



УНИВЕРЗИТЕТ „КИРИЛ И МЕТОДИЈ“ ВО СКОПЈЕ
ФАКУЛТЕТ ЗА ДИЗАЈН И ТЕХНОЛОГИИ НА
МЕБЕЛ И ЕНТЕРИЕР



М-р Никола Миливој Михајловски

**ВЛИЈАНИЕ НА ГЕОМЕТРИСКИТЕ КАРАКТЕРИСТИКИ НА НЕКОИ
СОСТАВИ ДОБИЕНИ СО ОБРАБОТКА НА CNC МАШИНА ВРЗ ЈАКОСТИТЕ
КАЈ КОНСТРУКЦИЈЕТЕ НА СТОЛОВИ ОД ДРВО**

Докторски труд

Скопје, 2025

Докторанд:
НИКОЛА МИЛИВОЈ МИХАЈЛОВСКИ

Тема:
ВЛИЈАНИЕ НА ГЕОМЕТРИСКИТЕ КАРАКТЕРИСТИКИ НА НЕКОИ СОСТАВИ
ДОБИЕНИ СО ОБРАБОТКА НА CNC МАШИНА ВРЗ ЈАКОСТИТЕ КАЈ
КОНСТРУКЦИЈИТЕ НА СТОЛОВИ ОД ДРВО

Ментор:
Проф.д-р. Ѓорги Груевски,
Факултет за дизајн и технологии на мебел и ентериер - Скопје

Комисија за одбрана:
Проф.д-р ИМЕ И ПРЕЗИМЕ (претседател)
Установа од која доаѓа

Проф.д-р. Ѓорги Груевски,
Факултет за дизајн и технологии на мебел и ентериер - Скопје

Проф.д-р ИМЕ И ПРЕЗИМЕ,
Установа од која доаѓа

Проф.д-р ИМЕ И ПРЕЗИМЕ,
Установа од која доаѓа

Проф.д-р ИМЕ И ПРЕЗИМЕ,
Установа од која доаѓа

Научна област:
Дрвна индустрија

Датум на одбрана:

М-р. Никола Миливој Михајловски

**ВЛИЈАНИЕ НА ГЕОМЕТРИСКИТЕ КАРАКТЕРИСТИКИ НА НЕКОИ
СОСТАВИ ДОБИЕНИ СО ОБРАБОТКА НА CNC МАШИНА ВРЗ ЈАКОСТИТЕ
КАЈ КОНСТРУКЦИИТЕ НА СТОЛОВИ ОД ДРВО**

– А п с т р а к т –

Типот на налегнувањето и точноста на обработка на составите со чеп и отвор имаат влијание врз јакостите, а со тоа и врз издржливоста на дрвените столови. Во финалното производство за овој вид на состави се препорачува цврсто налегнување со преклоп од 0.1 до 0.2mm. Со развојот на CNC технологијата, денес во подем се машини таканаречени “CNC центри” со повеќе последователни операции за изработка на финални елементи од мебел. Точноста на мерењето е дел од производствената метрологија и е од пресудно значење за запазување на толеранциите и налегнувањата. Поради големата точност и брзина на мерење се почесто се користат координатни мерни системи каде најзастапени се координатните мерни машини (СММ). Во системот на стандарди GPS (Geometrical product specifications) пропишана е една матрица која ги опфаќа сите геометриски карактеристики на производот: димензии, облик, правец, положба, агли, како и квалитетот на површините.

Целта на ова истражување е да се добијат информации за влијанието на квалитетот на обработка, искажан преку геометриските карактеристики на составите од чеп и отвор добиени со обработка на CNC машина врз јакостите кај конструкциите на столови.

Експерименталното истражување беше изведено на три најчесто употребувани состави од чеп и отвор. Пробните парчиња беа изработени од буково дрво (*Fagus Sylvatica*). Еден дел од составите беа изработени со конвенционална технологија, а другиот дел со CNC технологија. Лепењето на составите беше извршено со поливинил ацетатно лепило (PVA) тип D2. Мерењето на геометриските карактеристики на пробните парчиња беше извршено на СММ - координатна мерна машина. Рапавоста на површините беше мерена со контактен метод и дефинирана со параметрите Ra, Rz и Rmax. Предмет на испитување од механичките својства на составите беа јакоста на свивање и јакоста на истегнување.

При изработка на состав од овален чеп и отвор изработен на CNC технологија, дебелината на чепот е во НТ 10, а на отворот НТ 40 класа на точност на обработка. Отстапувања од номиналната мера кај геометриските карактеристики на составот имаме во кружност, паралелност, правоаголност и симетричност со вредност од -0.026mm до 0.470mm. Добиена рапавост на површината при изработка на чепот е $Ra = 10.1\mu m$, $Rz = 75.3\mu m$ и $Rmax = 91.8\mu m$. Составите кај кои имаме налегнување со преклоп од -0.1 mm до -0.2 mm, јакоста на кршење при свивање е значајно поголема за 17.4% од силата на кршење на составите каде имаме неизвесно или лабаво налегнување. Составите кои имаат неизвесно или лабаво налегнување имаат еднаква сила на кршење при истегнување со составите кај кои налегнувањето е со преклоп.

Клучни зборови: геометриски карактеристики, состави од чеп и отвор, толеранции и налегнувања

MSc Nikola Milivoj Mihajlovski

**INFLUENCE OF THE GEOMETRIC CHARACTERISTICS OF SOME JOINTS
OBTAINED BY CNC MACHINE PROCESSING ON THE STRENGTHS OF
WOODEN CHAIR CONSTRUCTIONS**

– A b s t r a c t –

The type of fit and the accuracy of processing of the mortise and tenon joints have an impact on the strength, and therefore on the durability of the wooden chairs. In the final production for this type of joints, interference fit with an overlap of 0.1 to 0.2mm is recommended. With the development of CNC technology, machines called “CNC centers” with multiple consecutive operations for the production of final furniture elements are on the rise. The accuracy of measurement is part of production metrology and is of crucial importance for observing tolerances and fits. Due to the high accuracy and speed of measurement, coordinate measuring systems are increasingly used, where coordinate measuring machines (CMM) are the most common. The GPS (Geometrical product specifications) system of standards prescribes a matrix that covers all the geometric characteristics of the product: dimensions, form, orientation, location, angles, as well as the quality of the surfaces.

The aim of this research is to obtain information about the influence of machining quality, expressed through the geometric characteristics of the mortise and tenon joints obtained by CNC machining, on the strengths of chair structures.

The experimental research was carried out on three commonly used mortise and tenon joints. The test pieces were made of beech wood (*Fagus Sylvatica*). One part of the joints was made with conventional technology, and the other part with CNC technology. The gluing of the joints was performed with polyvinyl acetate adhesive (PVA) type D2. The measurement of the geometric characteristics of the test pieces was performed on a CMM - coordinate measuring machine. The roughness of the surfaces was measured by the contact method and defined by the parameters R_a , R_z and R_{max} . The mechanical properties of the joints measured were the stiffness and withdrawal strength.

The tenon from the manufactured joint with CNC technology is in the NT 10, and the mortise is in the NT 40 class of machining accuracy. Deviations from the nominal size in the geometric characteristics of the joints are in roundness, parallelism, perpendicularity and symmetry with a value of -0.026mm to 0.470mm. The obtained surface roughness during the manufacture of the tenon is $R_a = 10.1\mu\text{m}$, $R_z = 75.3\mu\text{m}$ and $R_{max} = 91.8\mu\text{m}$. The joints with an interference fit of -0.1 mm to -0.2 mm, the stiffness load capacity is significantly higher by 17.4% than joints with a transition fit or clearance fit. The joints with transition fit or clearance fit have the same withdrawal load capacity as the joints with interference fit.

Key words: geometric characteristics, mortise and tenon joints, tolerances and fits

Благодарност

Посебно изразувам благодарност до мојот ментор проф. д-р. Ѓорѓи Груевски за покажаната поддршка, помош, сугестии и насоки во сите фази на резлизација на докторскиот труд. Сакам да изразам благодарност и до компаниите ДЕ НИ Мебел - столничара и Акиста ДООЕЛ за покажаната помош при изработка на пробни парчиња. Изразувам и благодарност до компанијата Линамар Аутомotive и инж. Петар Емшов за дадената помош при мерење во истражувањето.

Изјавувам дека докторскиот труд е оригинален труд што го имам изработено самостојно.

Своерачен потпис на докторандот

Изјавувам дека електронската верзија на докторскиот труд е идентична со отпечатениот докторски труд.

Потпис на авторот, с.р

СОДРЖИНА

1	ВОВЕД.....	12
1.1	Систем на геометриски спецификации на производи (GPS) - Значење, правила и матрица.....	13
2	ПРЕГЛЕД НА ДОСТИГНУВАЊАТА ВО ДАДЕНАТА НАУЧНА ОБЛАСТ	15
2.1	Можности за употреба на GPS во дрвната индустрија	15
2.2	Употреба на GPS системот при метрологија на составот од чеп и отвор	15
3	ЦЕЛ НА ИСТРАЖУВАЊЕТО	17
3.1	Предмет на истражување.....	17
3.2	Цели на истражувањето	17
3.3	Образложение на работните хипотези и тези.....	17
4	МЕТОДОЛОГИЈА НА ИСТРАЖУВАЊЕТО	18
4.1	Избор и геометриски карактеристики на состави од чеп и отвор	18
4.2	Систем на обележување и број на пробни парчиња од составите.....	19
4.3	Одредување на толеранции и налегнување на составите.....	20
4.4	Избор на дрво и помошен материјал.....	21
4.4.1	Својства на дрвото	21
4.4.2	Својства на лепилото	22
4.5	Изработка на состави со конвенционална технологија	23
4.6	Изработка на состави со CNC технологија.....	27
4.7	Мерење на геометриски карактеристики на составите	31
4.8	Мерење на геометриските карактеристики на површините – рапавост	33
4.9	Определување на механички својства на составите	34
4.9.1	Определување на јакост на свивање на составите.....	35
4.9.2	Определување на јакост на истегнување на составите	36
4.10	Статистичка обработка на мерењата	37
5	РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА.....	39
5.1	Резултати од мерење на геометриски карактеристики на составите	39
5.1.1	Геометриски карактеристики на отворен состав од правоаголен чеп и отвор – Состав I	39
5.1.2	Геометриски карактеристики на отворен комбиниран чеп и отвор – Состав II ..	43
5.1.3	Геометриски карактеристики на овален чеп и отвор – Состав III	47
5.2	Резултати од мерење на механички карактеристики на составите	51
5.2.1	Јакост на свивање на составите	51
5.2.2	Јакост на истегнување на составите.....	52
5.3	Влијание на геометриските карактеристики и рапавоста врз механичките карактеристики на составите	54
6	ЗАКЛУЧОК.....	62
7	ЛИТЕРАТУРА	64

ПРЕГЛЕД НА ТАБЕЛИ

Табела 1: Систем на обележување на групи и број на пробни парчиња	20
Табела 2: Толеранции и налегнување кај составите	21
Табела 3: Физичко-механички својства на буковото дрво.....	22
Табела 4: Својства на лепило и параметри на лепење.....	22
Табела 5: Технички карактеристики на чеп машина “Dincmak DRT115”.....	23
Табела 6: Геометрија на алат – глодало со променливи ножеви “Netmak”	24
Табела 7: Технички карактеристики на универзална столна глодалка “Bratstvo G25”..	25
Табела 8: Геометрија на алат – диск глодало “Pilana 92F”	26
Табела 9: Технички карактеристики на осцилаторна дупчалка “Dincmak DMT120”	26
Табела 10: Технички карактеристики и геометрија на алат – сврдел “Netmak 0485-05”	27
Табела 11: Технички карактеристики на машина – универзален CNC центар “Homag Optimat ВНС 550”	28
Табела 12: Геометрија на алат – глодало “Freud”	28
Табела 13: Параметри на глодање при обработка на состави на CNC центар.....	30
Табела 14: Мерени геометриски карактеристики на пробните парчиња	31
Табела 15: Основни технички податоци на координатна мерна машина “Hexagon Global 123010”	33
Табела 16: Основни технички карактеристики на инструмент за мерење на рапавост “Mitutoyo SJ210”	34
Табела 17: Основни технички карактеристики на универзална машина за испитување на материјали Shimadzu AGS.....	35
Табела 18: Геометриски карактеристики на пробните парчиња од групите KILt и CILt	41
Табела 19: Геометриски карактеристики на пробните парчиња од групите KILm и CILm	42
Табела 20: Геометриски карактеристики на пробните парчиња на групите KIIIlt и CIIIlt	45
Табела 21: Геометриски карактеристики на пробните парчиња од групите KIIIIm и CIIIIm.....	46
Табела 22: Геометриски карактеристики на пробните парчиња од групите KIIIlt и CIIIlt	49
Табела 23: Геометриски карактеристики на пробните парчиња од групите KIIIIm и CIIIIm	50
Табела 24: Сили на кршење на составите при свивање – $F_{sv} (N)$	52
Табела 25: Сили на кршење на составите при истегнување – $F_w (N)$	53

ПРЕГЛЕД НА СЛИКИ

Слика 1: Состав - I : Отворен правоаголен чеп и отвор.....	18
Слика 2: Состав – II : Отворен комбиниран чеп и отвор	19
Слика 3: Состав – III : Овален чеп и отвор.....	19
Слика 4: Начин на означување на пробните парчиња	20
Слика 5: Насока на протегање на дрвните влакна при изработка на составите.....	21
Слика 6: Лепило и контрола на нанос на чеп.....	22
Слика 7: Машина за изработка на чепови “Dincmak DRT115”.....	23
Слика 8: Алат - глодало со променливи ножеви “Netmak”	24
Слика 9: Универзална столна глодалка “Bratstvo G25”	25
Слика 10: Диск глодало “Pilana 92F”	25
Слика 11: Осцилаторна дупчалка “Dincmak DMT120”	26
Слика 12: Алат - сврдел “Netmak 0485-05”	27
Слика 13: Универзален CNC центар “Homag Optimat BHC 550”	27
Слика 14: Алат - глодало “Freud”	28
Слика 15: Работни движења при CNC обрботка на Состав – I	28
Слика 16: Работни движења при CNC обрботка на Состав – II.....	29
Слика 17: Работни движења при CNC обрботка на Состав – III	29
Слика 18: Спецификации за толеранции на облик, правец и положба според ISO1101:2017	32
Слика 19: Координатна мерна машина “Hexagon Global 123010”.....	33
Слика 20: Инструмент за мерење на рапавост “Mitutoyo SJ210”.....	34
Слика 21: Универзална машина за испитување на материјали Shimadzu AGS.....	35
Слика 22: Димензии на пробни тела за определување на јакост на свивање на составите.....	36
Слика 23: Шематски приказ на делување на сили при определување на јакост на свивање на составите.....	36
Слика 24: Димензии на пробни тела за испитување на јакост на истегнување на составите.....	37
Слика 25: Шематски приказ на делување на сили при определување на јакост на истегнување на составите	37

ПРЕГЛЕД НА ГРАФИЦИ

График 1: Влијание на рапавоста врз силата на кршење при свивање кај отворен правоаголен чеп и отвор изработен на конвенционална технологија	55
График 2: Влијание на рапавоста врз силата на кршење при свивање кај отворен правоаголен чеп и отвор изработен на CNC технологија	55
График 3: Влијание на рапавоста врз силата на кршење при свивање кај отворен комбиниран чеп и отвор изработен на конвенционална технологија.....	56
График 4: Влијание на рапавоста врз силата на кршење при свивање кај отворен комбиниран чеп и отвор изработен на CNC технологија	56
График 5: Влијание на рапавоста врз силата на кршење при свивање кај овален чеп и отвор изработен на конвенционална технологија	57
График 6: Влијание на рапавоста врз силата на кршење при свивање кај овален чеп и отвор изработен на CNC технологија	57
График 7: Влијание на рапавоста врз силата на кршење при истегнување кај отворен правоаголен чеп и отвор изработен на конвенционална технологија	58
График 8: Влијание на рапавоста врз силата на кршење при истегнување кај отворен правоаголен чеп и отвор изработен на CNC технологија	59
График 9: Влијание на рапавоста врз силата на кршење при истегнување кај отворен комбиниран чеп и отвор изработен на конвенционална технологија.....	59
График 10: Влијание на рапавоста врз силата на кршење при истегнување кај отворен комбиниран чеп и отвор изработен на CNC технологија	60
График 11: Влијание на рапавоста врз силата на кршење при истегнување кај овален чеп и отвор изработен на конвенционална технологија	60
График 12: Влијание на рапавоста врз силата на кршење при истегнување кај овален чеп и отвор изработен на CNC технологија	61

ПРЕГЛЕД НА СИМБОЛИ И АКРОНИМИ

Симбол/ кратенка	Назив на македонски јазик	Единица мерка
ad	Долно гранично отстапување на чеп	mm
Ad	Долно гранично отстапување на отвор	mm
ag	Горно гранично отстапување на чеп	mm
Ag	Горно гранично отстапување на отвор	mm
As	Вистинско отстапување	mm
b	Ширина на глодање	mm
CMM	Координатна мерна машина	/
d	Номинална мера на чеп	mm
D	Номинална мера на отвор	mm
dd	Долна гранична мера на чеп	mm
Dd	Долна гранична мера на отвор	mm
dg	Горна гранична мера на чеп	mm
Dg	Горна гранична мера на отвор	mm
Fsv	Сила на кршење при свиткување	N
Fw	Сила на кршење при извлекување	N
GPS	Систем на геометриски карактеристики на производи	/
h	Длабина на глодање	mm
HT	Класа на точност	/
n	Број на вртежи на алат	vrt/min
Pg	Максимален преклоп во налегнувањето	mm
Ra	Средно аритметичко отстапување на профилот на рапавоста	µm
Rmax	Максимална височина на профилот на рапавоста	µm
Rz	Средна висина на нерамнини во десет точки	µm
u	Брзина на помест при глодање	m/min
Zg	Максимален зазор во налегнувањето	mm
λс	Референтна должина за мерење на рапавост	mm

1 ВОВЕД

Столовите претставуваат најрепрезентативен тип на мебел од групата на мебел за седење. Може да бидат изработени од повеќе материјали како метал, пластика, композити, но најчесто се изработуваат од дрво. При дизајнирањето на столови многу повеќе се внимава на изгледот и ергономијата отколку на издржливоста на конструкцијата. Јакоста и издржливоста на конструкцијата зависат од повеќе фактори кои се меѓусебно зависни правејќи ја оваа карактеристика комплексна. Составите во дрвените конструкции претставуваат критични места каде најчесто се појавуваат дефекти, па затоа треба особено да се внимава на толеранциите и типот на налегнување при конструирањето (Eckelman, 2003). Како најкритични места за појава на дефекти (Jeršić и сор., 1978) ги одредиле составите меѓу предната ногара и страничниот носач на седиште при испитувања на 48 видови на дрвени столови. Најчест тип на состав за поврзување на овие елементи како и на цела конструкција кај столовите е составот од чеп и отвор. Извршени се бројни истражувања за систематизација и димензионирање на сите видови на состави од чеп и отвор како и истражувања на јакоста на составите од многу автори (Naviarova и сор., 2001; Tankut и Tankut, 2005; Jivkov и Marinova, 2006; Gruevski, 2007; Prekrat и Smardzewski, 2010; Hajdarevic и Martinovic, 2014 и др.)

Изработката на составите од чеп и отвор се изведува на неколку типови конвенционални машини. Традиционалната и конвенционална технологија за изработка на мебел од дрво се темели на обработка на секоја операција на специјализирана машина. Со развојот на CNC технологијата, денес постојат машини таканаречени “CNC центри” со повеќе последователни операции за изработка на финални елементи од мебел. Овие машини наоѓаат голема примена при производството на столови и рамовски конструкции. На нив може да се обработуваат детали и потсклопови. Предноста на овие машини е тоа што со едно поставување – базирање на деталот за обработка, на него може да се обработат неколку фази за технолошко оформување, а со тоа се заменуваат повеќе специјализирани машини. Авторите (Кос и сор., 2017) пресметале дека производноста на овие машини е за 2.5 пати поголема во однос на конвенционалните, а (Sutcu, 2013) потенцираат дека површините обработени со CNC машини се со повисок квалитет. Теориите на глодање на CNC машините и ефектот врз рапавоста на обработената површина ги проучувале повеќе автори (Gawronski, 2013; Hazir и Кос, 2019; Iskra и Hernández, 2009; Sofuoglu, 2017; Sutcu, 2013). Воглавно заклучокот на сите е дека со големи брзини на глодање се добива помала рапавост на површината, а со брзиот помест и големата дебелина на струшката при глодање се добива голема рапавост на површината.

Интересот за квалитетот на обработката во индустријата првично се појавува во триесеттите години од минатиот век, а посериозен развој добива за време на Втората светска војна за потребите на производство на оружје и машинската индустрија. Со развојот на CAD/CAM технологијата се јавува и поголема потреба за контрола на квалитетот и точноста на обработката, па во 1996 година од страна на Техничкиот комитет за меѓународна стандардизација (ISO/TC 213), за првпат се објавени низа на стандарди (GPS – Geometrical product specifications) кои ги опфаќаат сите геометриски карактеристики на производите. Во овие стандарди предвидена е една матрица која ги опфаќа отстапувањата во димензии, облик, положба, агли, рапавост како и пропишани толеранции за истите.

