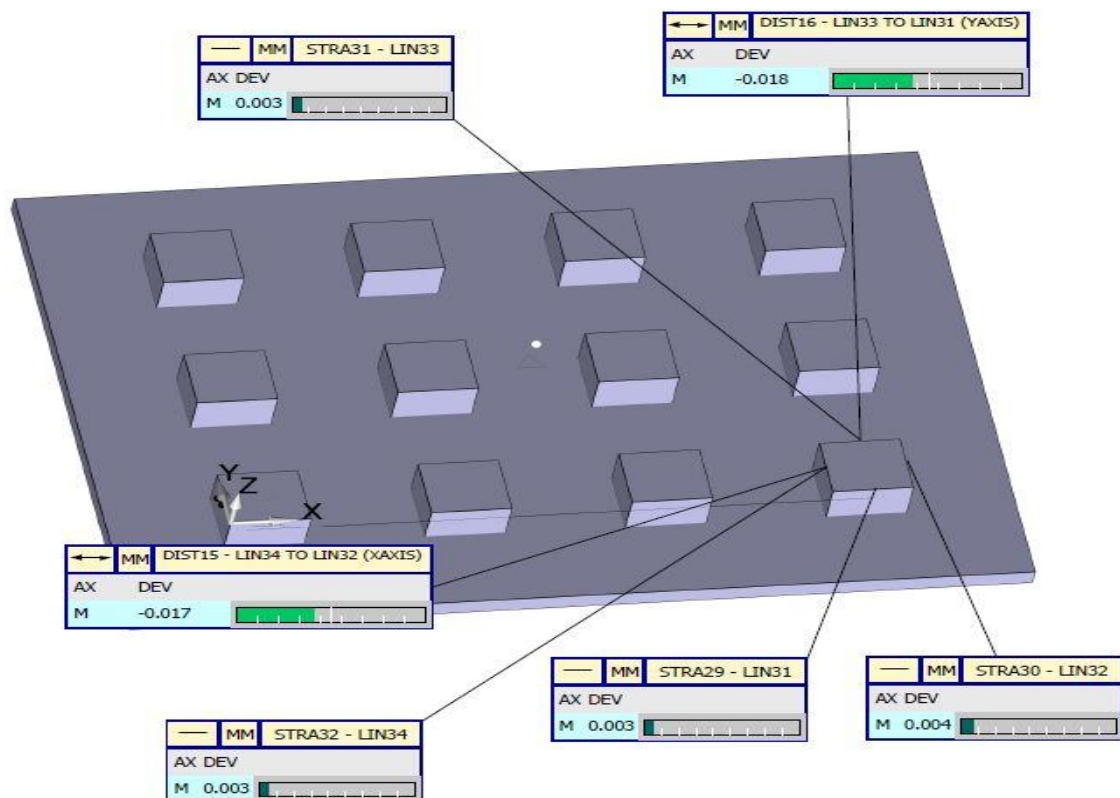
Одступање је самњено због повећања крутости алата али се примећује кратко оступање као и у предходним случајевима.

4.10.6 Призматичан део глодало $\varnothing 10$ VHM (супротносмерно глодање)



Слика 4.46 – Мерење призматичног дела 1 супротносмерним глодањем, $\varnothing 10$ VHM

pcodmis	PART NAME : Ocena rezima obrade		October 09, 2015	12:20
	REV NUMBER :	SER NUMBER :	STATS COUNT : 3	