Во дрвната индустрија прво систематизирање на отстапувањата е во 1953 год. со рускиот стандард за толеранции и налегнувања GOST 6449 кој низ годините има низа на промени, а валиден е и денес. Понатаму, во 1978 објавени се германските стандарди за толеранции и налегнувања DIN 68100 и DIN 68101 кои исто така имаат низа на промени

и се сеуште валидни. Постои и меѓународен стандард за толеранции и налегнувања во технологијата - ISO 286 кој донекаде може да се користи и во дрвната индустрија (Ljuljka, 1977).

Влијанието на толеранциите и типот на налегнување кај составите од чеп и отвор врз јакостите го истражувале повеќе автори (Potrebic, 1970; Skakic и Janicevic, 2000; Smardzewski и Papuga, 2004; Mackerle, 2005; Gawronski, 2006). Воглавно, сите автори наведуваат дека типот на налегнувањето и точноста на обработка на составите со чеп и отвор имаат влијание врз јакостите, а со тоа и врз издржливоста на дрвените столови. Препорачуваат цврсто налегнување со преклоп од 0.1 до 0.2mm. Карактеристично за овие истражувања е дека сите автори ја земаат само толеранцијата во дебелина на чепот и отворот без притоа да се земат во предвид другите димензии. Прво истражување во кое се дадени пошироки информации за другите карактеристики на составот се од (Tkalec, 1990) во кое авторот отстапувањата ги карактеризира како “грешки и неточност при обработката”.

Званично, отстапувањата на површините се систематизирани со стандард DIN 4760:1982, во кој отстапувањата се поделени на макро (димензии и облик) и микро отстапувања (рапавост) како и нивните причинители. Рапавоста е значаен квалитетен фактор на површините за составување од кои зависи површината на контактот и дебелината на лепилото во слепеницата на врските. Според (Fujiwara и сор., 2005) јакоста на лепење на дрвото зависи од рапавоста на површините, меѓутоа големата рапавост има негативно влијание врз јакоста на лепење (Kalic, 2016). Нерамноста на површината на дрвото зависи од следните фактори: видот на дрвото, анатомската градба и начинот на глодање и брусење (Yang и сор., 2012).

Развојот во финалната обработка на дрвото е тесно поврзан со воведување и примена на адекватни методи на мерење. Примената на мерењата денес е одлучувачки фактор за понатамошен развој на технологијата. Точноста на мерењето е дел од производствената метрологија, од пресудно значење е за запазување на толеранциите и налегнувањата како и за контролата на квалитет во производството (Pfeifer T, 2015). Точноста на мерење на димензиите е клучен фактор во производството. Мерењата се спроведуваат низ сите технолошки фази. Со развојот на науката и технологијата паралелно се развиваат и мерните уреди. Денес поради големата точност и брзина на мерење се почесто се користат координатни мерни системи каде најзастапени се координатните мерни машини (СММ). Овие мерни машини имаат широка примена при мерење на димензионалните и геометриски карактеристики на сите производи. Нивната употреба е во координација со системот на геометриски спецификации на производи.

1.1 Систем на геометриски спецификации на производи (GPS) - Значење, правила и матрица

Системот на стандарди - GPS (Geometrical product specifications) го сочинуваат повеќе од сто стандарди кои ги пропишуваат толеранциите, цртежите, означувањето, симболите, мерната опрема, правилата на мерење, и друго. Основен стандард кој ги пропишува правилата на системот е ISO 8015:2011. Покрај другите правила, основно правило по кое е карактеристичен овај стандард е Правилото на независност (eng. Principle of independency), кое нагласува дека секоја геометриска карактеристика треба да биде разгледувана независно од другите карактеристики. Со ова правило јасно се дефинираат карактеристиките на облик, правец и положба на производот како и релациите меѓу нив. Во овај систем стандарното правило кое ги пропишува геометриските толеранции на елементот е ISO 1101:2017. Во GPS системот пропишана

е една матрица со стандардот ISO 14638:2015 која ги опфаќа сите карактеристики на елементот: димензии, облик, правец, положба, агли, како и квалитетот на површините.

2 ПРЕГЛЕД НА ДОСТИГНУВАЊАТА ВО ДАДЕНАТА НАУЧНА ОБЛАСТ

2.1 Можности за употреба на GPS во дрвната индустрија

Засега нема многу податоци во литературата за употреба на GPS системот во дрвната индустрија. Прв кој пишува за оваа проблематика е (Riegel, 2018). Во неговиот труд тој ја истакнува потребата за примена на системот GPS во индустријата за мебел. Тој смета дека системот е особено применлив при изработката на корпусен плочест мебел каде има мноштво на отвори за поставување на оков, типли и спојки и потребно е точно позиционирање на отворите. Авторите (Warmefjord и сop., 2019) ја истакнуваат можноста за употреба на GPS системот при примена на толеранции во производството на монтажно – демонтажен мебел. Други автори кои ја нагласуваат применливоста на GPS системот при производството на мебел се (Turbanski и сop., 2021; Sydor и сop., 2021). Сите овие автори истакнуваат дека стандардот за толеранции во дрвната индустрија DIN 68100:2010 не е во корелација со GPS системот.

Од спомнатата литература во која се испитува влијанието на толеранциите и налегнувањето во составите на чеп и отвор авторите методолошки ги мерат само димензиите на дебелина на чепот и отворот. Со мерењето на дебелината се добива податок за контактот на пошироките страни на чепот и отворот и од нив најмногу зависи типот на налегнувањето. Овие страни се со најголема површина во цел состав и се процентуално најзастапени во трибулогијата на составот. Кон ова треба да се додаде и дека распоредот на годовите на чепот е со радијална или тангенцијална насока, а бабрењето и собирањето е најизразено во овие насоки (Wood Handbook, 2021). Затоа димензијата на дебелината мора да се контролира поради давањето на толеранција при промена на влага во дрвото.

Меѓутоа, при мерење само на димензијата на дебелина не се добива прецизна слика за контактните површини во составот. Дебелината на чепот може да биде во толерантното поле, но тој може да биде закосен во страна (неточност на облик) или неговата дебелина нема да биде иста во цела должина на чепот (неточност во правец). Можните појави (грешки) при обработката кај составите се систематизирани од (Tkalec и Prekrat, 2000). Присутноста на зазор и празнина во составите на чеп и отвор, односно немањето на контакт во трибулошките површини во составот во фазата на лепење резултира со пополнување на тие празнини со лепило. Составите кои имаат поголеми толеранции, односно лабаво налегнување имаат дебела слепеница (Dzindzic и Zivanic, 2013), а тоа доведува до помала јакост на составот (Tankut, 2007).

Анализирањето на механизмот на силите на делување кои се јавуваат во составите од чеп и отвор е тешка и комплексна работа. Во овој состав се јавуваат сили на притисок, извлекување и торзија со взаемно делување. Кога составот е подложен на делување на сила на торзија површините на потесните страни од чепот ги притискаат потесните страни од отворот (Xie и сop., 2021). Тука се јавуваат две сили на делување кои при зголемено оптеретување водат до појава на празнина и смолкнување во составот. Присутната празнина (зазор) и неговото влијание врз составот го проучувале (Chang и сop., 1987, Ogawa и сop., 2016).

2.2 Употреба на GPS системот при метрологија на составот од чеп и отвор

Мерењето само на димензиите на составот е во согласност со Правилото на независност од ISO 8015:2011. При мерењето на карактеристиките на составите од чеп и отвор за нас е поадекватно правилото “Envelope principle” или Rule #1 од америчкиот стандард ASME Y14.5-2018 според кое мерењето на толеранциите на димензии е

поврзано со мерењето на толеранциите на облик. Ова правило подоцна е прифатено и во ISO 8015:2011, но при негова употреба мора да се нагласи за да се испочитува правилото на независност. Во некои случаи употребата на толеранции во димензии и облик не е доволна затоа што се јавува потреба од задавање на толеранции за паралелност, правоаголност, симетричност односно толеранции за правец и положба. Во овај случај треба да се употреби цел ланец на толеранции според ISO 14638:2015.

Од досегашната литературна анализа и поради комплексноста на барањата за функционалност и издржливост на составот од чеп и отвор сметаме дека одредувањето и контролата на толеранциите и налегнувањата на составот треба да биде во рамките на матрицата од ISO 14638:2015. На овај начин ќе бидат опфатени сите геометриски карактеристики на составот (димензии, облик, правец и положба).

Спроведената литературна анализа од досега постигнатото во оваа област покажува дека недостасуваат информации за геометриските карактеристики на составите од чеп и отвор. Недостасуваат информации и за квалитетот на површините на чепот и отворот добиени со обработка на CNC машина и јакостите на составите добиени со оваа обработка.

3 ЦЕЛ НА ИСТРАЖУВАЊЕТО

3.1 Предмет на истражување

Предмет на ова истражување се типови на чепови и отвори од средни и аголни состави на конструкции од столови. Типови на состави кои ќе се истражуваат: отворен правоаголен чеп и отвор, отворен комбиниран чеп и отвор и овален чеп и отвор. Предмет на истражување е и квалитетот на обработката преку метрологија на геометриските карактеристики на составите добиени со обработка на CNC машина. Ќе се истражува јакоста на свивање и јакоста на истегнување на составите добиени по двете споменати технологии.

3.2 Цели на истражувањето

Целите на ова истражување се: да се добијат информации за влијанието на квалитетот на обработка, искажан преку геометриските карактеристики на составите од чеп и отвор добиени со обработка на CNC машина врз јакостите кај конструкциите на столови; да се спореди јакоста на составите добиени со обработка на CNC машина со составите добиени со конвенционална технологија; да се изврши систематизација на геометриските карактеристики на составот по матрицата на GPS стандардите; да се изврши комплетна трибулошка анализа на површините во составите добиени по двете споменати технологии.

3.3 Образложение на работните хипотези и тези

CNC машините имаат различни параметри на обработка од конвенционалните машини. Затоа и циклоидата која ја формира глодалото на површината ќе биде различна. Со оглед на тоа дека CNC машините имаат поголема точност на обработка претпоставуваме дека составите добиени со обработка на овие машини ќе имаат повисок квалитет во однос на конвенционалните машини. Претпоставуваме дека кај CNC машината обработената површина ќе биде со помала рапавост. Квалитетот на обработката ќе биде изразен преку метрологија на геометриските карактеристики на чепот и отворот. Предвидени се мерења на: отстапувањата во димензии (должина, ширина и дебелина); отстапувања во обликот (рамност, паралелност и правоаголност); отстапувања во положба (по надолжна и напречна оска); отстапувања во рапавост на површините. По лепење на составите ќе биде одредена и јакоста на свивање и јакоста на истегнување на истите. Претпоставуваме дека составите обработени на CNC машина ќе имаат повисок квалитет на обработка, а со тоа и поголеми јакости што би допринело до повисок квалитет на конструкциите на столовите.

4 МЕТОДОЛОГИЈА НА ИСТРАЖУВАЊЕТО

Експерименталниот дел од ова истражување се состои од повеќе методски единици кои вклучуваат: избор на состави од чеп и отвор, изработка на составите на двете споменати технологии одделно, мерење на геометриските карактеристики, определување на јакостни карактеристики на составите и статистичка обработка на податоците од мерењата.

4.1 Избор и геометриски карактеристики на состави од чеп и отвор

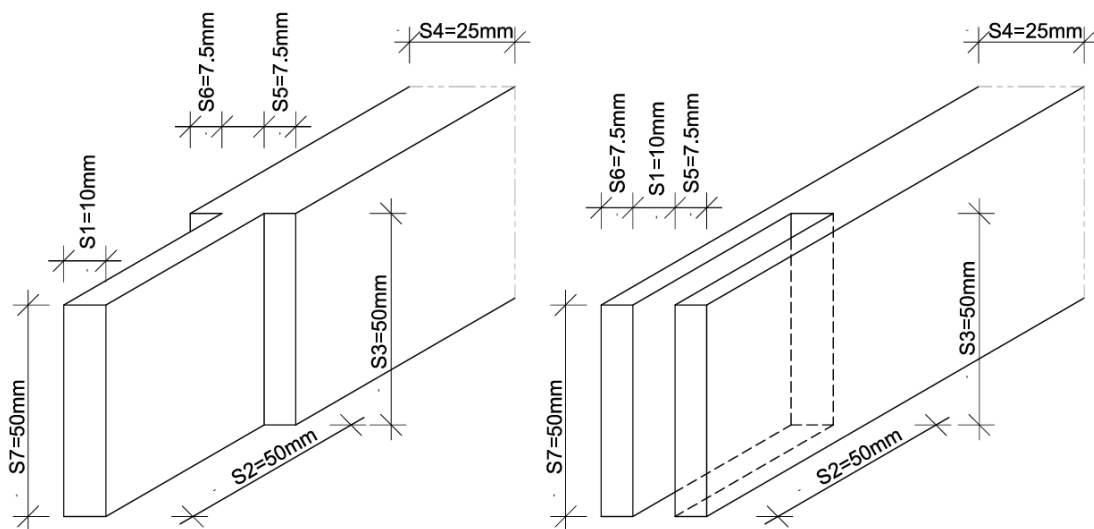
Основени критериуми за избор на составите беа тие да се често применувани состави и да може да се изработат по двете споменати технологии за да се обезбеди споредливост. Дополнителен критериум беше и различниот тип на циклоида изразена со своја карактеристична рапавост добиена при обработката со глодање. Истражувањето беше извршено на три типа состави и тоа:

Состав - I : Отворен правоаголен чеп и отвор (Слика 1)

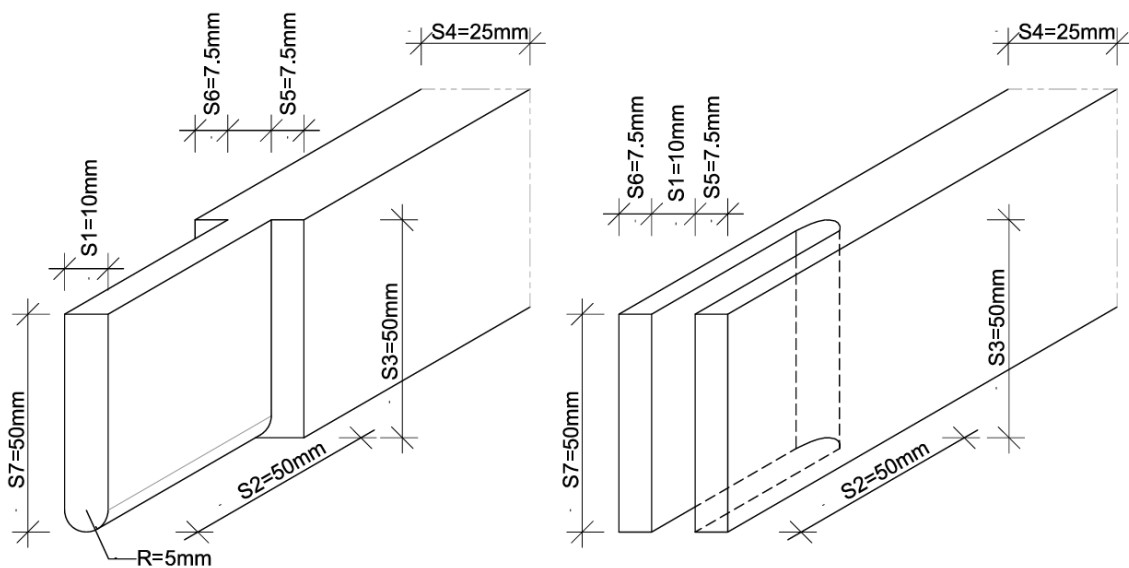
Состав – II : Отворен комбиниран чеп и отвор (Слика 2)

Состав – III : Овален чеп и отвор (Слика 3)

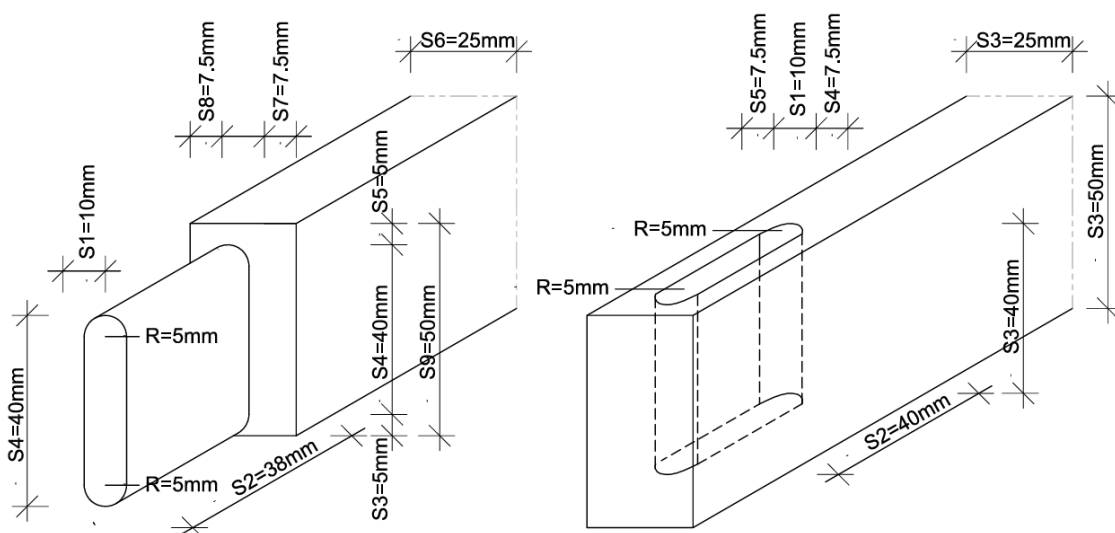
Геометриските карактеристики на составите беа избрани според GOST 9330:2016.



Слика 1: Состав - I : Отворен правоаголен чеп и отвор



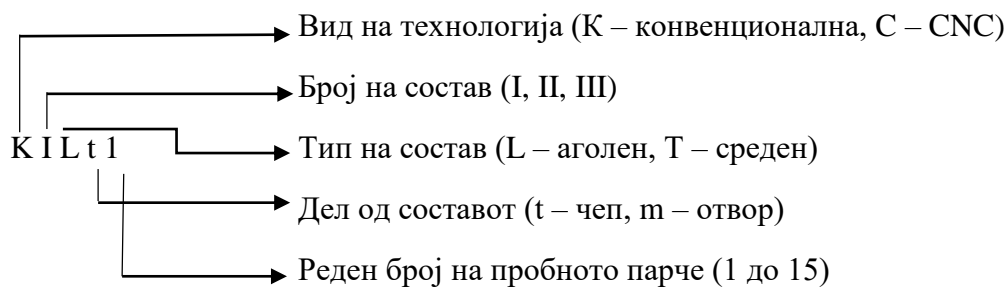
Слика 2: Состав – II : Отворен комбиниран чеп и отвор



Слика 3: Состав – III : Овален чеп и отвор

4.2 Систем на обележување и број на пробни парчиња од составите

Од трите вида на состави беа изработени по четири групи на пробни парчиња, две групи на аголни и две групи на средни состави. По една група беше изработена по конвенционална технологија, а другата група на CNC технологија. Од секој вид на состав изработени беа група на аголен спој изработен со конвенционална технологија и група на аголен спој изработен на CNC технологија. Исто така изработени беа и групи од среден спој. Бројот на пробни парчиња во секоја група изнесуваше $n = 15$. Пробните парчиња беа обележани со пет карактери. Значењето на карактерите е опишано на Слика4. Во Табела 1 е прикажано обележувањето и бројот на групи и пробни парчиња.



Слика 4: Начин на означување на пробните парчиња

Табела 1: Систем на обележување на групи и број на пробни парчиња

Рбр.	Група на пробно парче	Вид на состав		Број на пробни парчиња
1	2	3		4
2	KILt	Конвенционална технологија	Состав I	15
3	KILm			15
4	KITt			15
5	KITm			15
6	KIILt			Состав II
7	KIILm		15	
8	KIITt		15	
9	KIITm		Состав III	15
10	KIILt			15
11	KIILm			15
12	KIITt			15
13	KIITm			15
14	CILt		CNC технологија	Состав I
15	CILm	15		
16	CITt	15		
17	CITm	15		
18	CIILt	Состав II		15
19	CIILm			15
20	CIITt			15
21	CIITm	Состав III		15
22	CIILt			15
23	CIILm			15
24	CIITt			15
25	CIITm			15
Σ	24			360

4.3 Одредување на толеранции и налегнување на составите

Одредувањето на толеранции и налегнување на составите беше според стандардите DIN 68100:2010 и DIN 68101:2012. За прикажаните состави најпрво беше одреден типот на налегнување, а потоа граничните отстапувања за основното толеранциско поле на чепот и отворот. Во финалното производство на мебел за овај тип на состави е предвидено налегнување со преклоп. Според некои автори со преклоп од 0.1mm до 0.2mm се добива најголема јакост на составот (Potrebic, 1970; Tkalec, 1990). За наведената вредност за преклоп, според стандардот најмногу одговара налегнување К/р. Налегнувањето К/р има такви гранични отстапувања така што може да се очекува преклоп кај најголем број од составите. За пресметка на вредностите условно беше земен среден квалитет на обработка што одговара на НТ15 класа на точност според наведените стандарди. Врдносите за толеранциите и налегнувањето се прикажани во Табела 2.

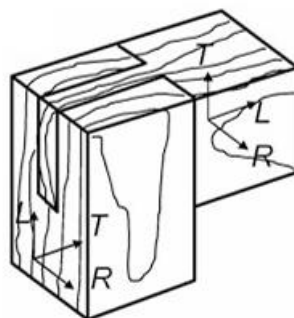
Табела 2: Толеранции и налегнување кај составите

Р.број	Толеранциска вредност	Добивање	Чеп	Отвор
1	2	3	4	5
2	Номинална мера	Од цртеж на производот	$d = 10\text{mm}$	$D = 10\text{mm}$
3	Основна толеранција	Класа НТ15 (DIN 68100:2010)	$T_o = 0.21\text{mm}$	$T_o = 0.21\text{mm}$
4	Толеранциско поле	DIN 68100:2010	$p = 0.15\text{mm}$	$K = 0\text{mm}$
5	Горно гранично отстапување	$T_o + (p \text{ или } K)$	$ag = 0.36\text{mm}$	$Ag = 0.21\text{mm}$
6	Долно гранично отстапување	$0 + (p \text{ или } K)$	$ad = 0.15\text{mm}$	$Ad = 0\text{mm}$
7	Горна гранична мера	$dg = d + ag$ $Dg = D + Ag$	$dg = 10.36\text{mm}$	$Dg = 10.21\text{mm}$
8	Долна гранична мера	$dd = d + ad$ $Dd = D + Ad$	$dd = 10.15\text{mm}$	$Dd = 10.0\text{mm}$
9	Максимален преклоп	$Pg = Dd - dg$	$Pg = 0.36\text{mm}$	
10	Максимален зазор	$Zg = Dg - dd$	$Zg = 0.6\text{mm}$	
11	Толеранција на налегнувањето	$T_n = Pg + Zg$ $T_n = 2T_o$	$T_n = 0.42\text{mm}$	

4.4 Избор на дрво и помошен материјал

4.4.1 Својства на дрвото

Пробните парчиња беа изработени од буково дрво (*Fagus Sylvatica*). Буковото дрво во Р.Македонија е најупотребуван дрвен вид за изработка на столови и мебел воопшто. Дрвото беше земено од локална пилана. Густината на дрвото и процентот на влага беа определени според стандардите ISO 13061-1:2014 и ISO13061-2:2014. Просечната ширина на годовите на дрвото изнесуваше 2.5mm. Одредената густина одговара на просечната густина на буковото дрво во литературните податоци (Kollmann, 1951; Wagenführ 2021.). Во истата литература се дадени и останатите физичко-механички својства за дрвото, прикажани во Табела 3. Кај сите пробни парчиња беше запазена тангенцијална насока на дрвните влакна како што е прикажано на Слика 5. Кондиционирањето на пробните парчиња пред и после обработка, мерење на димензии и лепење беше на контролирани услови при температура од $T = 20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ и релативна влажност на воздухот $RW = 50 \pm 5 \%$, што одговара на влажност $W = 10\%$ во дрвото од бука (DIN 68101:2012). Влажноста во дрвото за време на кондиционирањето како и пред и после обработка, мерење на димензии и лепење беше контролирана со контактен влагомер.



Слика 5: Насока на протегање на дрвните влакна при изработка на составите

Табела 3: Физичко-механички својства на буковото дрво

Р.бр	Својство на дрвото	Вредност
1	2	3
2	Густина	0.72 g/cm ³
3	Влажност	10%
4	Просечна ширина на год	2.5 mm
4	Јакост на притисок	53 MPa
5	Јакост на свиткување	105 MPa

4.4.2 Својства на лепилото

Лепењето на составите беше извршено со поливинил ацетатно лепило (PVA) од производител Rakoll и име на производ Eexpress 25 Plus. Ова лепило е наменето за ладно конструктивно лепење на столови од тврдо дрво. Типот на лепило е D2 според класификацијата од стандардот DIN EN 204. Параметрите при лепење беа запазени според препораките дадени од производителот. Лепилото беше нанесено со помош на четка и тоа на површините на чепот и отворот посебно (прикажано на Слика 5). Својствата на лепилото кои ги декларира производителот се прикажани во Табела 4.



Слика 6: Лепило и контрола на нанос на чеп

Табела 4: Својства на лепило и параметри на лепење

Р.бр	Карактеристика	Вредност
1	2	3
2	Вискозитет	20.000 mPa.s
3	Сув остаток	52±3 %
4	Боја	Жолта
5	РН вредност	4.5
6	Нанос на површина за лепење	140 - 200 g/m ²
7	Отворено време на слепеницата	6-9 min
8	Притисок на лепење	0.1 – 0.5 N/mm ²
9	Времетраење на притисок при лепење	10 - 15 min
10	Температура на воздухот при лепење	18 – 20 C°
11	Релативна влажност на воздухот при лепење	60 – 70 %
12	Влажност на дрвото кое се лепи	8 – 10 %

4.5 Изработка на состави со конвенционална технологија

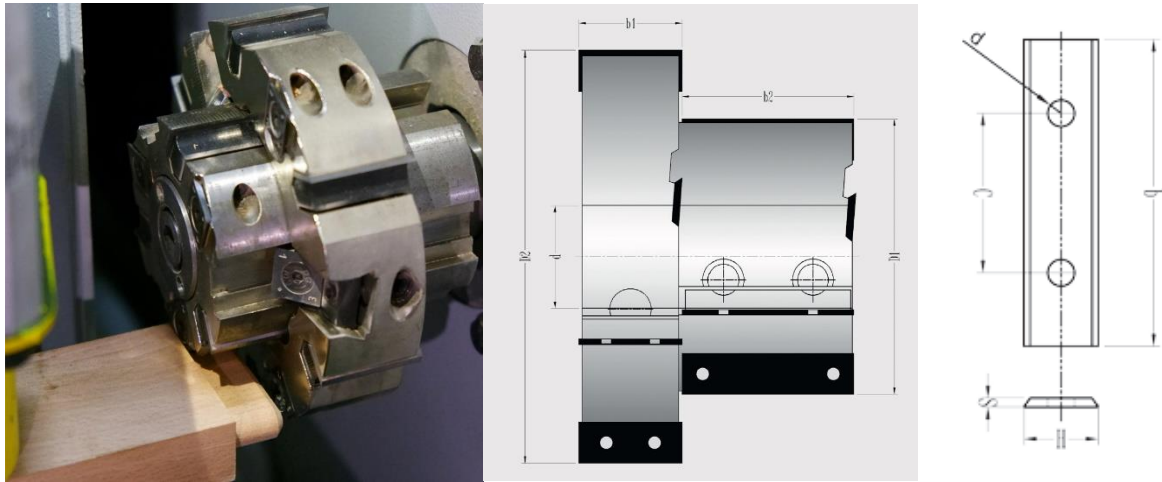
Изработката на составите по конвенционална технологија беше изведено на класични конвенционални машини за изработка на состави кои се дел од производствен погон од фабрика за столови од дрво во Македонија. Чеповите од Состав - I, Состав – II и Состав – III, наменети за аголни и средни состави беа изработени на “чеп - машина” од производител Dincmak тип на производ DRT 115 (прикажана на Слика 6). За изработка на чеповите беше користен алат – глодало со променливи ножеви од производител Netmak тип на производ J0090-01. Изменливите ножеви кои се користеа на главата за изработка на чеповите се со тип на производ J0003301215 и J0003501215KR. Техничките карактеристики на чеп – машината се прикажани во Табела 5. Алатот и неговата геометрија се прикажани на Слика 7 и Табела 6.



Слика 7: Машина за изработка на чепови “Dincmak DRT115”

Табела 5: Технички карактеристики на чеп машина “Dincmak DRT115”

Р.бр	Карактеристика	Вредност
1	2	3
2	Број на вртежи на алатот	7200 vrt/min
3	Моќност на моторот	4 kW
4	Брзина на помест	6 m/min
5	Ширина на чеп	Max. 100mm
6	Должина на чеп	Max. 50mm
7	Дебелина на чеп	Max. 30mm
8	Промена на агол на работна маса по у оска	15° - 30°
9	Промена на агол на работна маса по z оска	Max. 20°
10	Димензии на машината (l x b x h)	1300 x 1200 x 1600mm
11	Тежина	900 kg



Слика 8: Алат - глодало со променливи ножеви “Netmak”

Табела 6: Геометрија на алат – глодало со променливи ножеви “Netmak”

Рбр.	Глодало (тип: J0090-01)					
1	2	3	4	5	6	7
2	Димензија од цртеж	D1	D2	b1	b2	D
3	Вредност (mm)	90	140	30	0 - 60	30
4	Нож (тип: J0003301215)					
5	Димензија од цртеж	b	H	S	C	d
6	Вредност (mm)	30	12	1.5	14	4.1
7	Нож (тип: J0003501215KR)					
8	Димензија од цртеж	b	H	S	C	d
9	Вредност (mm)	60	12	1.5	60	4.1

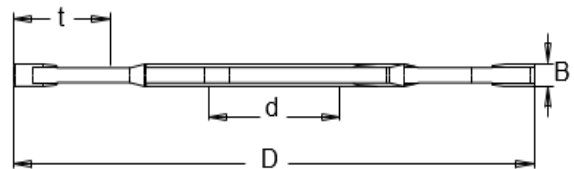
Оворениот правоаголен отвор за Состав - I беше изработен на универзална столна глодалка за дрво од производител Bratstvo тип G25 (прикажана на Слика 8). На машината беше додадена троаголна конзола за да се обезбеди подвижно базирање и водење на деталот кон алатот за обработка. Техничките карактеристики на машината се прикажани во Табела 7. За изработка на отворот беше користено диск глодало од производител Piana тип на производ 92F. Карактеристиките на алатот и неговата геометрија се прикажани на Слика 9 и Табела 8.



Слика 9: Универзална столна глодалка “Bratstvo G25”

Табела 7: Технички карактеристики на универзална столна глодалка “Bratstvo G25”

Р.бр	Карактеристика	Вредност
1	2	3
2	Број на вртежи на алатот	5700 vrt/min
3	Моќност на мотор	4.8 kW
4	Дијаметар на осовина	30 mm
5	Димензии на работна површина	900 x 1000 mm
6	Димензии на машината	900 x 1000 x 850 mm
7	Тежина	850 kg



Слика 10: Диск глодало “Pilana 92F”

Табела 8: Геометрија на алат – диск глодало “Pilana 92F”

Рбр.	Глодало (тип:)				
	2	3	4	5	6
2	Димензија од цртеж	D	d	B	t
3	Вредност (mm)	150	30	10	50

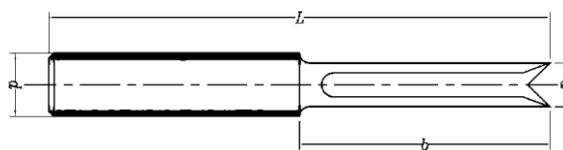
Отворите за Состав - II и Состав – III беа изработени на осцилаторна дупчалка од производител Dinсмак тип на производ DMT 120 (прикажана на Слика 10). Техничките карактеристики на машината се прикажани во Табела 9. За изработка на отворите беше користен сврдел од производител Netмак тип на производ 0485-05, прикажан на Слика 11. Техничките карактеристики на сврделот се прикажани во Табела 10.



Слика 11: Осцилаторна дупчалка “Dinсмак DMT120”

Табела 9: Технички карактеристики на осцилаторна дупчалка “Dinсмак DMT120”

Р.бр	Карактеристика	Вредност
1	2	3
2	Број на вртежи на алатот	9000 vrt/min
3	Моќност на моторот	4 kW
4	Брзина на помест	30 m/min
5	Должина на отвор	max. 120mm
6	Длабина на отвор	max. 50mm
7	Движење на работна маса по вертикална оска	75mm
8	Димензии на машината (l x b x h)	1300 x 1200 x 1200mm
9	Тежина	700 kg



Слика 12: Алат - сврдел “Netmak 0485-05”

Табела 10: Технички карактеристики и геометрија на алат – сврдел “Netmak 0485-05”

Рбр.	Сврдел (тип: 0485-05)				
1	2	3	4	5	6
2	Димензија од цртеж	D	b	L	d
3	Вредност (mm)	10	50	105	13

4.6 Изработка на состави со CNC технологија

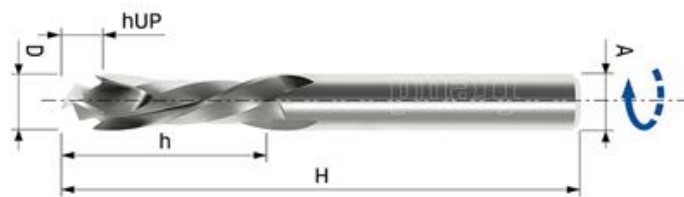
Изработката на пробните парчиња за составите по CNC технологија беше извршена на универзален CNC центар, дел од производствен погон од фабрика за мебел во Македонија. Основната намена на оваа машина е за глодање на детали во производство на корпусен мебел и врати. За подобро базирање на пробните парчиња на вакумските папучи на машината беше изработен шаблон за базирање. Производител на машината е Homag, а типот на производ е Optimat BHC 550. Оваа машина е прикажана на Слика 12. Техничките карактеристики на машината се прикажани во Табела 11. За изработка на составите беше користен алат – глодало со десна насока на режење од производител Freud, тип на производ SCH2XFN350R. Техничките карактеристики и геометријата на глодалото се прикажани на Слика 13 и Табела 12. Со истото глодало беа изработени чеповите и отворите кај сите три вида на состави. На Слика 14, Слика 15 и Слика 16 се прикажани работните движења при обработка на составите на CNC центарот, а параметрите при глодање се прикажани во Табела 13.



Слика 13: Универзален CNC центар “Homag Optimat BHC 550”

Табела 11: Технички карактеристики на машина – универзален CNC центар “Homag Optimat VHC 550”

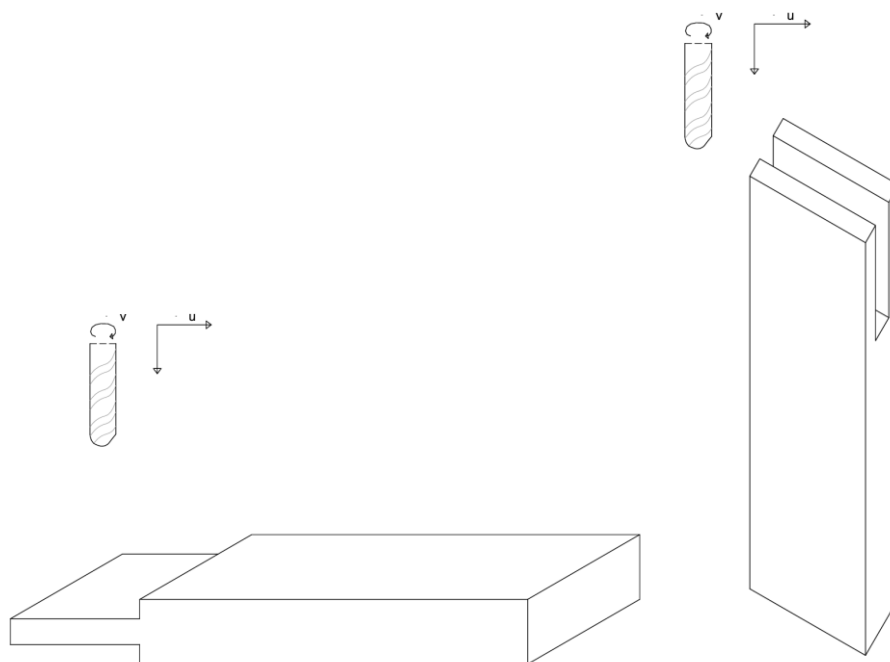
Р.бр	Карактеристика	Вредност
1	2	3
2	Движење по x оска	4250 mm
3	Движење по y оска	1300 mm
4	Движење по z оска	100 mm
5	Можност на главниот мотор	12 kW
6	Брзина на глодање	24000 vrt/min
7	Вид на прифат на алат	HSK – F63
8	Капацитет на вакуум пумпа	250 m ³ /h
9	Отвор за отпрашување	Φ 250mm
10	Димензии	6380 x 3900 x 2370 mm
11	Тежина	4500 kg



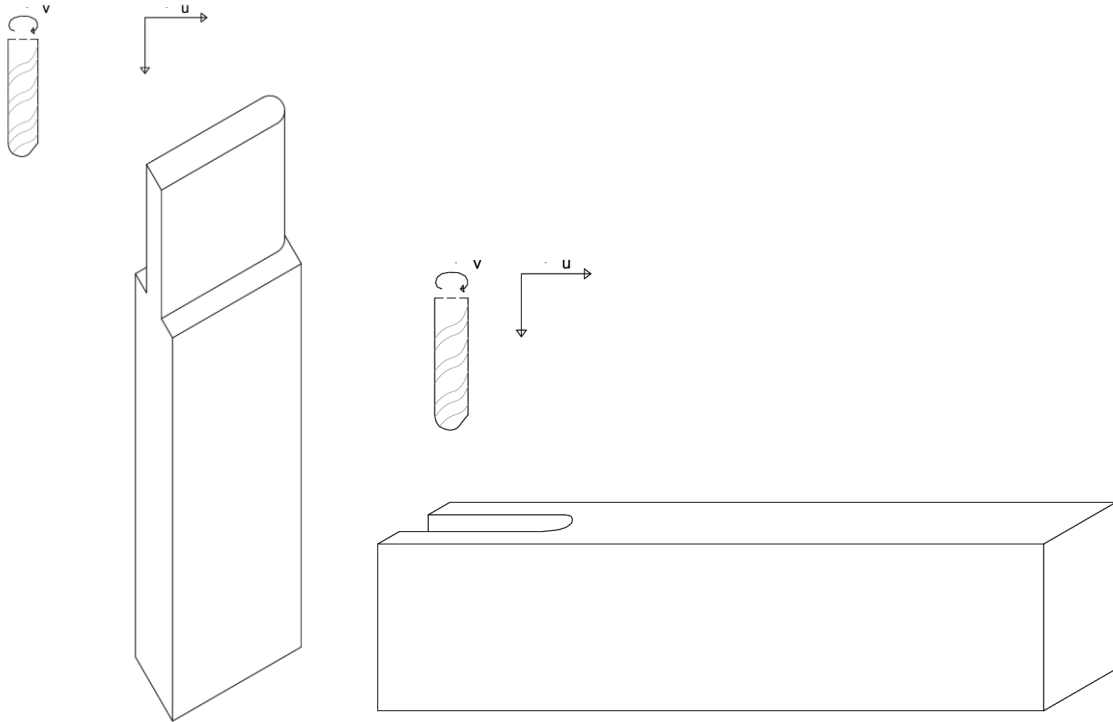
Слика 14: Алат - глодало “Freud”

Табела 12: Геометрија на алат – глодало “Freud”

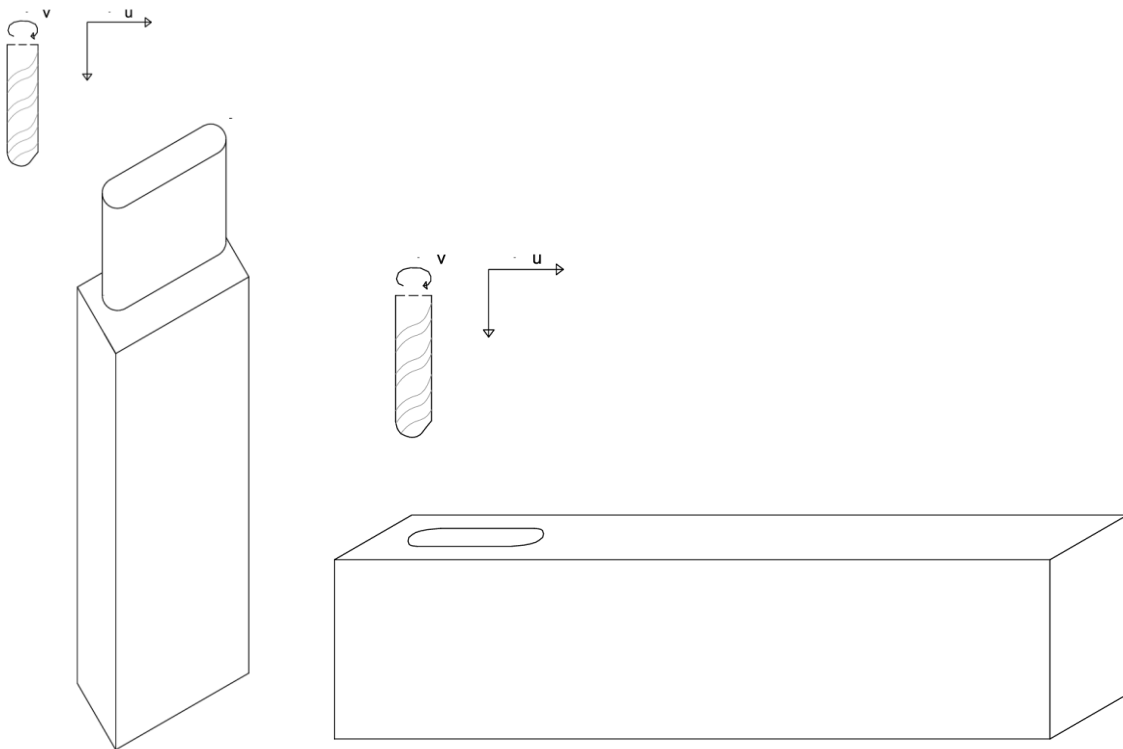
Рбр.	Глодало (тип: SCH2XFN350R)					
1	2	3	4	5	6	7
2	Димензија од цртеж	D	h	H	A	hUP
3	Вредност (mm)	10	32	80	10	5