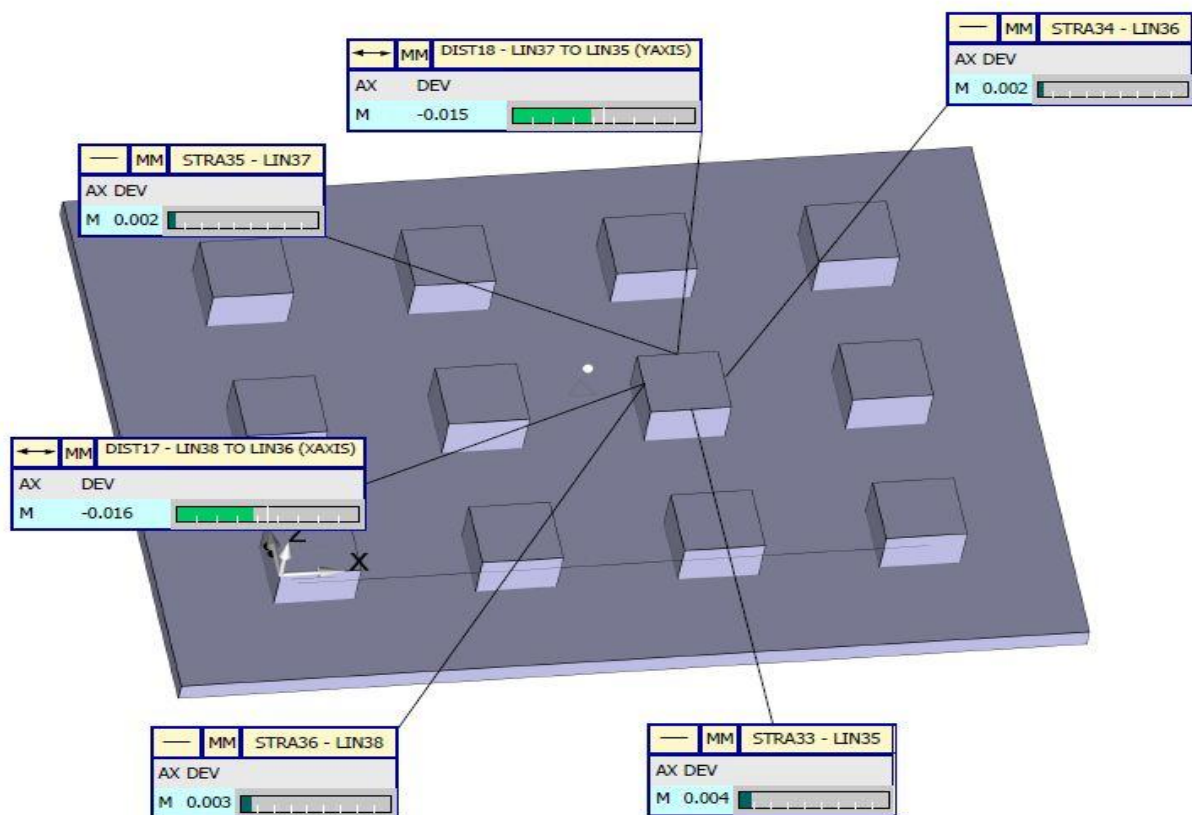


merenje kocka 2 druga strana

↔	MM	DIST15 - LIN34 TO LIN32 (XAXIS)		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		16.000	15.983	-0.017
↔	MM	DIST16 - LIN33 TO LIN31 (YAXIS)		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		16.000	15.982	-0.018
—	MM	STRA29 - LIN31		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.003	0.003
—	MM	STRA30 - LIN32		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.004	0.004
—	MM	STRA31 - LIN33		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.003	0.003
—	MM	STRA32 - LIN34		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.003	0.003

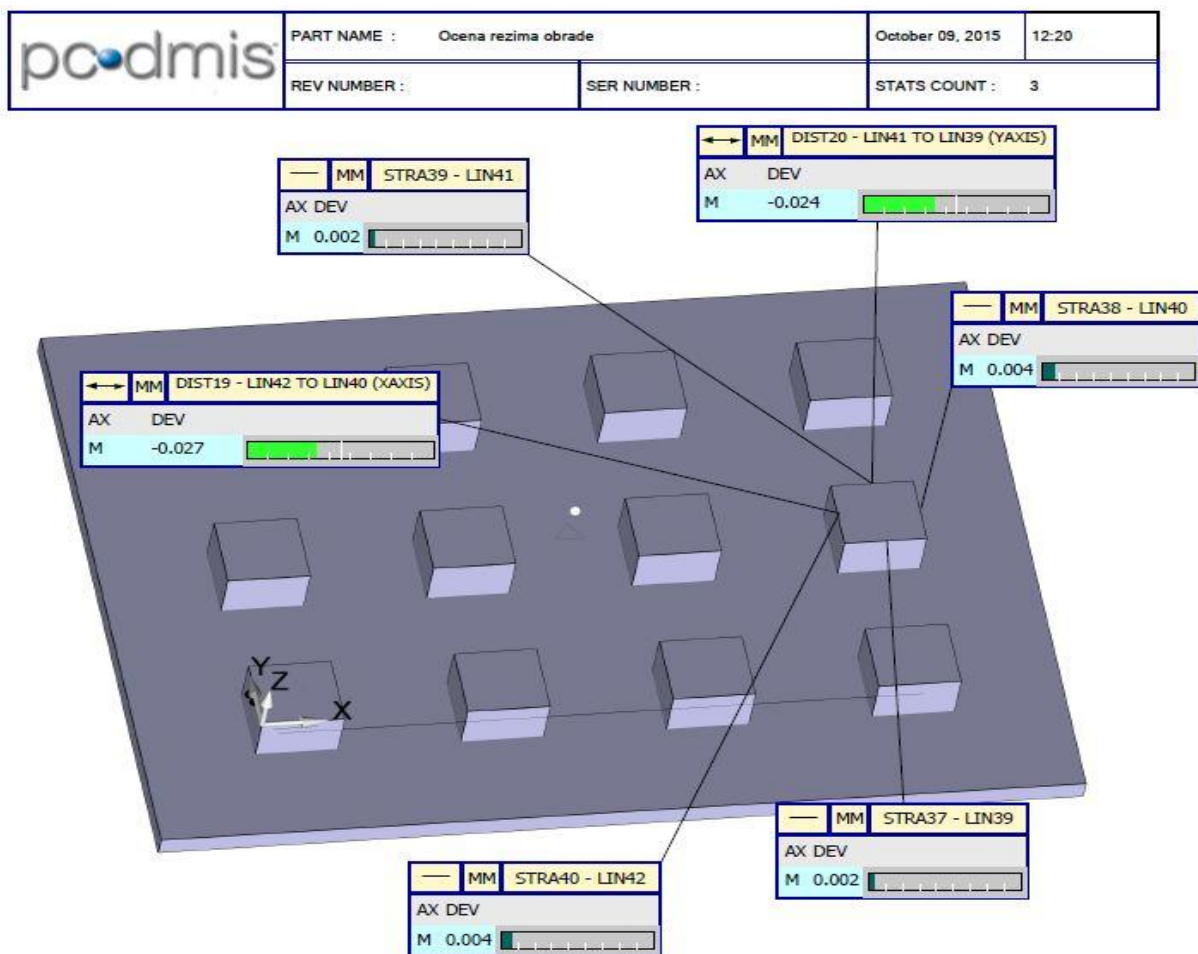
Слика 4.47 – Мерење призматичног дела 2 супротносмерним глодањем, $\varnothing 10$ VHM