Слика 15: Работни движења при CNC обработка на Состав – I



Слика 16: Работни движења при CNC обработка на Состав – II



Слика 17: Работни движења при CNC обработка на Состав – III

Табела 13: Параметри на глодање при обработка на состави на CNC центар

Р.бр.	Параметар на глодање		Вредност	
1	2		3	
2	Состав - I			
3	Чеп	Вид на глодање	Челно	
4		Број на вртежи на алатот	n = 20000 vrt/min	
5		Брзина на помест при глодање	u = 1.2 m/min	
6		Број на резови	1	
7		Длабина на глодање	h = 7.4 mm	
8		Ширина на глодање	b = 3 mm	
9		Отвор	Вид на глодање	Валчесто
10			Број на вртежи на алатот	n = 20000 vrt/min
11	Брзина на помест при глодање		u = 1.5 m/min	
12	Број на резови		5	
13	Длабина на глодање		h1 = 8 mm h2 = 11 mm h3 = 9 mm h4 = 12 mm h5 = 10 mm	
14	Ширина на глодање		b = 3 mm	
15	Состав - II			
16	Чеп		Вид на глодање	Валчесто
17		Број на вртежи на алатот	n = 20000 vrt/min	
18		Брзина на помест при глодање	u = 1.5 m/min	
19		Број на резови	6 (4+2)	
20		Длабина на глодање	h1/1 = 12 mm h1/2 = 12 mm h1/3 = 12 mm h1/4 = 14 mm h2/1 = 25 mm h2/1 = 25 mm	
21		Ширина на глодање	b1 = 5 mm b2 = 2.4 mm	
22		Отвор	Вид на глодање	Валчесто
23			Број на вртежи на алатот	n = 20000 vrt/min
24	Брзина на помест при глодање		u = 1.2 m/min	
25	Број на резови		5	
26	Длабина на глодање		h1 = 10 mm h2 = 10 mm h3 = 10 mm h4 = 10 mm h5 = 10 mm	
27	Ширина на глодање		b = 3 mm	
28	Состав - III			
29	Чеп		Вид на глодање	Валчесто
30		Број на вртежи на алатот	n = 20000 vrt/min	
31		Брзина на помест при глодање	u = m/min	
32		Број на резови	6 (4+2)	
33		Длабина на глодање	h1/1 = 10 mm h1/2 = 10 mm h1/3 = 10 mm h1/1 = 8 mm h2/1 = 20 mm h2/2 = 18 mm	
34		Ширина на глодање	b1 = 5 mm b2 = 2.4 mm	
35		Отвор	Вид на глодање	Валчесто
36			Број на вртежи на алатот	n = 20000 vrt/min
37	Брзина на помест при глодање		u = 1.2 m/min	
38	Број на резови		4	
39	Длабина на глодање		h1 = 10 mm h2 = 10 mm h3 = 10 mm h4 = 10 mm	
40	Ширина на глодање		b = 3 mm	

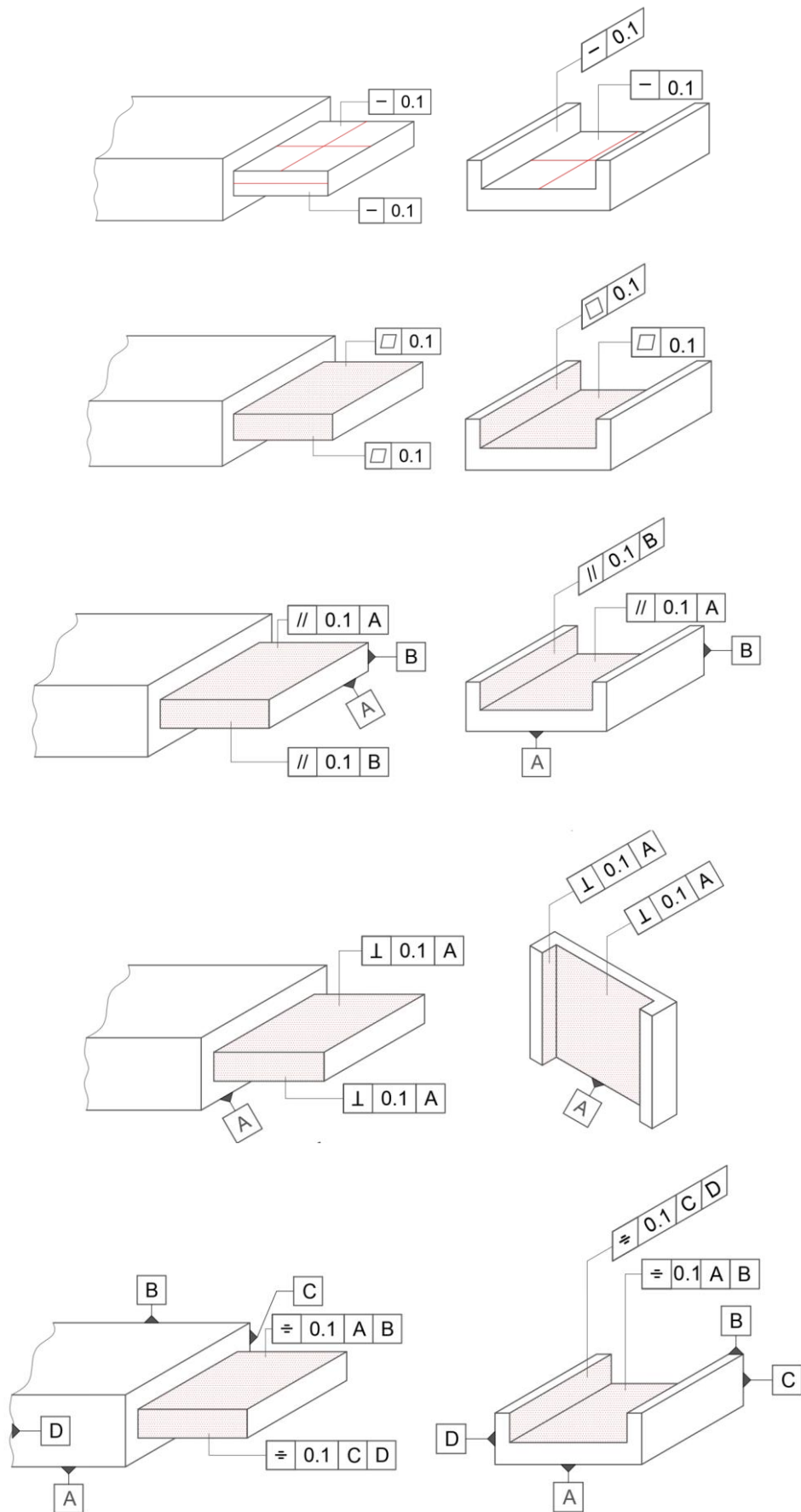
4.7 Мерење на геометриски карактеристики на составите

Мерењето на геометриските карактеристики на составите беше извршено според стандардите кои се дел од Системот на геометриски спецификации на производи - GPS (Geometrical product specifications). На пробните парчиња, мерења беа извршени на функционалните делови од составот односно на чеповите и отворите кај сите три вида на врски. Мерењата беа извршени според матрица по стандардот ISO 14638:2015 која ги опфаќа сите карактеристики на елементот: димензии, облик, правец, положба, агли, како и квалитетот на површините - рапавост. Толеранциите во димензии и определувањето на класата на обработка беа според стандардите DIN 68100:2010 и DIN68101:2012. Геометриските толеранции на пробните парчиња беа мерени според ISO1101:2017 со толеранциска вредност од 0.1mm. Вредностите за геометриските толеранции се превземени од класите на точност од стандардот за слободни мерки ISO 22081-1:2021 (поранешен ISO 2768 – 2:1982).

Во Табелата 14 прикажан е списокот на мерени геометриски карактеристики и нивно означување кај пробните парчиња. Вредноста на толеранциите на облик, правец и положба како и нивните референтни површини според кои се вршени мерењата се прикажани на Слика 17. Правилата на одредување на референтните површини беа запазени според стандардот ISO 5459:2011

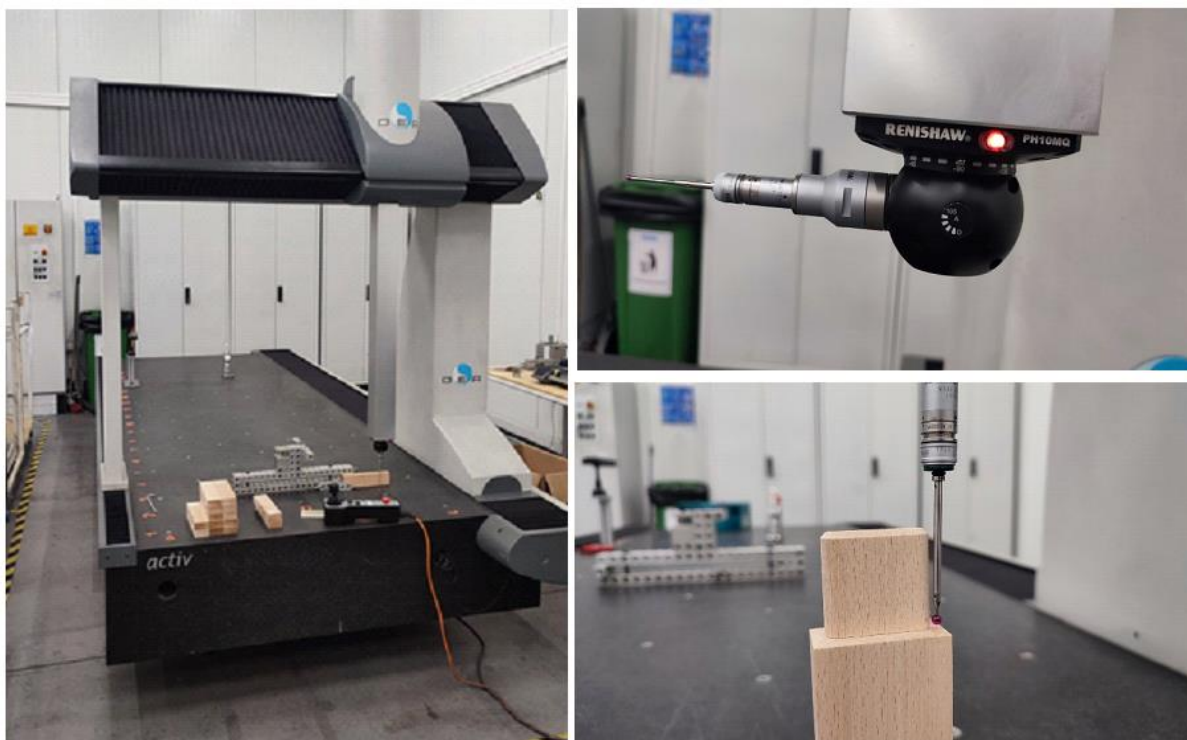
Табела 14: Мерени геометриски карактеристики на пробните парчиња

Р. бр.	Вид на толеранција		Ознака според ISO 1101:2017
1	2		3
2	Димензии	Должина	/
3		Ширина	/
4		Дебелина	/
5	Облик	Правост	—
6		Рамност	▭
7		Кружност	⊂
8	Правец	Параллност	//
9		Правоаголност	⊥
10	Положба	Симетричност	≡



Слика 18: Спецификации за толеранции на облик, правец и положба според ISO1101:2017

Мерењето на геометриските карактеристики на пробните парчиња беше извршено на СММ - координатна мерна машина дел од одделение за контрола на квалитет од производствен погон од фабрика од машинска индустрија во Македонија. Мерната машина беше од производител Hexagon Metrology тип на производ Global 123010. Мерната глава на машината е од производител Renishaw тип на производ PH10MQ. Координатната машина и техничките карактеристики се прикажани на Слика 18 и Табела 15. Точноста на мерење и останатите карактеристики на машината ги задоволува стандардите ISO 10360-2:2009 и ISO 10360-5:2020.



Слика 19: Координатна мерна машина “Hexagon Global 123010”

Табела 15: Основни технички податоци на координатна мерна машина “Hexagon Global 123010”

Р.бр	Карактеристика	Вредност
1	2	3
2	Максимални димензии на мерење (x; y; z)	1200 x 3000 x 1000 mm
3	Референтна површина на мерење	625 x 2480 mm
4	Максимална брзина на мерење	410 m/s
5	Препорачана температура на воздухот при мерење	20 ± 5 °C
6	Препорачана влажност на воздухот при мерење	60 ± 5 %
7	Димензии на машината	2200 x 3600 x 3500 mm
8	Тежина	8900 kg

4.8 Мерење на геометриските карактеристики на површините – рапавост

Рапавоста на површините беше мерена со контактен метод со употреба на инструмент од производител Mitutoyo тип на производ SP210. Мерењето на рапавоста беше согласно стандардот ISO 21920-3:2021. Според препораките на авторот (Jigous-Rajkovic, 1991) за параметри за мерење на рапавост за дрво, а притоа да се исклучат

неправилностите во облик и брановидност, за референтна должина е земена $\lambda_s = 2.5\text{mm}$. За дефинирање на рапавоста одбрани се параметрите Ra, Rz и Rmax, што за мерење на рапавост на дрво ги препорачува и стандардот GOST 7016:2013. Сите пробни парчиња беа мерени на исто место, а насоката на мерењето беше попречна на дрвните влакна. Инструментот и неговите основни технички карактеристики се прикажани на Слика 19 и Табела 16.



Слика 20: Инструмент за мерење на рапавост “Mitutoyo SJ210”

Табела 16: Основни технички карактеристики на инструмент за мерење на рапавост “Mitutoyo SJ210”

Р.бр	Карактеристика	Вредност
1	2	3
2	Должина на мерење по x оска	17.5
3	Радиус на врв од мерна игла	10
4	Референтни должини на мерење	0.08 ; 0.05 ; 0.8 ; 2.5
5	Параметри на мерење	Ra, Rc, Ry, Rz, Rq, Rt, Rmax, Rp, Rv, R3z, Rsk, Rku, RPs, Rsm, Rmax, Rz1max

4.9 Определување на механички својства на составите

Предмет на испитување од механичките својства на составите беа јакоста на свивање и јакоста на истегнување. Механичките својства на составите беа определени на универзална машина за испитување на материјали од производител Shimadzu тип на производ AGS. Техничките карактеристики на машината се прикажани на Слика 20 и Табела 17.



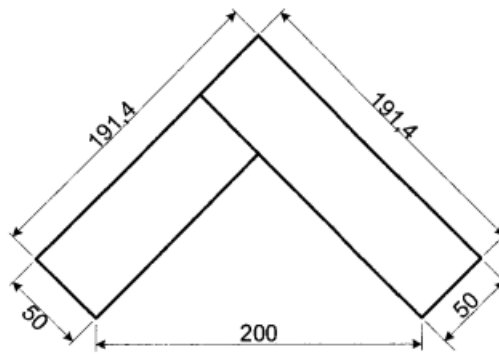
Слика 21: Универзална машина за испитување на материјали Shimadzu AGS

Табела 17: Основни технички карактеристики на универзална машина за испитување на материјали Shimadzu AGS

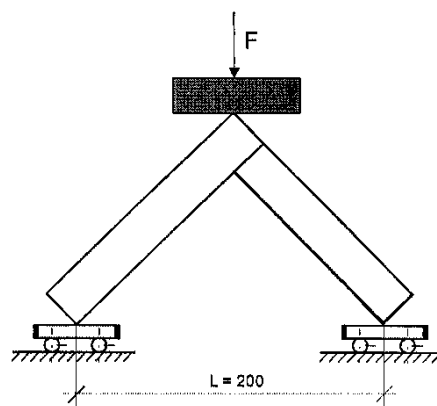
Р.бр	Карактеристика	Вредност
1	2	3
2	Мерно подрачје	250 kN
3	Точност на мерење	±1%
4	Брзина	0.0005 до 500 mm/min
5	Димензии на машината	720 x 640 x 1600 mm
6	Тежина на машината	235 kg

4.9.1 Определување на јакост на свивање на составите

Јакоста на свивање на составите беше определена сосласно стандардите GOST 23166 – 99 и BDS 5527 – 73. Димензиите на пробните парчиња се прикажани на Слика 21, а насоката на делување на силите при испитување шематски се прикажани на Слика 22. Брзината на делувањето на силата при испитувањето изнесуваше 5 mm/min. Јакоста на свиткување на составите беше изразена преку силата на кршење при свивање - F_s (N).



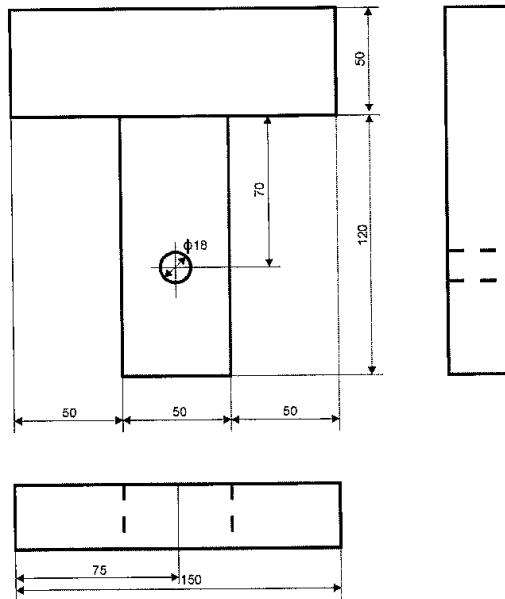
Слика 22: Димензии на пробни тела за определување на јакост на свивање на составите



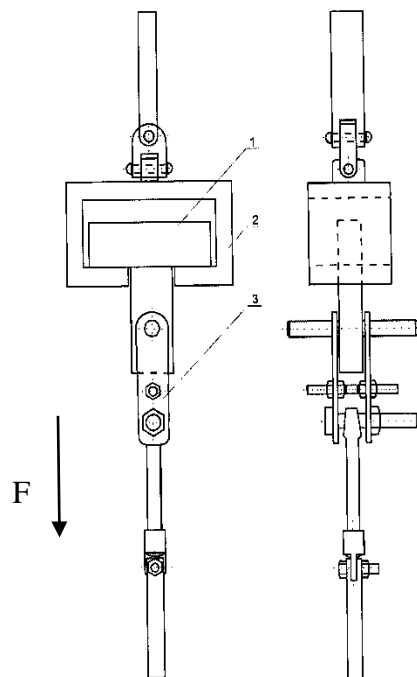
Слика 23: Шематски приказ на делување на сили при определување на јакост на свивање на составите

4.9.2 Определување на јакост на истегнување на составите

Јакоста на истегнување на составите беше определена според метод користен од (Кушчиков и сор. 1999). Димензиите на пробните парчиња се прикажани на Слика 23, а насоката на делување на силите при испитување на јакоста на истегнување на составите шематски е прикажана на Слика 24. Брзината на делувањето на силата при испитувањето изнесуваше 5 mm/min. Јакоста на истегнување на составите беше изразена преку силата на кршење при истегнување - F_w (N).



Слика 24: Димензии на пробни тела за испитување на јакост на истегнување на составите



Слика 25: Шематски приказ на делување на сили при определување на јакост на истегнување на составите

4.10 Статистичка обработка на мерењата

По извршените мерења сите вредности беа поделени и класифицирани во табели. Статистичката обработка на мерењата беше извршена според стандардот ISO 2854:1976. Обработката на податоците беше извршена во програмот Microsoft Excel software package (2016). Вредностите се прикажани преку статистичките показатели:

- Број на пробни парчиња (n)
- Средна вредност на мерењата (\bar{x})

- Стандардна девијација (σ)
- Коефициент на варијација (v)
- Максимална измерена вредност (x_{\max})
- Минимална измерена вредност (x_{\min})

На секоја од групите на мерења најпрво беше извршен тест за проверка на еднаквост на дисперзиите (F – тест), според формулата:

$$F = \frac{\sigma_x^2}{\sigma_y^2} \text{ каде:}$$

σ_x - стандардна девијација на првата група
 σ_y - стандардна девијација на втората група

За ниво на значајност на F – тестот беше земено $\alpha = 0.01$ на што одговара критична вредност од 3.70.

Проверката на значајност на разликата меѓу средните вредности на мерењата меѓу две групи (t - тест) беше според формулите;

за нееднакви дисперзии:
$$t = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{\sqrt{\frac{\sigma_x^2}{n_x} + \frac{\sigma_y^2}{n_y}}}$$

за еднакви дисперзии:
$$t = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{\sigma_p \sqrt{\frac{1}{n_x} + \frac{1}{n_y}}} \text{ и } \sigma_p^2 = \frac{(n_x - 1)\sigma_x^2 + (n_y - 1)\sigma_y^2}{n_x + n_y - 2} \text{ каде:}$$

\bar{x} – средна вредност на првата група
 \bar{y} – средна вредност на втората група
 n_x – број на мерења во првата група
 n_y – број на мерења во втората група
 σ_p – стандардна девијација од двете групи

За ниво на значајност на t – тестот беше земено $\alpha = 0.01$ на што одговара критична вредност од ± 2.58 .

5 РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

5.1 Резултати од мерење на геометриски карактеристики на составите

Во ова поглавие се прикажани резултатите од мерењата на геометриските карактеристики за секој состав посебно. Мерењата се табеларно претставени. Табеларниот приказ е направен според потребата за компаративна анализа меѓу двете технологии. Поради полесно споредување во исти табели се прикажани вредностите од чеповите, а вредностите за отворите се прикажани во посебни табели. Покрај статистичките показатели на мерењата, во табелите се прикажани и вистинското отстапување на вредностите од толеранцијата, класата на точност на обработка на машината и коефициентот на Т – тестот за проверка на значајност на средните вредности. Вредностите каде што има отстапување од толеранциите како и сигнификантноста на средните вредности се означени со црвено.

5.1.1 Геометриски карактеристики на отворен состав од правоаголен чеп и отвор – Состав I

Резултатите од мерењата на геометриските карактеристики на чеповите на отворен состав од правоаголен чеп и отвор, изработени по конвенционална и CNC технологија се прикажани во Табела 18. Резултатите од мерењата на геометриските карактеристики на отворите од истиот состав, изработени по конвенционална и CNC технологија се прикажани во Табела 19.

Средната вредност од мерењата на дебелината на чепот на пробните парчиња изработени на конвенционална технологија изнесуваше 10.210mm, а на отворот 10.000mm. Измерените вредности се во интервалот меѓу горни и долни гранични мери прикажани во Табела 2. Средната вредност од мерењата на дебелината на чепот на пробните парчиња изработени на CNC технологија изнесуваше 10.117mm, а на отворот 10.180mm. И овие измерени вредности се во интервалот меѓу горни и долни гранични мери прикажани во Табела 2. Кај составот изработен на конвенционална технологија налегнувањето е со преклоп од 0.210mm, додека кај составот изработен на CNC технологија имаме појава на минимален зазор од 0.063mm. Овај зазор е во интервал на дозволениот од 0.6mm, одреден со избраниот тип на налегнување К/р. Зазорот е мал и ова нелегнување се смета како неизвесно. Анализата на вредностите покажува дека нема отстапувања кај составот изработен со конвенционална технологија, а добиеното налегнување е со преклоп (-0.200mm), додека добиеното налегнување кај составот изработен на CNC технологија е неизвесно (0.063mm).

При споредба на отстапувањата во димензиите на чеповите прикажани во Табела 18, факторот на значајност на дебелина на чеповите $T = 1.80$. Според тоа нема значајна разлика во средните вредности на дебелината на чеповите изработени на конвенционална во однос на чеповите изработени на CNC технологија. Средната вредност на дебелината на чепот изработен на конвенционална технологија спаѓа во HT 1 класа на точност на обработка. Средната вредност на дебелината на чепот изработен на CNC технологија спаѓа во HT 10 класа на точност на обработка. Значајно помало е отстапувањето на должината на чеповите ($T = 16.41$) изработени на CNC технологија во однос на конвенционалната. Вистинското отстапување на должината на чеповите изработени на CNC изнесуваше 0.048mm, додека кај чеповите изработени на конвенционална технологија изнесуваше -1.366mm. Нема значајни отстапувања во останатите димензии на чеповите, односно точноста на обработка помеѓу технологиите кај останатите димензии на чеповите е идентична. При споредба на отстапувањата во

димензиите на отворите прикажани во Табела 19, факторот на значајност на дебелина на отворите $T = 7.72$. Според тоа значајно помало е отстапувањето на отворите изработени на конвенционална технологија во однос на отворите изработени на CNC технологија. Во првиот случај, отворите изработени на столна глодалка се со отстапување од 0.00mm додека вистинското отстапување кај отворите изработени на CNC машина е 0.180mm . Средната вредност на дебелината на отворот изработен на конвенционална технологија спаѓа во НТ 1 класа на точност на обработка, а средната вредност на дебелината на отворот изработен на CNC технологија спаѓа во НТ 10 класа на точност. Значајност во средните вредности има кај должината и ширината на отворите, отворите изработени на CNC машина се со помали вистински отстапувања (0.044mm и 0.166mm) во однос на должината на отворите изработени на осцилаторна дупчалка (-0.314mm и -0.589mm).

При споредба на геометриските карактеристики на чеповите, значајно поголемо е отстапувањето на правоста на чеповите изработени на конвенционална технологија, но тоа отстапување е во дозволената толеранција од 0.1mm за таа карактеристика. Значајно отстапување има и во рамноста на страните на чеповите изработени на конвенционална технологија во однос на чеповите изработени на CNC технологија ($T = 5.39$) кое е поголемо од зададената толеранција за рамност. Отстапување од зададената толеранција има и кај паралелноста на страните и кантовите и правоаголноста на страната со потпирачот на чепот кај двете технологии подеднакво. Вредноста на отстапувањето се движи од 0.1mm до 0.26mm . Значајно поголемо отстапување кај отворите изработени на CNC технологија има во правоста во надолжна насока, а со тоа и во рамност на страната. Отстапувања има и кај паралелноста на страните на отворот со вредност од 0.147mm до 0.279mm кај двете технологии подеднакво. Исто така подеднакви отстапувања од 0.135mm до 0.309mm има во правоаголноста на страните на отворите со потпирачот. Значајно поголемо е отстапувањето на правоаголноста на страната со потпирачот кај отворите изработени со конвенционална технологија во однос на отворите изработени со CNC технологија. Коефициентите на варијација во мерките на геометриските толеранции и кај двете технологии се високи.

Видот на глодање при изработката на чеповите со чеп машина е валчесто со голем дијаметар на резниот алат, додека кај чеповите изработени на CNC машина е попречно челно глодање со мал дијаметар на резниот алат. Средните вредности на параметрите на рапавост: $R_a = 9.8\mu\text{m}$, $R_z = 71.5\mu\text{m}$ и $R_{\text{max}} = 88.3\mu\text{m}$ на површините на чеповите изработени на CNC се значајно помали од средните вредности на рапавоста на површините изработени со конвенционална технологија. Видот на глодање при изработка на отворите со столна глодалка е челно попречно со резен алат со голем дијаметар, додека кај отворите изработени на CNC машина е челно валчесто глодање со резен алат со мал дијаметар. Факторите на значајност на разликите во средните вредности за параметрите на рапавоста на површините од отворите $T = 1.80$, $T = 1.96$ и $T = 1.44$ покажуваат дека нема значајна разлика во рапавоста на површините добиени со глодање помеѓу двете технологии. Вредностите за рапавоста на чепот и отворот кај двете технологии, изразени преку R_{max} се движат од $72.7\mu\text{m}$ до $141.9\mu\text{m}$ и одговараат на рапавост на површините обработени со фино глодање според стандардот GOST 7016:2013.

Табела 18: Геометриски карактеристики на пробните парчиња од групите KILt и CILt

Р.бр	Геометриска карактеристика	d	KILt								CILt								T - Test	
			n	\bar{x}	σ	v (%)	x_{max}	x_{min}	As	HT	n	\bar{x}	σ	v (%)	x_{max}	x_{min}	As	HT		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
2	Димензии (mm)	S1	10	15	10.210	0.032	0.3	10.281	10.175	0.210	1	15	10.117	0.198	2.0	10.422	9.756	0.117	10	1.80
3		S2	50	15	48.634	0.224	0.5	48.883	48.030	-1.366	10	15	50.048	0.247	0.5	50.291	49.581	0.048	2.5	-16.41
4		S3	50	15	49.940	0.197	0.4	50.206	49.618	-0.060	4	15	49.966	0.127	0.3	50.135	49.615	-0.034	2.5	-0.44
5		S4	25	15	25.161	0.048	0.2	25.225	25.049	0.161	15	15	25.147	0.032	0.1	25.192	25.080	0.147	10	0.98
6		S5	7.5	15	7.452	0.270	3.6	7.788	7.078	-0.048	4	15	7.433	0.357	4.8	8.099	6.882	-0.067	2.5	0.17
7		S6	7.5	15	7.499	0.256	3.4	7.859	7.200	-0.001	10	15	7.597	0.262	3.5	8.003	7.117	0.097	15	-1.03
8		S7	50	15	49.915	0.203	0.4	50.152	49.590	-0.085	6	15	49.937	0.130	0.3	50.128	49.601	-0.063	4	-0.35
9	Облик, правец и положба (mm)	– страна/надолжно	0.1	15	0.046	0.014	31.2	0.070	0.018	-0.054	/	15	0.052	0.010	18.5	0.070	0.035	-0.048	/	-1.31
10		– страна/попречно	0.1	15	0.090	0.033	36.3	0.183	0.044	-0.010	/	15	0.047	0.011	23.7	0.067	0.023	-0.053	/	4.90
11		– кант	0.1	15	0.032	0.035	109.6	0.151	0.007	-0.068	/	15	0.034	0.023	67.2	0.105	0.012	-0.066	/	-0.23
12		▧ страна	0.1	15	0.100	0.045	44.8	0.176	0.045	0.000	/	15	0.036	0.011	31.0	0.057	0.024	-0.064	/	5.39
13		▧ кант	0.1	15	0.022	0.022	98.5	0.098	0.007	-0.078	/	15	0.024	0.020	86.4	0.085	0.006	-0.076	/	-0.15
14		// страна	0.1	15	0.249	0.067	27.1	0.375	0.138	0.149	/	15	0.264	0.097	36.9	0.446	0.137	0.164	/	-0.51
15		// кант	0.1	15	0.117	0.068	58.3	0.322	0.033	0.017	/	15	0.098	0.060	61.3	0.245	0.032	-0.002	/	0.82
16		⊥ страна/потпирач	0.1	15	0.243	0.093	38.1	0.390	0.063	0.143	/	15	0.366	0.210	57.3	0.772	0.034	0.266	/	-2.09
17		⊥ кант/потпирач	0.1	15	0.078	0.061	78.7	0.276	0.025	-0.022	/	15	0.056	0.053	96.1	0.234	0.017	-0.044	/	1.05
18	≡ надолжна оска	0.1	15	0.236	0.093	39.5	0.389	0.042	0.136	/	15	0.266	0.137	51.4	0.475	0.001	0.166	/	-0.69	
19	Рагавост (μm)	Ra	/	15	14.8	2.3	15.2	19.1	11.2	/	/	15	9.8	1.9	19.5	12.4	5.6	/	/	6.59
20		Rz	/	15	109.6	18.3	16.7	150.9	90.4	/	/	15	71.5	10.5	14.7	93.0	49.7	/	/	6.99
21		Rmax	/	15	141.9	26.0	18.3	190.3	107.4	/	/	15	88.3	13.6	15.4	105.8	62.1	/	/	7.07

Табела 19: Геометриски карактеристики на пробните парчиња од групите KILm и CILm

Р.бр	Геометриска карактеристика	D	KILm								CILm								T-Test
			n	\bar{x}	σ	v (%)	x_{max}	x_{min}	As	HT	n	\bar{x}	σ	v (%)	x_{max}	x_{min}	As	HT	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
2	S1	10	15	10.000	0.044	0.4	10.095	9.929	0.000	1	15	10.180	0.079	0.8	10.376	10.071	0.180	10	-7.72
3	S2	50	15	49.686	0.155	0.3	50.022	49.391	-0.314	25	15	50.044	0.098	0.2	50.209	49.845	0.044	2.5	-7.55
4	S3	50	15	49.411	0.323	0.7	49.991	48.701	-0.589	40	15	50.166	0.493	1.0	50.715	48.703	0.166	10	-4.96
5	S4	25	15	25.006	0.078	0.3	25.183	24.911	0.006	2.5	15	25.177	0.050	0.2	25.243	25.096	0.177	15	-7.17
6	S5	7.5	15	7.439	0.314	4.2	7.939	7.006	-0.061	6	15	7.432	0.187	2.5	7.718	7.126	-0.068	4	0.08
7	S6	7.5	15	7.584	0.271	3.6	7.950	7.126	0.084	6	15	7.540	0.277	3.7	7.885	6.989	0.040	2.5	0.44
8	– страна1/надолжно	0.1	15	0.039	0.015	38.1	0.071	0.018	-0.061	/	15	0.130	0.081	62.7	0.234	0.012	0.030	/	-4.26
9	– страна1/попречно	0.1	15	0.033	0.014	43.3	0.061	0.018	-0.067	/	15	0.040	0.023	57.8	0.090	0.007	-0.060	/	-0.98
10	– страна2/надолжно	0.1	15	0.038	0.013	33.8	0.062	0.015	-0.062	/	15	0.095	0.099	104.0	0.345	0.017	-0.005	/	-2.22
11	– страна2/попречно	0.1	15	0.046	0.034	74.0	0.145	0.002	-0.054	/	15	0.027	0.009	34.6	0.047	0.013	-0.073	/	2.04
12	▧ страна1	0.1	15	0.081	0.024	29.5	0.133	0.052	-0.019	/	15	0.109	0.048	44.6	0.199	0.030	0.009	/	-1.96
13	▧ страна2	0.1	15	0.092	0.040	43.8	0.229	0.040	-0.008	/	15	0.094	0.067	70.9	0.283	0.045	-0.006	/	-0.08
14	// страна1	0.1	15	0.247	0.101	40.8	0.480	0.108	0.147	/	15	0.360	0.170	47.1	0.770	0.185	0.260	/	-2.23
15	// страна2	0.1	15	0.272	0.122	44.8	0.541	0.101	0.172	/	15	0.379	0.151	39.9	0.624	0.154	0.279	/	-2.12
16	⊥ страна1/потпирач	0.1	15	0.409	0.170	41.4	0.717	0.133	0.309	/	15	0.273	0.135	49.6	0.508	0.048	0.173	/	2.44
17	⊥ страна2/потпирач	0.1	15	0.404	0.136	33.7	0.588	0.132	0.304	/	15	0.235	0.139	59.2	0.493	0.065	0.135	/	3.37
18	Ra	/	15	7.4	2.0	27.1	11.2	4.6	/	/	15	8.7	1.9	21.5	11.4	4.1	/	/	-1.80
19	Rz	/	15	56.5	14.6	25.9	79.9	32.1	/	/	15	67.3	15.5	23.0	91.6	28.9	/	/	-1.96
20	Rmax	/	15	72.7	24.6	33.9	128.2	39.1	/	/	15	84.9	21.5	25.3	118.4	35.4	/	/	-1.44

5.1.2 Геометриски карактеристики на отворен комбиниран чеп и отвор – Состав II

Резултатите од мерењата на геометриските карактеристики на чеповите на отворен комбиниран состав од чеп и отвор, изработени по конвенционална и CNC технологија се прикажани во Табела 20. Резултатите од мерењата на геометриските карактеристики на отворите од истиот состав, изработени по конвенционална и CNC технологија се прикажани во Табела 21.

Средната вредност од мерењата на дебелината на чепот на пробните парчиња изработени на конвенционална технологија изнесуваше 10.709mm, а на отворот 10.453mm. Измерените вредности се поголеми од горните гранични мери за чеп и отвор прикажани во Табела 2. Средната вредност од мерењата на дебелината на чепот на пробните парчиња изработени на CNC технологија изнесуваше 10.102mm, а на отворот 10.480mm. Измерената вредност на чепот е во интервалот меѓу горната и долната гранична мера, но измерената вредност на отворот е поголема од горната гранична мера од мерките прикажани во Табела 2. Кај составот изработен на конвенционална технологија налегнувањето е со преклоп од 0.256mm, додека кај составот изработен на CNC технологија имаме појава на зазор од 0.378mm. Овај зазор е во интервал на дозволениот од 0.600 mm одреден со избраниот тип на налегнување К/р. Анализата на вредностите покажува дека има недозволен отстапувања и кај двете технологии, а добиеното налегнување кај составот изработен со конвенционална технологија е со преклоп (-0.256 mm) додека добиеното налегнување кај составот изработен на CNC технологија е лабаво со зазор (0.378mm).

При споредба на отстапувањата во димензиите на чеповите прикажани во Табела 20, факторот на значајност на дебелина на чеповите $T = 28.28$. Според тоа има значајно помала разлика во средните вредности на дебелината на чеповите изработени на CNC технологија во однос на конвенционалната технологија. Измерените вредности на чеповите изработени на CNC машина се во зададената толеранција, а вистинското отстапување од номиналната мера изнесува 0.102mm. Според измерената вредност на дебелината на чепот припаѓа на средна класа на точност НТ 10. Вредностите за дебелината на чепот изработен на конвенционална технологија се поголеми од зададената толеранција, а вистинското отстапување од номиналната мера изнесува 0.709mm. Средната вредност на дебелината на чеповите изработени по оваа технологија припаѓа во класа на точност НТ 40 која е неприфатлива за изработка на ваков тип на споеви каде се работи со мали димензии зависни помеѓу себе. Значајно помало е отстапувањето на должината на чеповите ($T = 8.07$) изработени на CNC технологија во однос на конвенционалната. Вистинското отстапување на должината на чеповите изработени на CNC изнесуваше 0.042mm, додека кај чеповите изработени на конвенционална технологија изнесуваше -0.764mm. Значајно поголеми отстапувања има во мерите за потпирачот на чепот изработен на CNC технологија каде средните вредности имаат вистинско отстапување од номиналната мера од -0.417mm и 0.463mm. Овие отстапувања кај чепот изработен на конвенционална технологија изнесуваат -0.061mm и -0.564mm. При споредба на отстапувањата во димензиите на отворите прикажани во Табела 21, факторот на значајност на дебелина на отворите $T = 0.94$. Според тоа нема значајно отстапување на отворите изработени на конвенционална технологија во однос на отворите изработени на CNC технологија. Во првиот случај, отворите изработени на осцилаторна дупчалка се со отстапување од 0.45mm додека вистинското отстапување кај отворите изработени на CNC машина е 0.480mm. И кај двете технологии отстапувањата се поголеми од зададените горни гранични отстапувања. Средната вредност на дебелината на отворот и кај двете технологии припаѓа во НТ 40 класа на точност на обработка. Значајност во средните вредности има

кај должината на отворите. Отворите изработени на CNC машина се со помало отстапување (-0.006mm) во однос на должината на отворите изработени на осцилаторна дупчалка (-0.306mm).

При споредба на геометриските карактеристики на чеповите, има отстапување на правоста на чеповите изработени на конвенционална технологија. Рамноста е задоволителна и кај двете технологии. Значајно отстапување во кружност на чепот има на пробите изработени на CNC машина. Отстапување од зададената толеранција има и кај паралелноста на страните и кантовите и правоаголноста на страната со потпирачот на чепот кај двете технологии. Значајно помало е отстапувањето во симетричност на чеповите изработени со конвенционална технологија. Вредноста на отстапувањата во облик, правец и положба на чеповите кај двете технологии се движи од -0.029mm до 0.340mm. Отстапувања од зададената толеранција за правост и рамност на страните и кантовите на отворот има и кај двете технологии. Отстапувања има и кај паралелноста на страните на отворот и правоаголноста на страните со потпирачот. Овие отстапувања се движат од 0.029mm до 0.543 mm. Коefициентите на варијација во мерките на геометриските толеранции и кај двете технологии се високи.

Видот на глодање при изработката на чеповите со чеп машина е валчесто попречно со голем дијаметар на резниот алат, додека кај чеповите изработени на CNC машина е валчесто надолжно глодање со мал дијаметар на резниот алат. Средните вредности на параметрите на рапавост $R_a = 11.5\mu\text{m}$, $R_z = 78.4\mu\text{m}$ и $R_{\text{max}} = 93.6\mu\text{m}$ на површините на чеповите изработени на CNC се значајно помали од средните вредности на рапавоста на површините изработени со конвенционална технологија. Видот на глодање при изработка на отворите со осцилаторна дупчалка како и на CNC машина е валчесто челно глодање и дупчење со резен алат со мал дијаметар. Средните вредности на параметрите на рапавост $R_a = 8.6\mu\text{m}$, $R_z = 67.5\mu\text{m}$ и $R_{\text{max}} = 77.2\mu\text{m}$ на површините на чеповите изработени на CNC се значајно помали од средните вредности на рапавоста на површините изработени со конвенционална технологија. Вредностите за рапавоста на чепот и отворот кај двете технологии, изразени преку R_{max} се движат од 77.2 μm до 149.3 μm и одговараат на рапавост на површините обработени со фино глодање според стандардот GOST 7016:2013.