pcodmis	PART NAME : Ocena rezima obrade		October 09, 2015	12:20
	REV NUMBER :	SER NUMBER :	STATS COUNT : 3	



merenje kocka 3 druga strana				
↔	MM	DIST17 - LIN38 TO LIN36 (XAXIS)		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		16.000	15.984	-0.016
↔	MM	DIST18 - LIN37 TO LIN35 (YAXIS)		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		16.000	15.985	-0.015
—	MM	STRA33 - LIN35		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.004	0.004
—	MM	STRA34 - LIN36		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.002	0.002
—	MM	STRA35 - LIN37		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.002	0.002
—	MM	STRA36 - LIN38		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.003	0.003

Слика 4.48 – Мерење призматичног дела 3 супротносмерним глодањем, Ø10 VHM

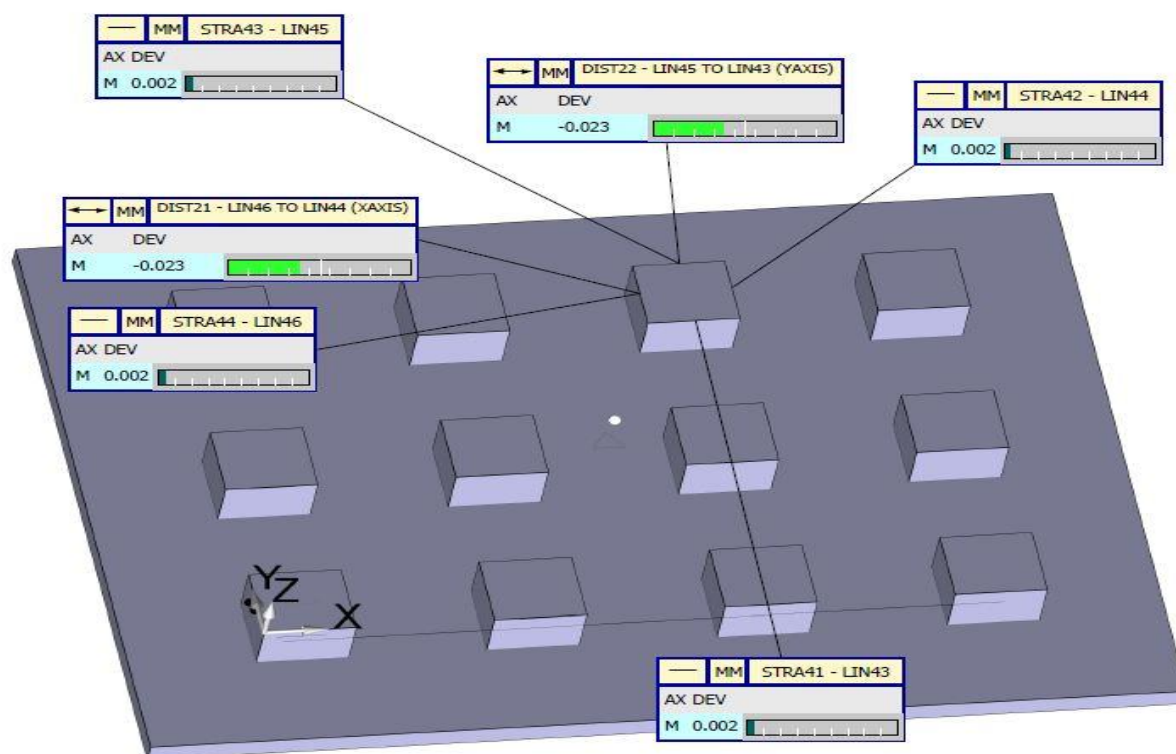


merenje kocka 4 druga strana

↔	MM	DIST19 - LIN42 TO LIN40 (XAXIS)		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		16.000	15.973	-0.027
↔	MM	DIST20 - LIN41 TO LIN39 (YAXIS)		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		16.000	15.976	-0.024
—	MM	STRA37 - LIN39		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.002	0.002
—	MM	STRA38 - LIN40		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.004	0.004
—	MM	STRA39 - LIN41		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.002	0.002
—	MM	STRA40 - LIN42		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.004	0.004

Слика 4.49 – Мерење призматичног дела 4 супротносмерним глодањем, $\varnothing 10$ VHM

	PART NAME : Ocena rezima obrade		October 09, 2015	12:20
	REV NUMBER :	SER NUMBER :	STATS COUNT : 3	