Табела 20: Геометриски карактеристики на пробните парчиња на групите KIII_t и CIII_t

Р.бр	Геометриска карактеристика	d	KIII _t								CIII _t								T - Test
			n	\bar{x}	σ	v (%)	x_{max}	x_{min}	As	HT	n	\bar{x}	σ	v (%)	x_{max}	x_{min}	As	HT	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
2	S1	10	15	10.709	0.035	0.3	10.775	10.652	0.709	40	15	10.102	0.076	0.7	10.212	9.944	0.102	10	28.28
3	S2	50	15	49.236	0.042	0.1	49.332	49.171	-0.764	40	15	50.042	0.384	0.8	50.803	49.448	0.042	2.5	-8.07
4	S3	50	15	49.934	0.173	0.3	50.167	49.514	-0.066	4	15	50.017	0.170	0.3	50.192	49.462	0.017	1	-1.34
5	S4	25	15	25.084	0.150	0.6	25.206	24.595	0.084	6	15	25.148	0.087	0.3	25.251	24.873	0.148	10	-1.42
6	S5	7.5	15	6.936	0.176	2.5	7.099	6.438	-0.564	40	15	7.963	0.069	0.9	8.100	7.841	0.463	40	-21.09
7	S6	7.5	15	7.439	0.051	0.7	7.512	7.356	-0.061	2.5	15	7.083	0.066	0.9	7.164	6.907	-0.417	25	16.44
8	S7	50	15	47.305	0.287	0.6	48.136	46.958	-2.695	160	15	49.780	0.157	0.3	49.965	49.510	-0.220	15	-29.34
9	— страна/надолжно	0.1	15	0.048	0.019	40.0	0.100	0.028	-0.052	/	15	0.060	0.019	31.1	0.108	0.040	-0.040	/	-1.74
10	— страна/попречно	0.1	15	0.124	0.031	25.3	0.187	0.059	0.024	/	15	0.051	0.022	43.7	0.100	0.029	-0.049	/	7.34
11	— кант	0.1	15	0.055	0.079	142.8	0.295	0.005	-0.045	/	15	0.024	0.016	64.2	0.076	0.010	-0.076	/	1.48
12	▧ страна	0.1	15	0.073	0.033	45.1	0.136	0.030	-0.027	/	15	0.039	0.018	44.8	0.084	0.015	-0.061	/	3.51
13	▧ кант	0.1	15	0.042	0.065	156.4	0.240	0.004	-0.058	/	15	0.021	0.015	71.8	0.072	0.010	-0.079	/	1.22
14	⊂ кант	∅10	15	10.117	0.171	1.7	10.496	9.739	0.117	/	15	10.491	0.127	1.2	10.742	10.305	0.491	/	-6.80
15	// страна	0.1	15	0.230	0.063	27.2	0.342	0.109	0.130	/	15	0.355	0.056	15.7	0.456	0.286	0.255	/	-5.78
16	// ∅ кант	0.1	15	0.213	0.083	39.1	0.360	0.105	0.113	/	15	0.146	0.087	59.9	0.301	0.035	0.046	/	2.15
17	⊥ страна/потпирач	0.1	15	0.122	0.043	35.2	0.196	0.041	0.022	/	15	0.071	0.037	51.6	0.153	0.030	-0.029	/	3.43
18	⊥ кант/потпирач	0.1	15	0.109	0.083	76.5	0.294	0.020	0.009	/	15	0.284	0.052	18.4	0.373	0.191	0.184	/	-6.87
19	≡ надолжна оска	0.1	15	0.251	0.101	40.1	0.502	0.141	0.151	/	15	0.440	0.057	13.0	0.584	0.368	0.340	/	-6.30
20	Ra	/	15	16.8	4.6	27.6	25.7	11.3	/	/	15	11.5	2.1	18.7	14.8	8.1	/	/	4.01
21	Rz	/	15	117.6	25.3	21.6	167.3	92.1	/	/	15	78.4	11.4	14.5	103.6	62.1	/	/	5.46
22	Rmax	/	15	149.3	36.6	24.5	235.6	109.4	/	/	15	93.6	14.3	15.3	117.9	72.7	/	/	5.49

Табела 21: Геометриски карактеристики на пробните парчиња од групите KИЛm и СИЛm

Р.бр	Геометриска карактеристика	D	KИЛm								СИЛm								T-Test	
			n	\bar{x}	σ	v (%)	x_{max}	x_{min}	As	HT	n	\bar{x}	σ	v (%)	x_{max}	x_{min}	As	HT		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
2	Димензии (mm)	S1	10	15	10.453	0.104	1.0	10.702	10.316	0.453	40	15	10.480	0.044	0.4	10.552	10.404	0.480	40	-0.94
3		S2	50	15	49.694	0.256	0.5	50.028	49.236	-0.306	15	15	49.994	0.071	0.1	50.121	49.884	-0.006	1	-4.38
4		S3	50	15	49.733	0.394	0.8	50.488	49.209	-0.267	15	15	49.904	0.129	0.3	50.191	49.668	-0.096	6	-1.60
5		S4	25	15	24.956	0.124	0.5	25.109	24.673	-0.044	2.5	15	25.148	0.026	0.1	25.182	25.102	0.148	10	-5.85
6		S5	7.5	15	7.207	0.239	3.3	7.624	6.883	-0.293	15	15	7.384	0.232	3.1	7.783	7.038	-0.116	10	-2.07
7		S6	7.5	15	7.344	0.227	3.1	7.586	6.887	-0.156	10	15	7.294	0.239	3.3	7.607	6.899	-0.206	15	0.59
8	Облик, правец и положба (mm)	— страна1/надолжно	0.1	15	0.124	0.040	32.2	0.219	0.050	0.024	/	15	0.075	0.064	85.9	0.154	0.005	-0.025	/	2.52
9		— страна1/попречно	0.1	15	0.088	0.050	57.5	0.176	0.017	-0.012	/	15	0.134	0.057	42.9	0.211	0.039	0.034	/	-2.33
10		— страна2/надолжно	0.1	15	0.110	0.036	32.9	0.199	0.064	0.010	/	15	0.065	0.056	85.4	0.171	0.007	-0.035	/	2.61
11		— страна2/попречно	0.1	15	0.074	0.037	50.7	0.166	0.021	-0.026	/	15	0.123	0.050	41.1	0.198	0.056	0.023	/	-3.03
12		▧ страна1	0.1	15	0.197	0.049	25.0	0.289	0.141	0.097	/	15	0.170	0.072	42.3	0.269	0.065	0.070	/	1.20
13		▧ страна2	0.1	15	0.198	0.059	30.0	0.353	0.142	0.098	/	15	0.162	0.067	41.4	0.255	0.076	0.062	/	1.55
14		∩ кант	∅ 10	15	10.069	0.155	1.5	10.217	9.615	0.069	/	15	10.211	0.064	0.6	10.330	10.116	0.211	/	-3.27
15		// страна1	0.1	15	0.331	0.088	26.6	0.486	0.189	0.231	/	15	0.341	0.062	18.1	0.439	0.253	0.241	/	-0.37
16		// страна2	0.1	15	0.444	0.131	29.6	0.781	0.263	0.344	/	15	0.318	0.059	18.4	0.391	0.184	0.218	/	3.39
17		// ∅ кант	0.1	15	0.333	0.284	85.3	1.064	0.079	0.233	/	15	0.129	0.057	44.2	0.246	0.040	0.029	/	2.72
18		⊥ страна1	0.1	15	0.420	0.216	51.4	0.805	0.159	0.320	/	15	0.300	0.132	44.1	0.476	0.101	0.200	/	1.83
19		⊥ страна2	0.1	15	0.443	0.201	45.4	0.781	0.155	0.343	/	15	0.449	0.199	44.2	0.716	0.101	0.349	/	-0.08
20		⊥ ∅ кант	0.1	15	0.643	0.303	47.2	1.094	0.242	0.543	/	15	0.328	0.228	69.5	0.747	0.059	0.228	/	3.21
21		Рапавост (µm)	Ra	/	15	13.4	3.7	27.9	22.4	8.2	/	/	15	8.6	1.3	15.4	10.8	6.0	/	/
22	Rz		/	15	82.3	24.3	29.6	136.8	52.1	/	/	15	67.5	7.3	10.8	80.0	54.8	/	/	2.25
23	Rmax		/	15	111.4	38.5	34.6	183.8	59.1	/	/	15	77.2	11.8	15.3	91.8	56.8	/	/	3.28

5.1.3 Геометриски карактеристики на овален чеп и отвор – Состав III

Резултатите од мерењата на геометриските карактеристики на чеповите на состав од овален чеп и отвор, изработени по конвенционална и CNC технологија се прикажани во Табела 22. Резултатите од мерењата на геометриските карактеристики на отворите од истиот состав, изработени по конвенционална и CNC технологија се прикажани во Табела 23.

Средната вредност од мерењата на дебелината на чепот на пробните парчиња изработени на конвенционална технологија изнесуваше 10.641mm, а на отворот 10.615mm. Измерените вредности се поголеми од горните гранични мери за чеп и отвор прикажани во Табела 2. Средната вредност од мерењата на дебелината на чепот на пробните парчиња изработени на CNC технологија изнесуваше 10.203mm, а на отворот 10.453mm. Измерената вредност на чепот е во интервалот меѓу горната и долната гранична мера, но измерената вредност на отворот е поголема од горната гранична мера од мерките прикажани во Табела 2. Кај составот изработен на конвенционална технологија добиено е налегнување со преклоп од -0.256mm, додека кај составот изработен на CNC технологија имаме појава на зазор од 0.378mm. Овај зазор е во интервал на дозволения од 0.600 mm одреден со избраниот тип на налегнување К/р. Анализата на вредностите покажува дека има недозволен отстапувања и кај двете технологии, а добиеното налегнување кај составот изработен со конвенционална технологија е неизвесно (-0.026mm), додека добиеното налегнување кај составот изработен на CNC технологија е лабаво со зазор (0.250mm).

При споредба на отстапувањата во димензиите на чеповите прикажани во Табела 22, факторот на значајност на дебелина на чеповите $T = 27.41$. Според тоа има значајно помала разлика во средните вредности на дебелината на чеповите изработени на CNC технологија во однос на конвенционалната технологија. Измерените вредности на чеповите изработени на CNC машина се во зададената толеранција, а вистинското отстапување од номиналната мера изнесува 0.203mm. Според измерената вредност на дебелината на чепот припаѓа на најдобра класа на точност НТ 1. Вредностите за дебелината на чепот изработен на конвенционална технологија се поголеми од зададената толеранција, а вистинското отстапување од номиналната мера изнесува 0.641mm. Средната вредност на дебелината на чеповите изработени по оваа технологија припаѓа во класа на точност НТ 40 која е неприфатлива за изработка на ваков тип на споеви каде се работи со мали димензии зависни помеѓу себе. Значајно помало е отстапувањето на должината на чеповите ($T = 8.14$) изработени на CNC технологија во однос на конвенционалната. Вистинското отстапување на должината на чеповите изработени на CNC изнесуваше 0.060mm, додека кај чеповите изработени на конвенционална технологија изнесуваше -0.619mm. Нема други позначајни отстапувања меѓу останатите димензии на чеповите. При споредба на отстапувањата во димензиите на отворите прикажани во Табела 21, факторот на значајност на дебелина на отворите $T = 7.27$. Според тоа има значајно отстапување на отворите изработени на конвенционална технологија во однос на отворите изработени на CNC технологија. Во првиот случај, отворите изработени на осцилаторна дупчалка се со отстапување од 0.615mm додека вистинското отстапување кај отворите изработени на CNC машина е 0.453mm. И кај двете технологии отстапувањата се поголеми од зададените горни гранични отстапувања. Средната вредност на дебелината на отворот и кај двете технологии припаѓа во НТ 40 класа на точност на обработка. Добиеени се отстапувања во димензиите на страните каде се наоѓаат отворите на пробните парчиња на местата каде што треба да

налегнат потпирачите на чепот при составување. Номиналната мера на овие димензии е 7.5 mm. Отстапувањата се присутни и кај двете технологии, но значајно поголеми се кај конвенционалната технологија со вредност од -0.399mm . Мерите покажуваат дека отворите не се наоѓаат на надолжната оска на парчето односно имаме отстапување во положба – симетричност. При споредба на геометриските карактеристики на чеповите, правоста и рамноста е задоволителна и кај двете технологии. Значајно отстапување имаме во кружност на чеповите и кај двете технологии, но отстапувањето од 0.470mm и 0.511mm од номиналната мера кај CNC технологија е значително поголемо. Еднакво отстапување во паралелност на страните на чеповите имаме и кај двете технологии. Значајно отстапување имаме во правоаголност на страните на чеповите и кај двете технологии, но отстапувањето од 0.120mm и 0.270mm од номиналната мера кај CNC технологија е значително поголемо. Коefициентите на варијација во мерките на геометриските толеранции и кај двете технологии се високи. Причина за овие варијации е разлика во точноста на изработка кај пробните парчиња при изработка на овие мерки. Според мерењата и кај двете технологии имаме отстапување во димензиите и геометријата на отворите. Обработката со глодање и дупчење на поголеми длабини дава поголеми вибрации како што е во случајот, а ова е познато и од литературни податоци (Hortobaguy и сор., 2023). Нема литературни податоци од автори кои мереле геометриски карактеристики на споевите со кои би ги споредиле нашите мерења.

Видот на глодање при изработката на чеповите со чеп машина е валчесто попречно со голем дијаметар на резниот алат, додека кај чеповите изработени на CNC машина е валчесто надолжно глодање со мал дијаметар на резниот алат. Средните вредности на параметрите на рапавост $Ra = 10.1\mu\text{m}$, $Rz = 75.3\mu\text{m}$ и $R_{\text{max}} = 91.8\mu\text{m}$ на површините на чеповите изработени на CNC се значајно помали од средните вредности на рапавоста на површините изработени со конвенционална технологија. Видот на глодање при изработка на отворите со осцилаторна дупчалка како и на CNC машина е валчесто надолжно глодање и дупчење со резен алат со мал дијаметар. Средните вредности на параметрите на рапавост $Ra = 9.6\mu\text{m}$, $Rz = 70.1\mu\text{m}$ и $R_{\text{max}} = 83.5\mu\text{m}$ на површините на чеповите изработени на CNC се значајно помали од средните вредности на рапавоста на површините изработени со конвенционална технологија. Вредностите за рапавоста на чепот и отворот кај двете технологии, изразени преку R_{max} се движат од $83.5\mu\text{m}$ до $145.7\mu\text{m}$ и одговараат на рапавост на површините обработени со фино глодање според стандардот GOST 7016:2013. Вредностите за Ra и Rz кои ги добивме на обработените површини се слични со вредностите кои ги добиле и (Nazir и Kos, 2019) со обработка на детали од дрво од бор со CNC технологија. Истите автори заклучуваат дека брзината на режење и помест може да влијае врз рапавоста и до 37%.

Табела 22: Геометриски карактеристики на пробните парчиња од групите КШЛт и СШЛт

Р.бр	Геометриска карактеристика	D	КШЛт								СШЛт								T - Test	
			n	\bar{x}	σ	v (%)	x_{max}	x_{min}	As	HT	n	\bar{x}	σ	v (%)	x_{max}	x_{min}	As	HT		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
2	Димензии (mm)	S1	10	15	10.641	0.032	0.3	10.684	10.592	0.641	40	15	10.203	0.053	0.5	10.283	10.101	0.203	1	27.41
3		S2	38	15	37.381	0.171	0.5	37.556	36.983	-0.619	40	15	38.060	0.274	0.7	38.463	37.583	0.060	4	-8.14
4		S3	5	15	4.916	0.241	4.9	5.186	4.212	-0.084	6	15	4.899	0.242	4.9	5.483	4.580	-0.101	10	0.19
5		S4	40	15	40.168	0.158	0.4	40.442	39.849	0.168	10	15	40.180	0.023	0.1	40.234	40.141	0.180	6	-0.28
6		S5	5	15	4.827	0.142	2.9	5.041	4.454	-0.173	10	15	4.868	0.360	7.4	5.176	3.703	-0.132	10	-0.41
7		S6	25	15	25.102	0.142	0.6	25.176	24.601	0.102	6	15	25.150	0.049	0.2	25.197	25.004	0.150	10	-1.25
8		S7	7.5	15	7.223	0.227	3.1	7.498	6.701	-0.277	15	15	7.499	0.392	5.2	7.926	6.908	-0.001	10	-2.36
9		S8	7.5	15	7.238	0.177	2.4	7.454	6.968	-0.262	15	15	7.449	0.400	5.4	8.108	6.957	-0.051	4	-1.86
10		S9	50	15	49.912	0.195	0.4	50.104	49.487	-0.088	4	15	49.947	0.184	0.4	50.166	49.377	-0.053	2.5	-0.51
11		Облик, правец и положба (mm)	— страна/надолжно	0.1	15	0.033	0.016	48.9	0.068	0.011	-0.067	/	15	0.031	0.016	49.5	0.069	0.012	-0.069	/
12	— страна/попречно		0.1	15	0.092	0.037	40.3	0.178	0.044	-0.008	/	15	0.071	0.036	51.1	0.155	0.027	-0.029	/	1.51
13	— кант		0.1	15	0.034	0.016	46.6	0.057	0.008	-0.066	/	15	0.030	0.015	48.7	0.063	0.011	-0.070	/	0.66
14	▧ страна		0.1	15	0.081	0.030	37.0	0.138	0.036	-0.019	/	15	0.093	0.040	43.7	0.173	0.038	-0.007	/	-0.86
15	∩ кант1		∅10	15	10.146	0.129	1.3	10.316	9.953	0.146	/	15	10.470	0.111	1.1	10.653	10.284	0.470	/	-7.37
16	∩ кант2		∅10	15	10.149	0.159	1.6	10.401	9.795	0.149	/	15	10.511	0.127	1.2	10.777	10.213	0.511	/	-6.90
17	// страна		0.1	15	0.254	0.053	21.0	0.319	0.122	0.154	/	15	0.256	0.062	24.2	0.375	0.162	0.156	/	-0.06
18	// кант		0.1	15	0.101	0.073	72.0	0.261	0.028	0.001	/	15	0.074	0.021	28.8	0.112	0.036	-0.026	/	1.38
19	⊥ страна		0.1	15	0.130	0.057	44.2	0.258	0.036	0.030	/	15	0.141	0.069	48.8	0.267	0.050	0.041	/	-0.47
20	⊥ кант		0.1	15	0.107	0.046	43.4	0.190	0.030	0.007	/	15	0.106	0.031	29.2	0.166	0.067	0.006	/	0.02
21	≡ надолжна оска		0.1	15	0.103	0.069	67.1	0.211	0.014	0.003	/	15	0.220	0.234	106.3	1.003	0.007	0.120	/	-1.86
22	≡ попречна оска		0.1	15	0.177	0.044	25.0	0.263	0.110	0.077	/	15	0.370	0.102	27.5	0.600	0.185	0.270	/	-6.74
23	Равност (μm)	Ra (μm)	/	15	16.4	3.2	19.2	20.6	11.6	/	/	15	10.1	4.0	39.5	23.0	6.7	/	/	4.77
24		Rz (μm)	/	15	118.0	21.5	18.2	151.4	88.8	/	/	15	75.3	22.6	30.1	144.9	52.9	/	/	5.30
25		Rmax (μm)	/	15	145.7	30.4	20.9	193.9	103.5	/	/	15	91.8	30.1	32.8	182.5	58.9	/	/	4.88

Табела 23: Геометриски карактеристики на пробните парчиња од групите КИИЛm и СИИЛm

Р. бр	Геометриска карактеристика	d	КИИЛm								СИИЛm								T-Test	
			n	\bar{x}	σ	v (%)	x_{max}	x_{min}	As	HT	n	\bar{x}	σ	v (%)	x_{max}	x_{min}	As	HT		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Димензии (mm)	S1	10	15	10.615	0.072	0.7	10.759	10.488	0.615	40	15	10.453	0.047	0.5	10.533	10.358	0.453	40	7.27	
	S2	40	15	40.196	0.068	0.2	40.324	40.074	0.196	15	15	40.230	0.028	0.1	40.265	40.173	0.230	15	-1.78	
	S3	25	15	25.047	0.123	0.5	25.160	24.686	0.047	2.5	15	25.126	0.110	0.4	25.221	24.747	0.126	10	-1.87	
	S4	7.5	15	7.331	0.052	0.7	7.409	7.206	-0.169	4	15	7.551	0.123	1.6	7.675	7.187	0.051	4	-6.37	
	S5	7.5	15	7.101	0.117	1.7	7.231	6.748	-0.399	25	15	7.123	0.046	0.6	7.195	7.026	-0.377	4	-0.67	
	— страна1/надолжно	0.1	15	0.054	0.030	55.9	0.110	0.023	-0.046	/	15	0.039	0.016	42.5	0.076	0.013	-0.061	/	1.74	
Облик, правец и положба (mm)	— страна1/попречно	0.1	15	0.044	0.036	82.9	0.154	0.011	-0.056	/	15	0.121	0.029	23.6	0.176	0.068	0.021	/	-6.49	
	— страна2/надолжно	0.1	15	0.071	0.029	41.0	0.128	0.027	-0.029	/	15	0.031	0.014	45.8	0.071	0.014	-0.069	/	4.81	
	— страна2/попречно	0.1	15	0.043	0.030	71.2	0.133	0.002	-0.057	/	15	0.048	0.018	36.5	0.077	0.016	-0.052	/	-0.59	
	— ϕ кант1	0.1	15	0.059	0.019	32.3	0.100	0.030	-0.041	/	15	0.091	0.053	58.5	0.257	0.030	-0.009	/	-2.18	
	— ϕ кант2	0.1	15	0.052	0.027	52.7	0.134	0.013	-0.048	/	15	0.064	0.027	42.9	0.134	0.028	-0.036	/	-1.20	
	\sphericalangle страна1	0.1	15	0.139	0.032	22.8	0.181	0.077	0.039	/	15	0.166	0.016	9.8	0.197	0.131	0.066	/	-2.94	
	\sphericalangle страна2	0.1	15	0.157	0.052	33.4	0.310	0.086	0.057	/	15	0.076	0.017	22.8	0.114	0.041	-0.024	/	5.67	
	\frown кант1	$\phi 10$	15	9.980	0.065	0.7	10.073	9.843	-0.020	/	15	10.214	0.113	1.1	10.360	9.888	0.214	/	-6.98	
	\frown кант2	$\phi 10$	15	10.076	0.057	0.6	10.142	9.950	0.076	/	15	10.257	0.045	0.4	10.327	10.176	0.257	/	-9.64	
	// страна1	0.1	15	0.466	0.082	17.7	0.591	0.304	0.366	/	15	0.233	0.044	18.7	0.336	0.170	0.133	/	9.67	
	// страна2	0.1	15	0.469	0.083	17.6	0.585	0.334	0.369	/	15	0.317	0.075	23.8	0.480	0.210	0.217	/	5.27	
	// ϕ кант1	0.1	15	0.407	0.115	28.2	0.593	0.217	0.307	/	15	0.136	0.079	58.1	0.355	0.047	0.036	/	7.55	
	// ϕ кант2	0.1	15	0.138	0.081	58.4	0.295	0.048	0.038	/	15	0.090	0.030	33.0	0.145	0.042	-0.010	/	2.19	
	\perp страна1	0.1	15	0.283	0.101	35.8	0.517	0.160	0.183	/	15	0.211	0.149	70.9	0.507	0.042	0.111	/	1.55	
	\perp страна2	0.1	15	0.279	0.110	39.4	0.504	0.142	0.179	/	15	0.329	0.138	42.0	0.629	0.164	0.229	/	-1.09	
	\perp ϕ кант1	0.1	15	0.486	0.153	31.6	0.793	0.233	0.386	/	15	0.265	0.122	46.1	0.516	0.109	0.165	/	4.35	
	\perp ϕ кант2	0.1	15	0.276	0.130	47.2	0.596	0.130	0.176	/	15	0.224	0.157	70.0	0.603	0.072	0.124	/	1.00	
	Рававост (μm)	Ra (μm)	/	15	12.6	4.1	32.2	24.1	8.7	/	/	15	9.6	1.8	19.1	14.5	6.9	/	/	2.58
		Rz (μm)	/	15	81.9	17.6	21.5	121.8	60.4	/	/	15	70.1	12.8	18.2	110.6	59.0	/	/	2.10
		Rmax (μm)	/	15	103.4	25.1	24.3	151.4	66.5	/	/	15	83.5	18.0	21.6	138.1	63.1	/	/	2.49

5.2 Резултати од мерење на механички карактеристики на составите

5.2.1 Јакост на свивање на составите

Резултатите од мерењето на јакоста на свивање на составите е прикажана во Табела 24. Средната вредност на силата на кршење на правоаголен отворен состав од чеп и отвор изработен на конвенционална технологија изнесуваше $F_{sv}=10577N$. Средната вредност на силата на кршење на правоаголен отворен состав од чеп и отвор изработен на CNC технологија изнесуваше $F_{sv}=8735N$. Разликата меѓу средните вредности е значајна со фактор $T = 3.63$. Апсолутната разлика во средните вредности е $1842N$ односно составите од отворен правоаголен чеп и отвор изработени на конвенционална технологија имаат за 17.4% поголема сила на кршење од составите изработени на CNC технологија. Разликата во поголемата јакост на составите изработени на конвенционална технологија се должи на налегнувањето со преклоп кое изнесуваше $-0.200mm$, додека налегнувањето кај составите изработени на CNC технологија беше неизвесно со мера $0.063mm$.

Кај отворениот комбиниран состав од чеп и отвор изработен на конвенционална технологија, средната вредност од силите на кршење при свивање изнесуваше $F_{sv}=8789N$. кај истиот вид на состав изработен на CNC технологија средната вредност на силата на кршење изнесуваше $F_{sv}=8006 N$. разликата меѓу средните вредности е значајна со фактор $T=2.96$. Апсолутната разлика во средните вредности е $783N$ односно составите од отворен комбиниран чеп и отвор изработени на конвенционална технологија имаат за 9% поголема сила на кршење од составите изработени на CNC технологија. Разликата во поголемата јакост на составите изработени на конвенционална технологија се должи на налегнувањето со преклоп кое изнесуваше $-0.256mm$, додека налегнувањето кај составите изработени на CNC технологија беше лабаво со зазор од $0.378mm$.

Средната вредност на силата на кршење на составот од овален чеп и отвор изработен на конвенционална технологија изнесуваше $F_{sv}=6856N$. Средната вредност на силата на кршење на правоаголен отворен состав од чеп и отвор изработен на CNC технологија изнесуваше $F_{sv}=6548N$. Разликата меѓу средните вредности не е значајна со фактор $T=1.17$ и може да се каже дека јакоста на кршење на составите изработени меѓу двете технологии е идентична. Еднаквоста во силите на кршење се објаснува со појавата на зазор кој кај конвенционалната изнесуваше $0.026 mm$, а кај CNC технологијата изнесуваше $0.250 mm$. Добиено е лабаво налегнување што резултира со намалена јакост на составот. Намалувањето на силата на кршење каде што има зазор во составот може да се објасни со нееднаква дебелина на слојот на лепило и собирањето на лепилото при сушење во составот.

Кршењето на составите беше вообичаено на начин карактеристичен за видот на составот и испитувањето. Добиените сили на кршење на составите спаѓаат во граници на резултатите кои се наведени во литературата (Smardzewski, 2016). Силите на кршење се слични и кај авторите кои работеле со различни видови на состави изработени со преклоп (Gruevski, 2007; Oktaee и соp., 2014; Eckelman и соp., 2004).

Табела 24: Сили на кршење на составите при свивање – F_{sv} (N)

Р.бр.	Бр. на проба	Состав - I			Состав - II			Состав - III		
		КI (N)	СИ (N)	Т-тест	КII (N)	СИ (N)	Т-тест	КIII (N)	СИ (N)	Т-тест
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	1	10173	7987	3.63	8881	9519	2.96	6533	6576	1.17
3	2	10769	6901		7752	8684		6294	7111	
4	3	11107	9115		8453	6873		6555	5352	
5	4	9347	9949		9967	7894		6326	6428	
6	5	12491	7905		9418	7865		6222	6044	
7	6	10908	11252		8892	8502		7654	7198	
8	7	8869	8153		9247	7734		6700	4772	
9	8	9971	7647		8900	7044		6626	6355	
10	9	12378	10609		8786	7921		6031	6289	
11	10	11732	7481		8443	9143		6703	6884	
12	11	9877	7236		9028	7200		8182	6848	
13	12	12782	7851		9699	7640		7310	6520	
14	13	7841	10698		8400	8190		7670	6665	
15	14	9696	9553		7451	8650		6473	7776	
16	15	10712	8694		8519	7229		7554	7407	
17	n	15	15		15	15		15	15	
18	\bar{x}	10577	8735		8789	8006		6856	6548	
19	σ	1395	1382		667	777		648	764	
20	v (%)	13	16		8	10		9	12	
21	x_{max}	12782	11252		9967	9519		8182	7776	
22	x_{min}	7841	6901		7451	6873		6031	4772	

5.2.2 Јакост на истегнување на составите

Резултатите од мерењето на јакоста на истегнување на составите е прикажана во Табела 25. Средната вредност на силата на кршење на правоаголен отворен состав од чеп и отвор изработен на конвенционална технологија изнесуваше $F_w=18860N$. Средната вредност на силата на кршење на правоаголен отворен состав од чеп и отвор изработен на CNC технологија изнесуваше $F_w=20141N$. Разликата меѓу средните вредности не е значајна со фактор $T = 0.80$. Резултатите покажуваат дека силата на кршење при истегнување на составите изработни CNC технологија е еднаква со силата на составите изработени на конвенционална технологија и покрај различниот тип на налегнување (цврсто и неизвесно) во составот.

Кај отворениот комбиниран состав од чеп и отвор изработен на конвенционална технологија, средната вредност од силите на кршење при истегнување изнесуваше $F_w=21175N$. Кај истиот вид на состав изработен на CNC технологија средната вредност на силата на кршење изнесуваше $F_w=19812N$. Факторот на значајност меѓу средните вредности $T = 1.12$ покажува дека разликата не е статистички значајна. И кај овај вид на состав имаме еднаква сила на кршење и покрај различниот тип на налегнување (цврсто и лабаво) во составите.

Средната вредност на силата на кршење на составот од овален чеп и отвор изработен на конвенционална технологија изнесуваше $F_w =16119N$. Средната вредност

на силата на кршење на составот изработен на CNC технологија изнесуваше $F_w=16976N$. Разликата меѓу средните вредности не е значајна со фактор $T = 1.22$ и може да се каже дека јакоста на кршење на составите изработени меѓу двете технологии е идентична. Налегнувањето на овие состави и кај двете технологии беше лабаво.

Табела 25: Сили на кршење на составите при истегнување – F_w (N)

Р.бр.	Бр. на проба	Состав - I			Состав - II			Состав - III		
		КI (N)	СИ (N)	Т-тест	КII (N)	СИ (N)	Т-тест	КIII (N)	СИ (N)	Т-тест
1		2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	1	13650	20505	0.80	18980	21514	1.12	17066	19737	1.22
3	2	22440	18720		21096	13890		16892	19305	
4	3	20287	14848		24174	24374		11999	18167	
5	4	23739	22276		22509	15633		15509	17873	
6	5	20483	27520		18254	17124		15733	16722	
7	6	22440	21562		23889	13948		16020	17218	
8	7	18348	24349		21030	26929		16153	16654	
9	8	15311	18409		22401	20413		17972	17552	
10	9	14004	11805		17633	18527		18733	17986	
11	10	15913	23294		21409	24498		17398	13655	
12	11	14994	24088		23820	20124		18611	18368	
13	12	20748	20063		19729	18216		10665	14645	
14	13	22821	14396		18302	23695		14807	12858	
15	14	/	/		22066	18485		18112	16620	
16	15	/	/		22339	/		/	17280	
17	n	13	13	15	14	14	15			
18	\bar{x}	18860	20141	21175	19812	16119	16976			
19	σ	3658	4471	2157	4038	2362	1935			
20	v (%)	19	22	10	20	15	11			
21	x_{max}	23739	27520	24174	26929	18733	19737			
22	x_{min}	13650	11805	17633	13890	10665	12858			

Кршењето на составите беше вообичаено на начин карактеристичен за видот на составот и испитувањето. Кај некои состави беше забележано кршење на дрвото на местото каде е прицврстена стезната направа и немаше можност да се измери силата на кршење. Овие проби не беа земени во предвид при статистичката обработка на мерењата. Коефициентите на варијација при мерењата се движат од 11% до 22% и сметаме дека се прифатливи.

Резултатите покажуваат дека нема разлика во силите на кршење при истегнување меѓу составите изработени на конвенционална технологија и составите изработени на CNC технологија. Исто така резултатите покажуваат и дека еднаква е силата на кршење кај составите без разлика на типот на налегнување. Логично е очекувањето дека составите со преклоп би имале и повисока сила на кршење при извлекување како што имаа и при испитувањето при свивање. При тестот на свивање имаме разделување на силата на делување на други две сили чија насока е колинеарна со оската на парчињата на составот (аголен состав). Тестот за испитување на јакоста на извлекување се изведува

на средни аголни состави и карактеристично е што силата на делување е колинеарна со оската на составот. Тука силата на делување е колинеарна и со лепената површина. Досега нема литературни податоци според кои може да се објасни влијанието на типот на налегнување врз јакоста на извлекување на составите. Сите испитувања кои се направени до сега се во насока на влијание на налегнувањето врз силата на свивање и крутоста на составите. Впрочем, малку испитувања се направени за да се утврди влијанието на насоката на дрвните влакна во слојот на лепење на составите. Податокот дека типот на налегнување не влијае врз јакоста на извлекување може да се објасни со истражувањето од (Wilczynski и Warmbier, 2003) според кое на силата на извлекување на составите значајно поголемо влијание има должината на чепот отколку дебелината, а на силата на свивање значајно повеќе влијае дебелината на чепот отколку должината. Типот на налегнување, преклопот или зазорот во составот се параметри одредени од дебелината на чепот и отворот што според овај податок влијанието е врз јакоста на свивање, а мало при јакоста на истегнување. За да се определи влијанието на типот и вредноста на налегнувањето врз силата на истегнување на составите треба да се спроведат дополнителни истражувања. Ова влијание е потврдено и од (Zhang и Hu, 2021). Според фактите, најверојатно налегнувањето односно големината на преклопот или зазорот има ограничено влијание врз јакоста на извлекување на составот.

5.3 Влијание на геометриските карактеристики и рапавоста врз механичките карактеристики на составите

Текстурата на обработените површини ги создава основните предуслови за успешност при реализација на динамичките процеси во составот. Тука влијанието на трибулошките појави е од фундаментално значење. Во такви околности, геометријата на контактот помеѓу спрегнатите површини, поточно големината на контактот силно зависи од текстурата на површините прикажана со профилот на рапавост. За испитување на стохастичката зависност меѓу рапавоста и механичките карактеристики на составите како две променливи големини, применета е регресиона анализа. За подобро согледување на зависностите на овие променливи, тие се презентирани во график за секој состав посебно. Како параметар за изразување на рапавоста при анализата е земен - Ra. Во графиците е прикажано влијанието на рапавоста на чепот - Ra(t) и влијанието на рапавоста на отворот - Ra(m). Зависноста на променливите во графикот е претставена со праволиниска корелација.

На График 1 е прикажано влијанието на рапавоста на силата на кршење при свивање на отворен правоаголен состав од чеп и отвор изработен на конвенционална технологија. Факторот на корелациона зависност на рапавоста на чепот $R=0.0227$ и отворот $R=0.1137$ покажуваат дека зависност нема или е премногу мала. На График 2 е прикажано влијанието на рапавоста на силата на кршење при свивање на правоаголен состав од чеп и отвор изработен на CNC технологија. Факторот на корелациона зависност на рапавоста на чепот $R=0.2587$ и отворот $R=0.0114$ покажуваат дека зависност е мала и незначителна.

Влијанието на рапавоста на силата на кршење при свивање на отворен комбиниран состав од чеп и отвор изработен на конвенционална технологија е прикажано во График 3. Факторот на корелациона зависност на рапавоста на чепот $R=0.1541$ и отворот $R=0.1756$ покажуваат дека зависност нема или е премногу мала. На График 4 е прикажано влијанието на рапавоста на силата на кршење при свивање на комбиниран состав од чеп и отвор изработен на CNC технологија. Факторот на корелациона

зависност на чепот $R=0.1585$ и отворот $R=0.0003$ покажуваат дека нема зависност меѓу рапавоста и силата на кршење.

На График 5 е прикажано влијанието на рапавоста на силата на кршење при свивање на состав од овален чеп и отвор изработен на конвенционална технологија. Факторот на корелациона зависност на рапавоста на чепот $R=0.0147$ и отворот $R=0.0546$ покажуваат дека нема зависност. На График 6 е прикажано влијанието на рапавоста на силата на кршење при свивање на состав од овален чеп и отвор изработен на CNC технологија. Факторот на корелациона зависност на чепот $R=0.0254$ и отворот $R=0.1003$ покажуваат дека нема зависност или е незначителна меѓу рапавоста на површините и силата на кршење при свивање.

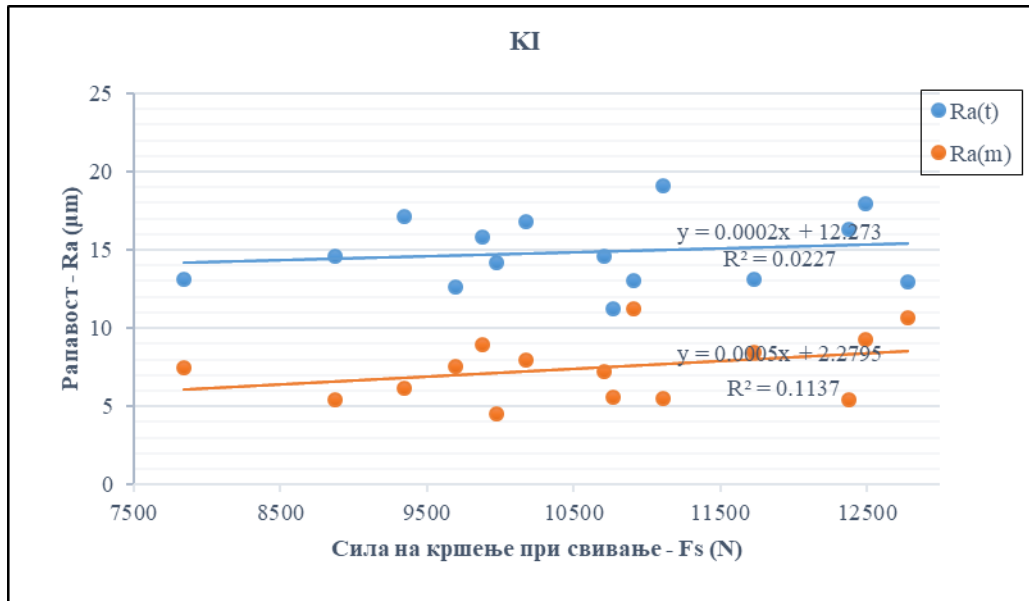


График 1: Влијание на рапавоста врз силата на кршење при свивање кај отворен правоаголен чеп и отвор изработен на конвенционална технологија

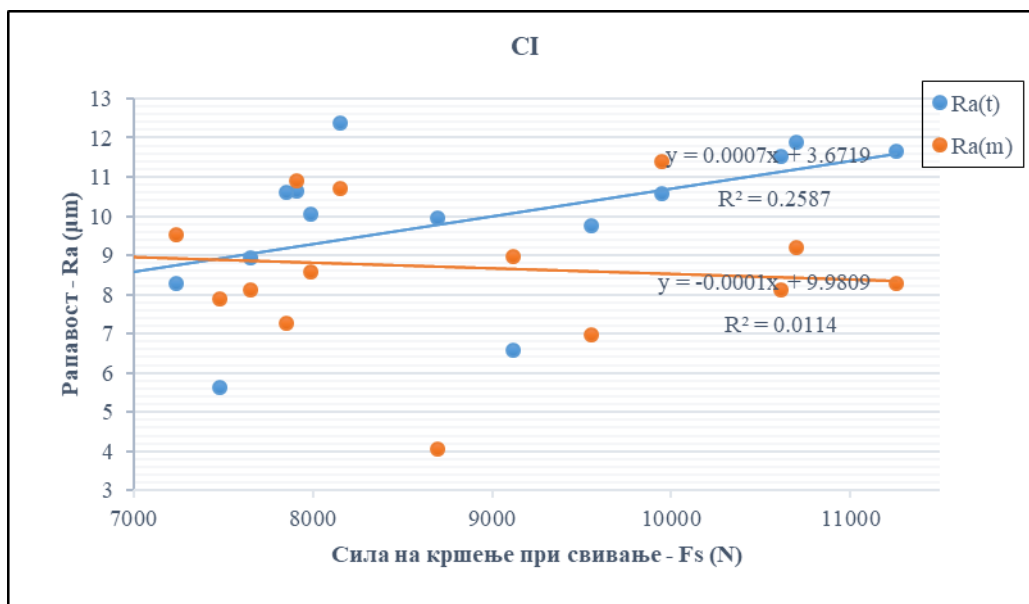


График 2: Влијание на рапавоста врз силата на кршење при свивање кај отворен правоаголен чеп и отвор изработен на CNC технологија

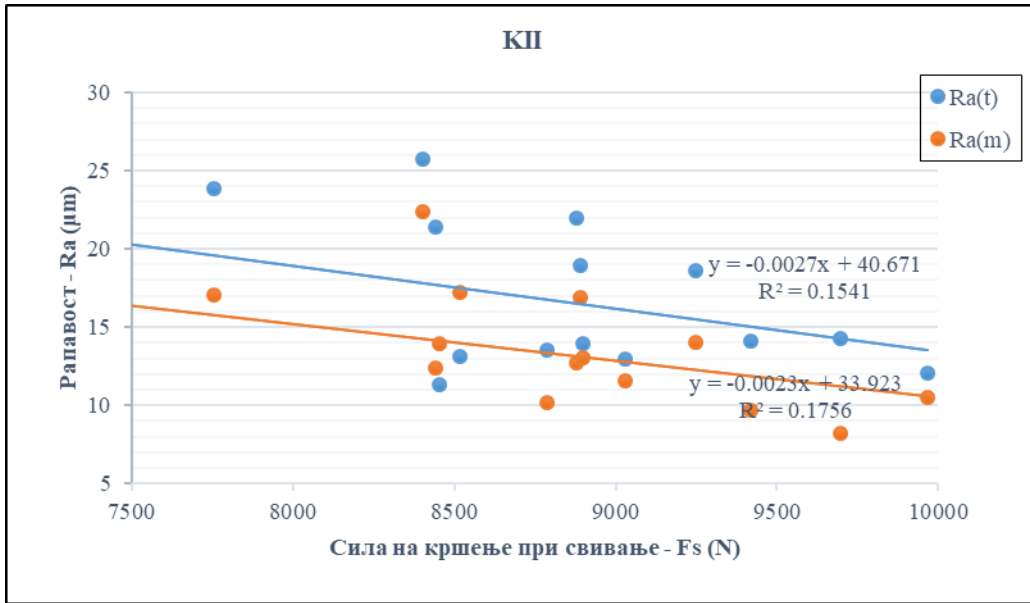


График 3: Влијание на рапавоста врз силата на кршење при свивање кај отворен комбиниран чеп и отвор изработен на конвенционална технологија