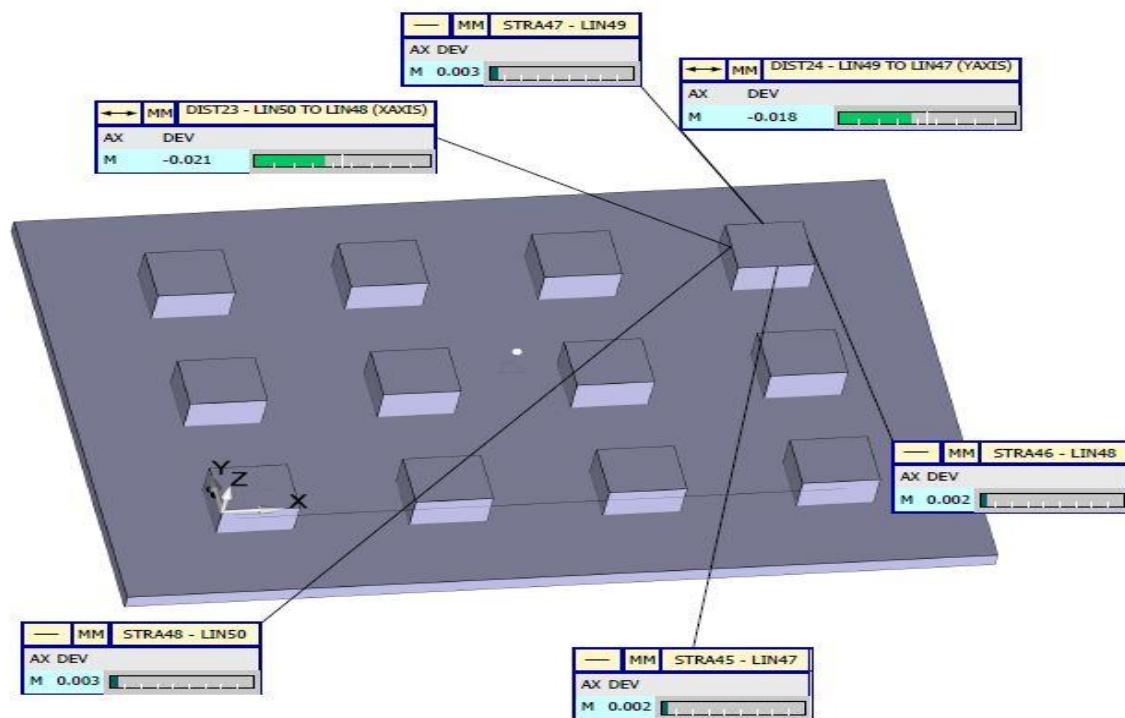


merenje kocka 5 druga strana

↔	MM	DIST21 - LIN46 TO LIN44 (XAXIS)		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		16.000	15.977	-0.023
↔	MM	DIST22 - LIN45 TO LIN43 (YAXIS)		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		16.000	15.977	-0.023
—	MM	STRA41 - LIN43		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.002	0.002
—	MM	STRA42 - LIN44		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.002	0.002
—	MM	STRA43 - LIN45		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.002	0.002
—	MM	STRA44 - LIN46		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.002	0.002

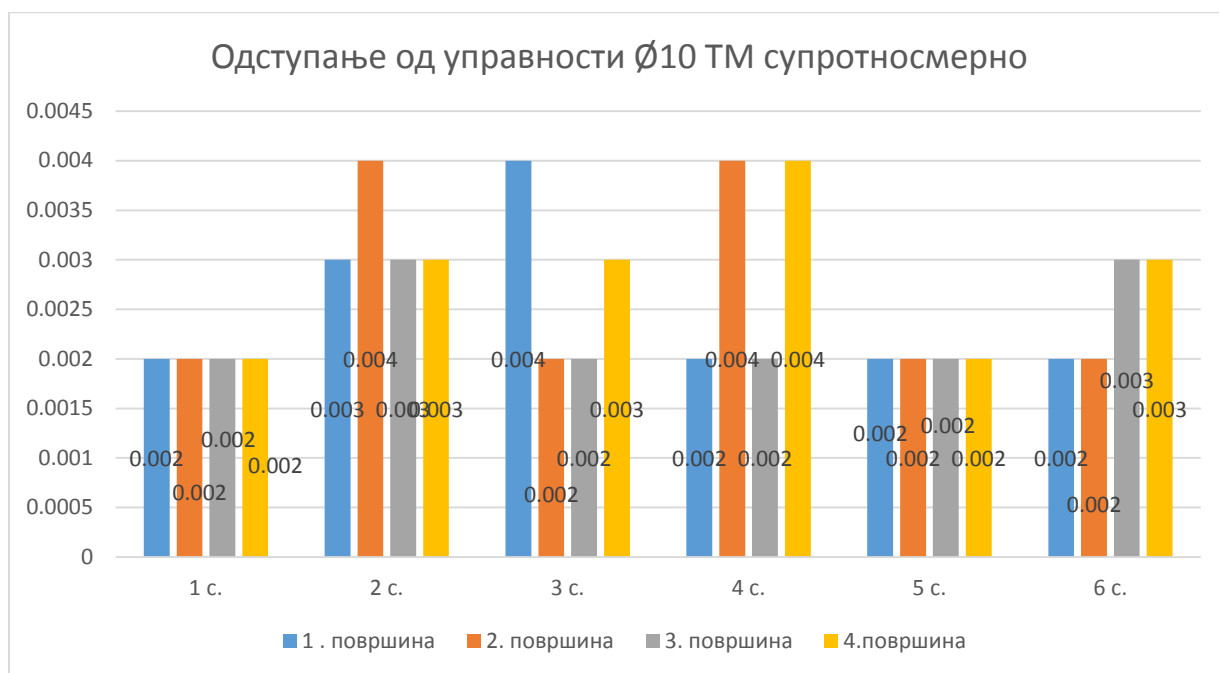
Слика 4.50 – Мерење призматичног дела 5 супротносмерним глодањем, Ø10 VHM

pcdmis	PART NAME : Ocena rezima obrade		October 09, 2015	12:20
	REV NUMBER :	SER NUMBER :	STATS COUNT : 3	



Merenje kocka 6 druga strana				
↔	MM	DIST23 - LIN50 TO LIN48 (XAXIS)		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		16.000	15.979	-0.021
↔	MM	DIST24 - LIN49 TO LIN47 (YAXIS)		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		16.000	15.982	-0.018
—	MM	STRA45 - LIN47		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.002	0.002
—	MM	STRA46 - LIN48		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.002	0.002
—	MM	STRA47 - LIN49		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.003	0.003
—	MM	STRA48 - LIN50		
AX		NOMINAL	MEAS	DEV
M		0.000	0.003	0.003

Слика 4.51 – Мерење призматичног дела 6 супротносмерним глодањем, $\varnothing 10$ VHM



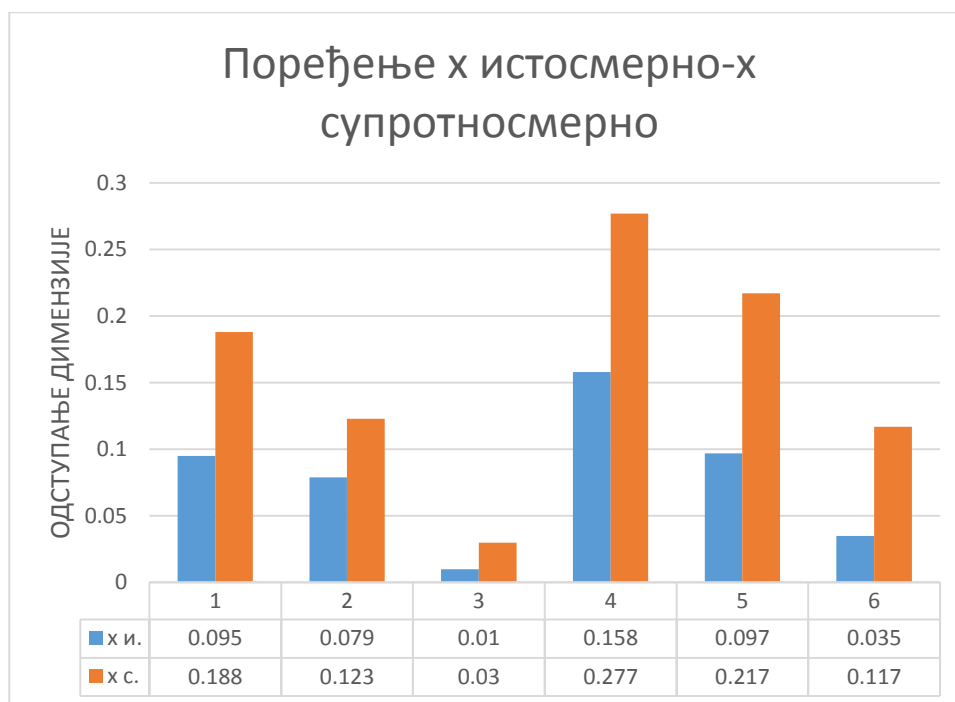
Слика 4.52 – Дијаграмски приказ добијених резултата одступања од управности површина Ø10 VHM

Одступања су најмања у односу на претходне случајева, може се закључити да с повећањем крутости алата долази до повећања прецизности и тачности.

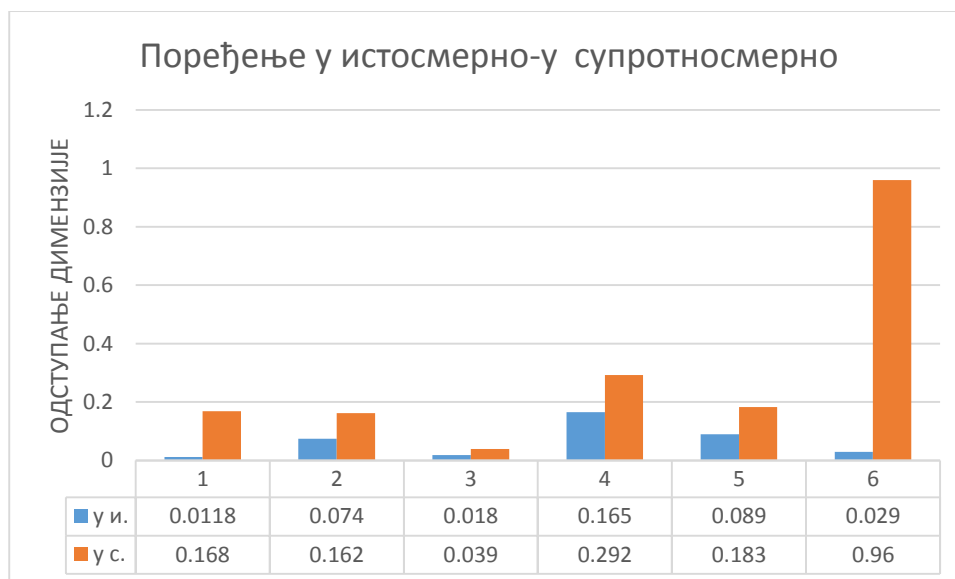
4.11 Дијаграмски приказ добијених резултата

Табела 7. – одступање од номиналне мере

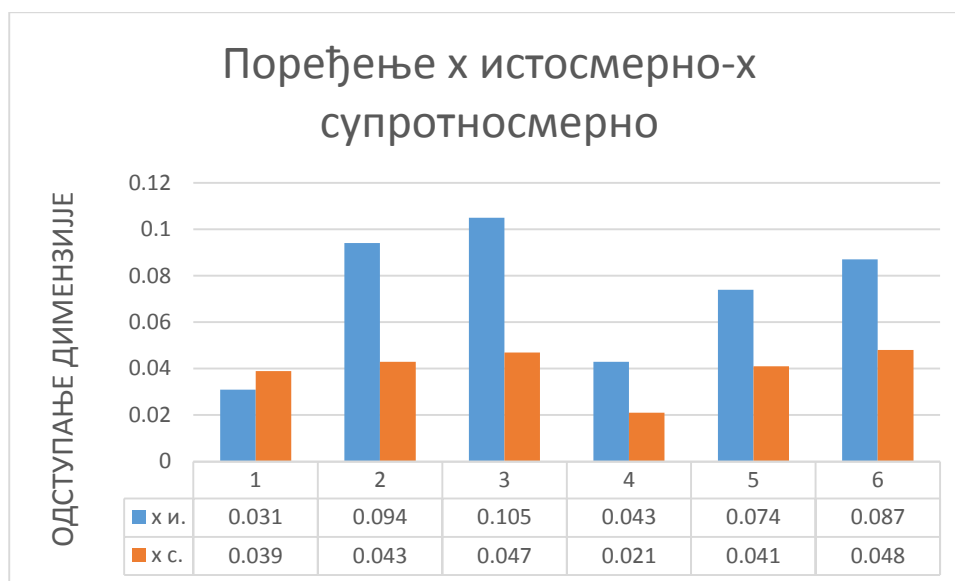
Одступање од номиналне мере 16 по х и по у								
6 HSS истосмерно			6 ТМ истосмерно			10 ТМ истосмерно		
	х	у		х	у		х	у
1	0.095	0.0118	1	0.031	0.035	1	-0.021	-0.016
2	0.079	0.074	2	0.094	0.086	2	-0.01	-0.01
3	0.01	0.018	3	0.105	0.11	3	-0.007	-0.001
4	0.158	0.165	4	0.043	0.063	4	-0.022	-0.016
5	0.097	0.089	5	0.074	0.082	5	-0.018	-0.01
6	0.035	0.029	6	0.087	0.087	6	-0.013	-0.013
6 hss супротносмерно			6 ТМ супротносмерно			10 ТМ супротносмерно		
	х	у		х	у		х	у
1	0.188	0.168	1	0.039	0.041	1	-0.023	-0.02
2	0.123	0.162	2	0.043	0.044	2	-0.017	-0.18
3	0.03	0.039	3	0.047	0.047	3	-0.016	-0.015
4	0.277	0.292	4	0.021	0.021	4	-0.027	-0.024
5	0.217	0.183	5	0.041	0.041	5	-0.023	-0.023
6	0.117	0.96	6	0.048	0.048	6	-0.021	-0.018



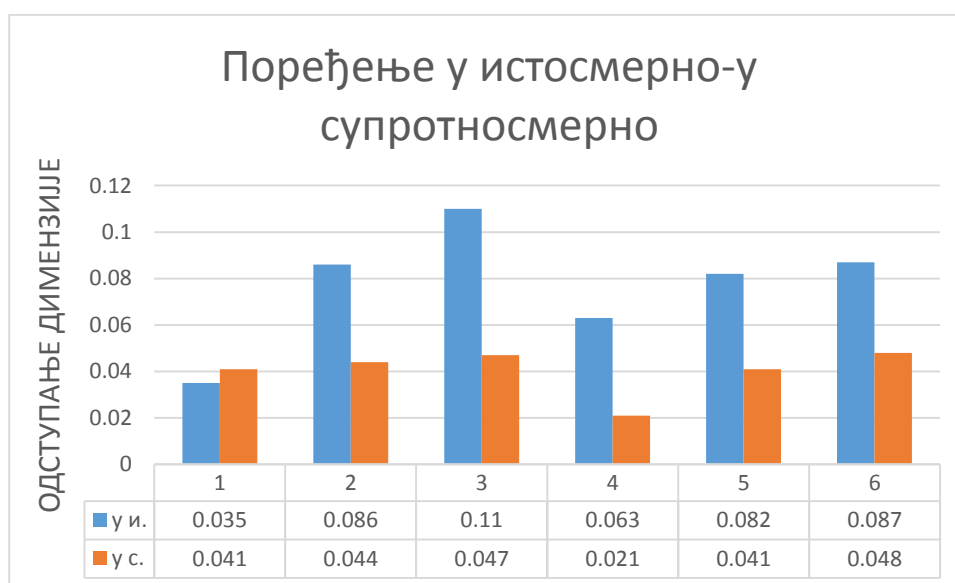
Слика 4.53 – Одступање од димензије истосмерним глодањем по х односно супротносмерним по х оси , Ø6 HSS



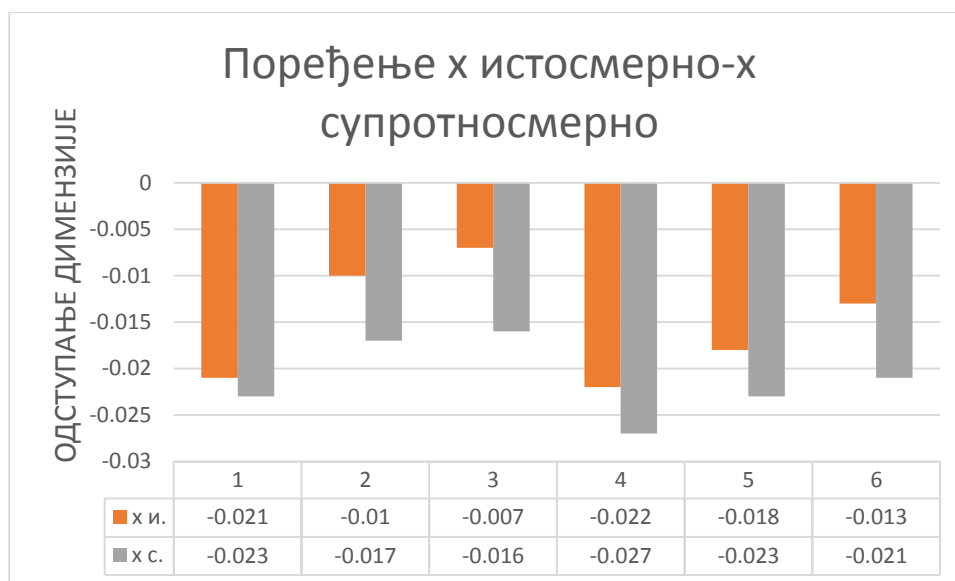
Слика 4.54 – Одступање од димензије супротносмерним глодањем по у односно супротносмерним по у оси , Ø6 HSS



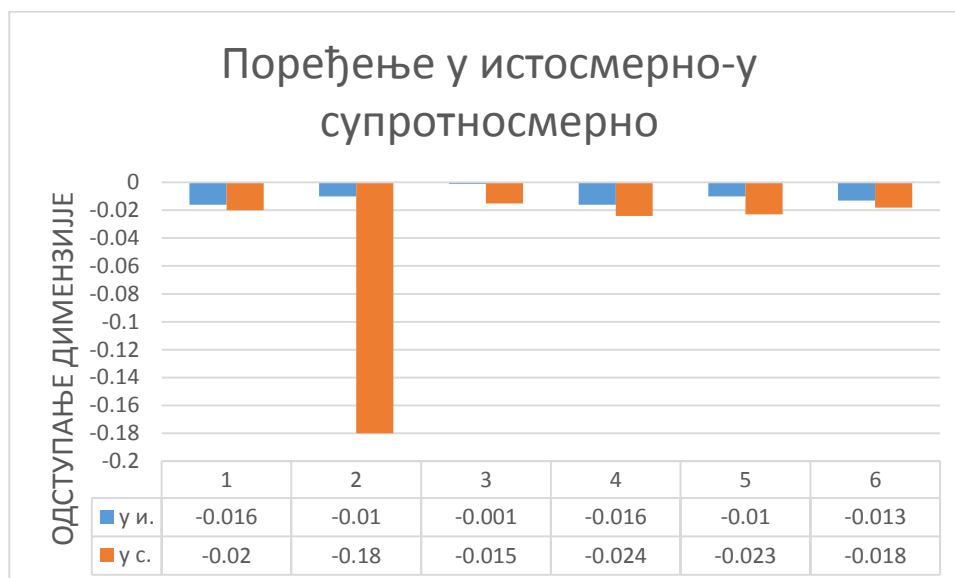
Слика 4.55 – Одступање од димензије истосмерним глодањем по х односно супротносмерним, Ø6 VHM



Слика 4.56 – Одступање од димензије истосмерним глодањем по у односно супротносмерним по у оси, Ø6 VHM



Слика 4.57 – Одступање од димензије истосмерним глодањем по х односно супротносмерним х оси, Ø10 VHM



Слика 4.58 – Одступање димензије истосмерним глодањем по у односно супротносмерним по у оси, Ø10 VHM



Слика 4.59 Одступање од димензије по х оси

Може се видети одступање од димензије 16 променом режимима обраде (слика 4.59). Највеће одступање од димензиске тачности током обраде експерименталног дела овог рада је упркос замени и стављању нових глодала јављало се код супротносмерног глодања глодалом Ø6 HSS. Најмања одступања се примећују код глодала Ø10 VHM, овим можемо закључити да са повећањем крутости алата долази и до повећања прецизности и добијања веће димензијске тачности. При повећаним режима обраде и задовољавајућом крутошћу алата, глодало Ø6 VHM је показало боље резултате супротносмерним глодањем у односу на истосмерно.



Слика 4.60 Одступање од димензије по у оси

На слици 4.60 исто важи као и за претходни случај. Такође се може закључити да путања (криволинијска или праволинијска) нема толики утицај на тачност, већ највише имају крутост алата, смер глодања, дубина (аксијална) и ширина (радијална дубина) резања. Управо из разлога што код истосмерно глодања алат увек одбија од контуре, оно се данас више примењује него супротносмерно, јер оператер/програмер увек има сигурност да алат неће повредити жељену меру и да увек може компензовати грешке настале у процесу глодања.

5. ЗАКЉУЧАК

Развојем материјала резних алата и превлака, утврђено је да се могу добијати квалитетније површине обраде, димензиске тачности и поред варијације режима обраде. Иако су резултати добивени истраживањем били задовољавајући, глодање је процес који омогућава и захтева детаљна истраживања како би се побољшали услови и резултати обраде тј. осигурала стабилност процеса, а тиме и процес уврстио у конвенционалне обраде метала.

Такође се може закључити да путања (криволинијска или праволинијска) нема толики утицај на тачност, већ највише имају крутост алата, смер глодања, дубина (аксијална) и ширина (радијална) резања. Добијени резултати су показали да под одрђеним условима (режими обраде, врсте алатног материјала) могу се добити веома повољни резултати али управо из разлога што се код истосмерно глодања алат увек одбија од контуре, оно се данас више примењује него супротносмерно, јер оператер / програмер увек има сигурност да алат неће повредити жељену меру и да увек може компензовати грешке настале у процесу глодања.

Овим истраживањем пориказано је да са повећањем крутости алата може се добити знатно скраћење времена производње, квалитетнија обрада припремка, добијање жељених димензија. Са напретком развоја CNC глодалица режими обраде су доведени до веома високих вредности, на основу оваквих истраживања може се утврди квалитет алата и олакшати производни процес.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/pdf/Metalworking_Products_061/tech_d_1.pdf , 20.09.2015.
- [2] Проф. др Бранко Ивковић, Обрада метала резањем, Југословенско друштво за трибологију, Машински факултет у Крагујевцу, 1994
- [3] [http://orbit.dtu.dk/en/publications/accuracy-of-depth-of-cut-in-micro-millinghttp://orbit.dtu.dk/en/publications/accuracy-of-depth-of-cut-in-micro-milling-operations\(0db0d874-809e-4dea-99a0-c19ec8ed6a40\).htmloperations\(0db0d874-809e-4dea-99a0-c19ec8ed6a40\).html](http://orbit.dtu.dk/en/publications/accuracy-of-depth-of-cut-in-micro-millinghttp://orbit.dtu.dk/en/publications/accuracy-of-depth-of-cut-in-micro-milling-operations(0db0d874-809e-4dea-99a0-c19ec8ed6a40).htmloperations(0db0d874-809e-4dea-99a0-c19ec8ed6a40).html) , 23.09.2015.
- [4] <http://www.cnccookbook.com/CCNCNCMillFeedsSpeedsDeflect.htm> , 24.09.2015. [5] https://www.fsb.unizg.hr/kas/ODIOO/Trosenje_ooc.pdf , 24.09.2015.
- [6] Проф. др Слободан Митровић, Основи трибологије, Презентација: Хабање - теорија хабања и механизми, Факултет инжењерских наука у Крагујевцу, 2012
- [7] http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-73862002000100002 , 02.09.2015.
- [8] <http://www.solfins.com/download/glodalica.pdf> , 02.10.2015.
- [9] <ftp://ftp.nist.gov/pub/mel/michalos/Publications/2014/JournalPaper/bib/70331295.pdf> , 03.10.2015.
- [10] <http://www.turmoilcoolers.com/TurmoilCatalog.pdf> , 04.10.2015.
- [11] <http://www.mmsonline.com/articles/where-dry-milling-makes-sense> , 08.10.2015
- [12] <http://www.ariana-industrie.de/en/products/accessories/cold-air-nozzle.html> 11.10.2015.
- [13] http://www.quakerchem.com/wphttp://www.quakerchem.com/wp-content/uploads/pdf/skill_builders/no12_feeds_speeds_depth_cut.pdfcontent/uploads/pdf/skill_builders/no12_feeds_speeds_depth_cut.pdf , 12.06.2015.
- [14] <http://www.cnccookbook.com/CCNCNCMillFeedsSpeedsClimbConventional.htm> , 15.06.2015.
- [15] http://me.emu.edu.tr/me364/ME364_machining_milling.pdf , 15.08.2015.
- [16] Проф. др Богдан Недић, проф. др Миодраг Лазић, Производне технологије, Обрада метала резањем (скрипта), Машински факултет у Крагујевцу, 2007.
- [17] http://www.vizijadanas.com/obrada_metala_glodanjem.html , 15.08.2015.
- [18] <http://www.endmill.com/pages/training/design.html> , 18.06.2015.
- [19] http://doras.dcu.ie/18300/1/Mohammed_Alauddin_20130306170124.pdf , 18.06.2015.
- [20] <https://www.fdtool.com/speedsfeeds.html> , 18.06.2015.
- [21] <http://www.industrijska-merenja.rs/Meraci/refraktometri/refraktometri.htm> 18,10 20.10.2015
- [22] https://www.haascnc.com/mt_spec1.asp?id=VF 20.10.2015