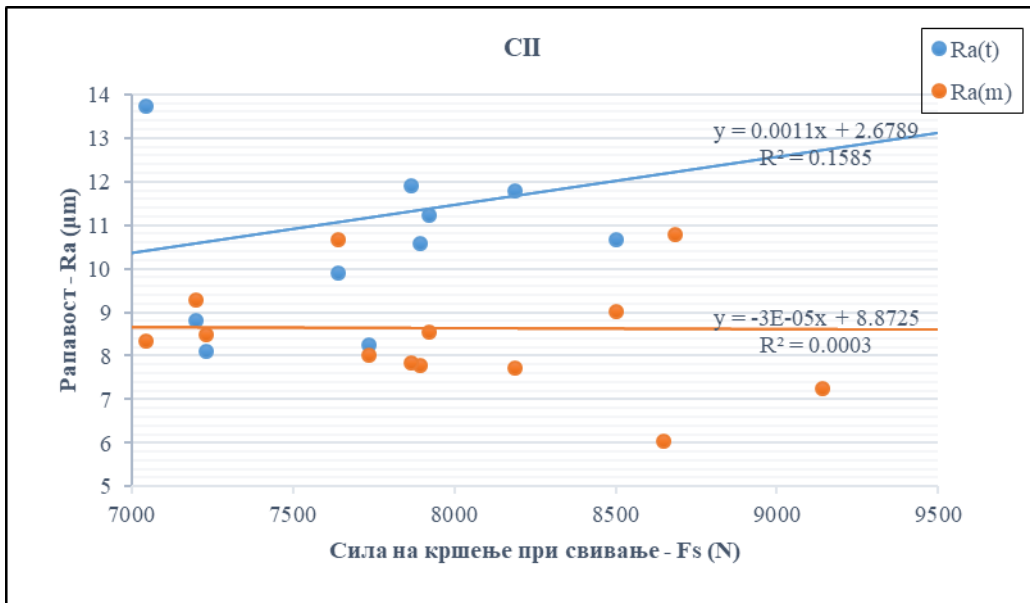


График 4: Влијание на рапавоста врз силата на кршење при свивање кај отворен комбиниран чеп и отвор изработен на CNC технологија

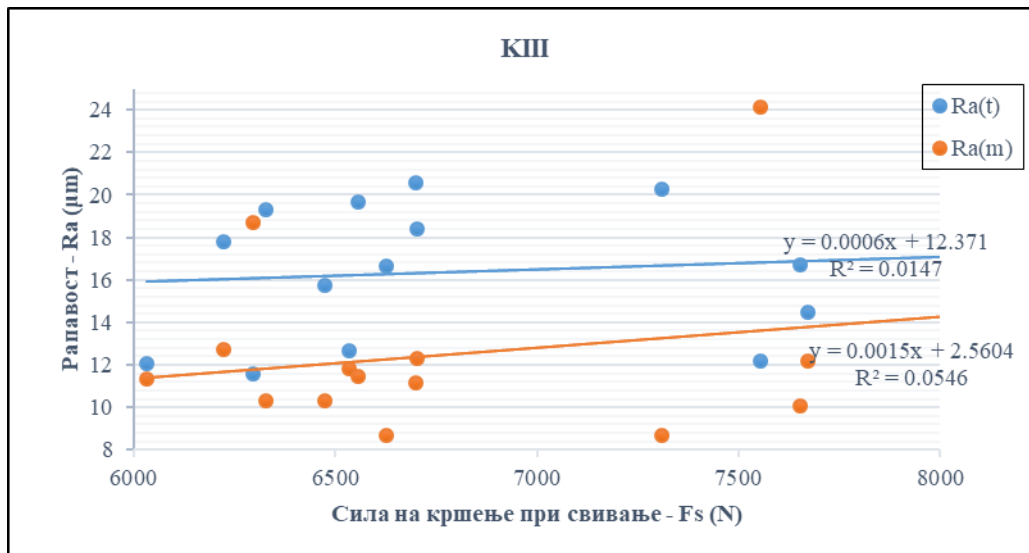


График 5: Влијание на рапавоста врз силата на кршење при свивање кај овален чеп и отвор изработен на конвенционална технологија

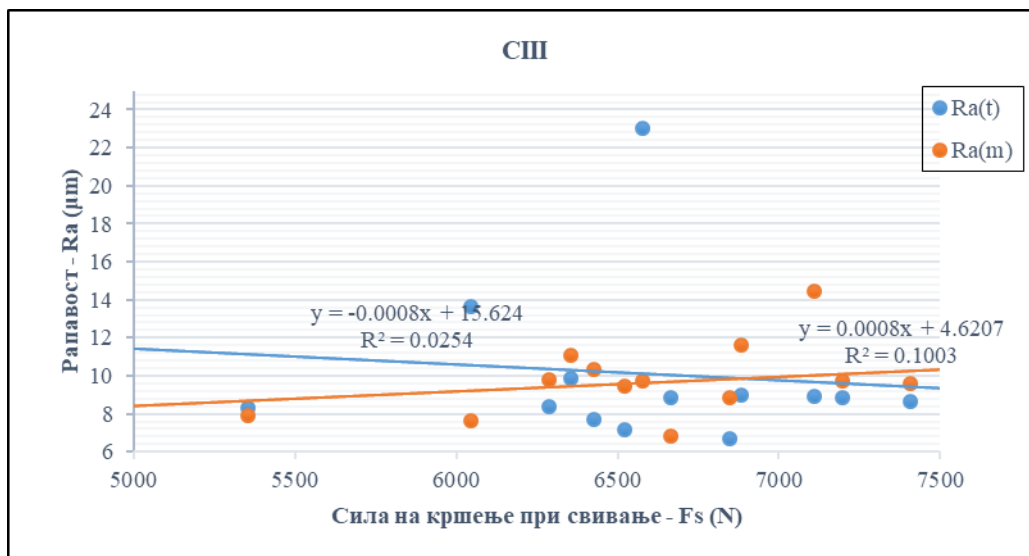


График 6: Влијание на рапавоста врз силата на кршење при свивање кај овален чеп и отвор изработен на CNC технологија

Влијанието на рапавоста на силата на кршење при истегнување на отворен правоаголен состав од чеп и отвор изработен на конвенционална технологија е прикажано во График 7. Факторот на корелациона зависност на рапавоста на чепот $R=0.0425$ и отворот $R=0.0282$ покажуваат дека нема зависност. На График 8 е прикажано влијанието на рапавоста на силата на кршење при истегнување на истиот состав изработен на CNC технологија. Факторот на корелациона зависност на чепот $R=0.1708$ и отворот $R=0.0014$ покажуваат дека зависноста меѓу силата на кршење и рапавоста е мала и незначителна.

На График 9 е прикажано влијанието на рапавоста на силата на кршење при истегнување на комбиниран состав од чеп и отвор изработен на конвенционална технологија. Факторот на корелациона зависност на рапавоста на чепот $R=0.1257$ и отворот $R=0.0058$ покажуваат дека зависност нема или е премногу мала. На График 10 е прикажано влијанието на рапавоста на силата на кршење при истегнување на комбиниран состав од чеп и отвор изработен на CNC технологија. Факторот на

корелациона зависност на рапавоста на чепот $R=0.0056$ и отворот $R=0.0523$ покажуваат дека нема зависност.

На График 11 е прикажано влијанието на рапавоста на силата на кршење при истегнување на состав од овален чеп и отвор изработен на конвенционална технологија. Факторот на корелациона зависност на рапавоста на чепот $R=0.2425$ и отворот $R=0.0814$ покажуваат дека нема зависност или е мала. На График 12 е прикажано влијанието на рапавоста на силата на кршење при истегнување на истиот состав изработен на CNC технологија. Факторот на корелациона зависност на чепот $R=0.1027$ и отворот $R=0.1082$ покажуваат дека нема зависност или е незначителна меѓу рапавоста на површините и силата на кршење при истегнување.

Од спроведената анализа за проверка на зависноста меѓу рапавоста на површините и јакоста на составите, највисок фактор на корелација беше $R=0.2587$. вредноста покажува дека постои некое влијание но тоа нема добра дефинирана закономерност. Во најчест број на случаите факторот беше близок до 0 и затоа може да сметаме дека рапавоста на површините од чепот и отворот нема влијание врз механичките карактеристики на составот. Важно е тоа дека во сите случаи површините обработени со CNC технологија имаа значајно помала рапавост во однос на површините обработени со конвенционална технологија. Анализата покажува и дека рапавоста нема влијание врз механичките карактеристики ниту кај составите каде што имаме налегнување со преклоп. Во овие случаи слепувањето е со поголема сила и поради тоа контактните трибулошки површини се поголеми. Сепак влијанието врз јакостите е мало и занемарливо кај сите видови на состави. Досега нема литературни податоци за рапавост на површините во составите и како тие влијаат на лепењето, а со тоа и на механичките карактеристики. Во литературата и во стандардите кои се користат за испитување на јакоста на лепење, површините се со иста, паралелна насока на дрвните влакна. Во нашите испитувања имаме аголни и средни состави кај кои лепењето на површините е со насока на дрвните влакна под прав агол. За овај вид на лепење на површини авторите (Кауа и Karaguler, 2024) истакнуваат дека јакостите се мали, а лепењето е комплицирано. Можеби и затоа немаме значајно влијание на рапавоста врз јакостите на составите.

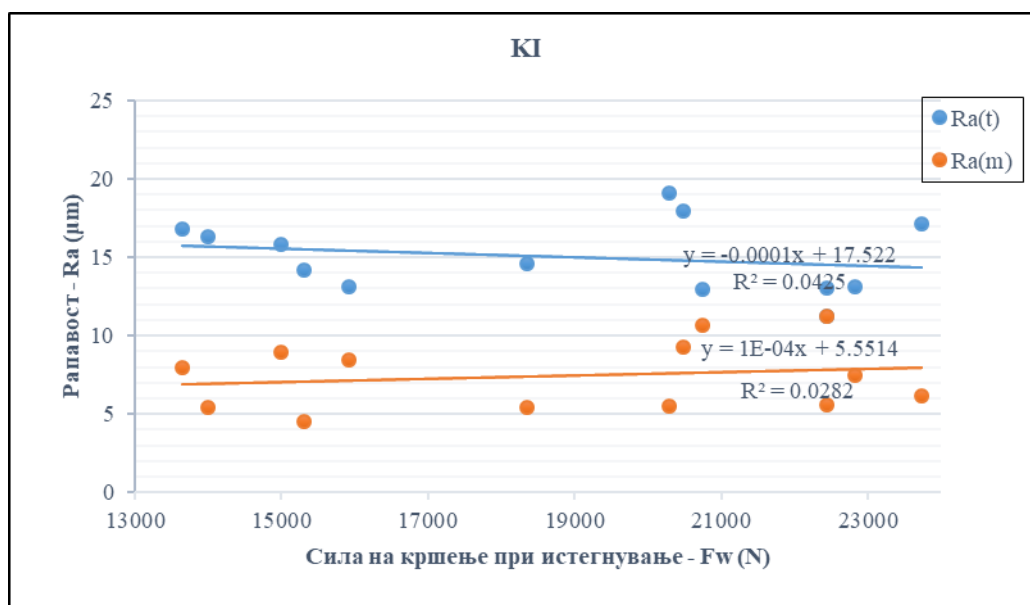


График 7: Влијание на рапавоста врз силата на кршење при истегнување кај отворен правоаголен чеп и отвор изработен на конвенционална технологија

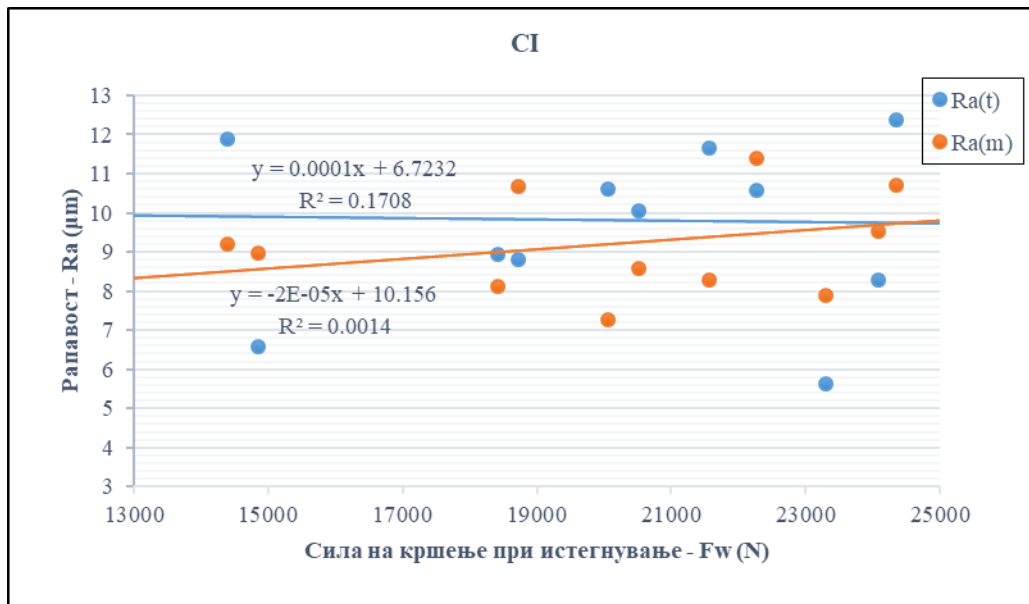


График 8: Влијание на рапавоста врз силата на кршење при истегнување кај отворен правоаголен чеп и отвор изработен на CNC технологија

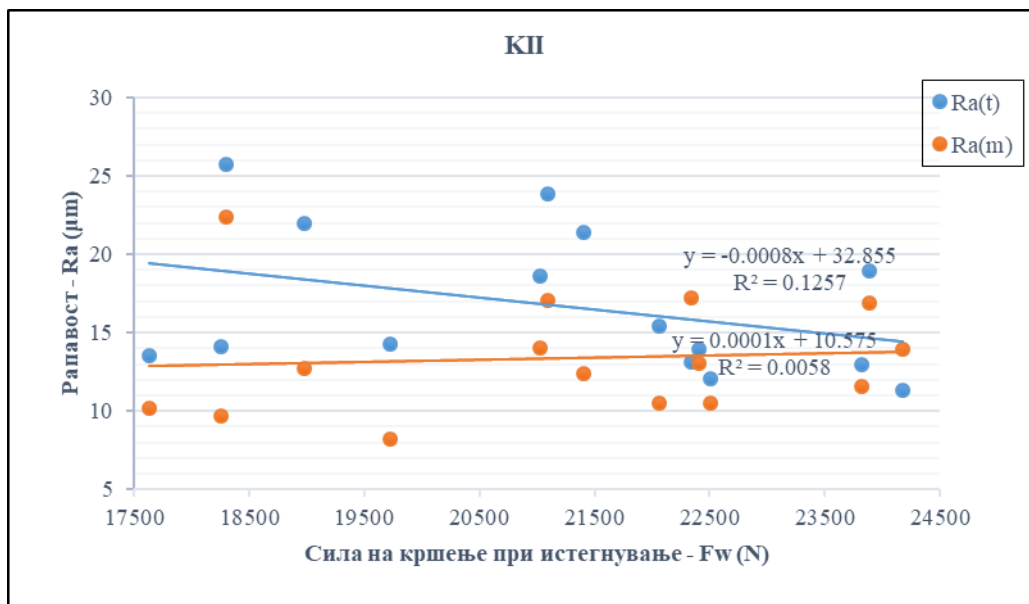


График 9: Влијание на рапавоста врз силата на кршење при истегнување кај отворен комбиниран чеп и отвор изработен на конвенционална технологија

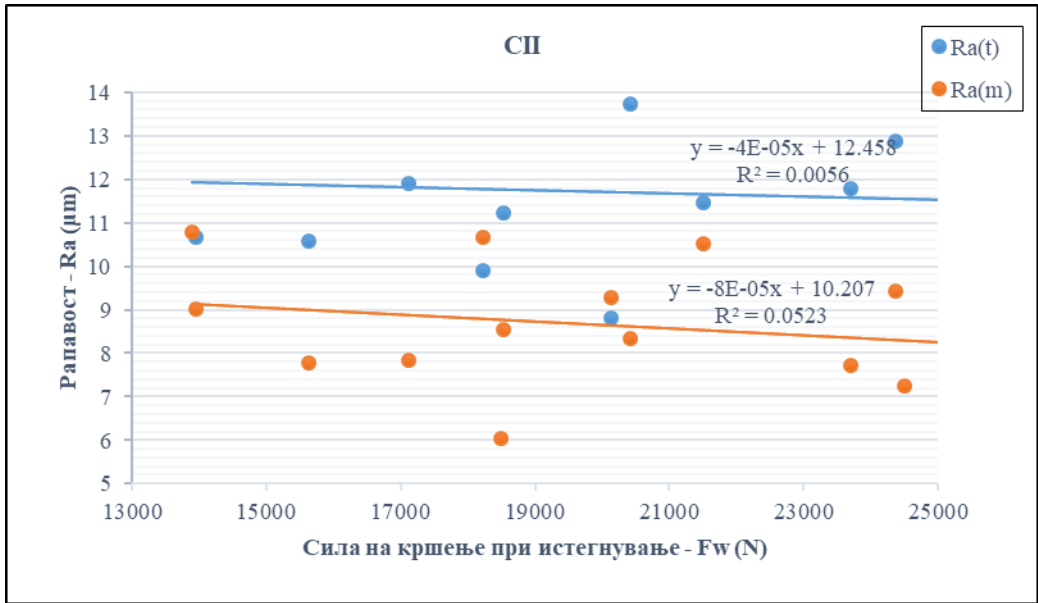


График 10: Влијание на рапавоста врз силата на кршење при истегнување кај отворен комбиниран чеп и отвор изработен на CNC технологија

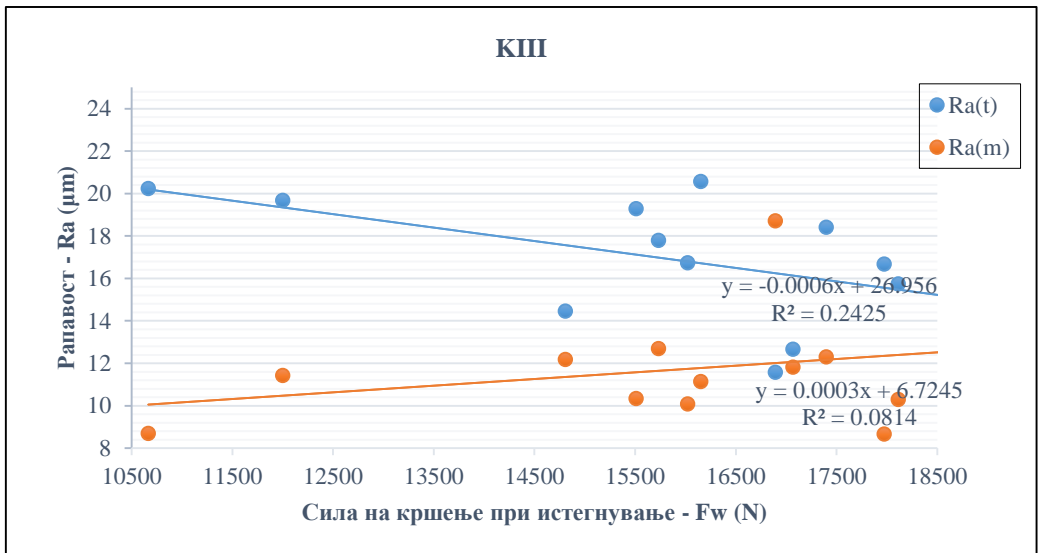


График 11: Влијание на рапавоста врз силата на кршење при истегнување кај овален чеп и отвор изработен на конвенционална технологија

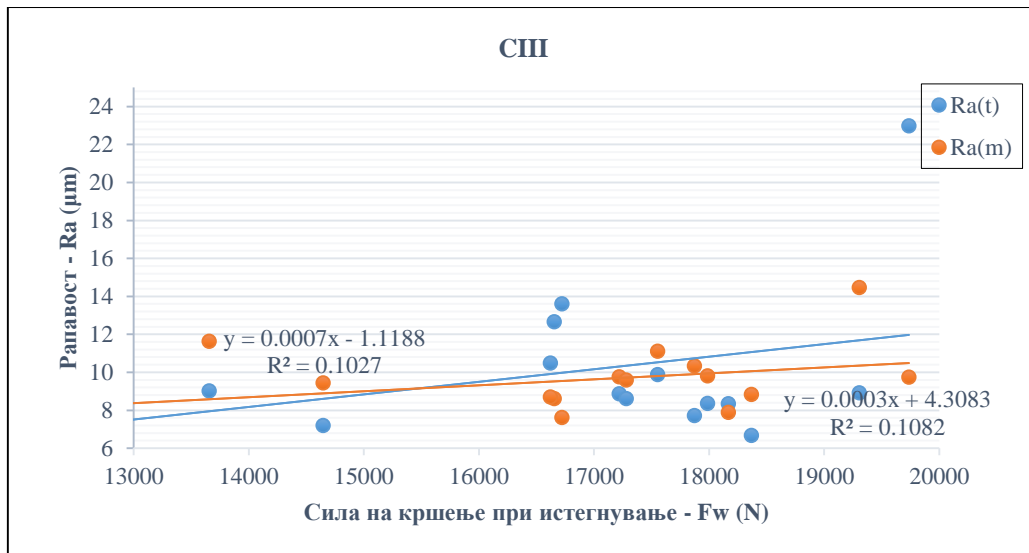


График 12: Влијание на рапавоста врз силата на кршење при истегнување кај овален чеп и отвор изработен на CNC технологија

6 ЗАКЛУЧОК

Врз основа на спроведеното истражување и анализа на влијанието на геометриските карактеристики на некои состави изработени на CNC технологија врз јакостите на конструкциите на столови од дрво може да се донесат следните заклучоци:

1. При изработка на отворен правоаголен состав од чеп и отвор изработен на CNC технологија, средната вредност на дебелината на чепот изнесува 10.117mm, а на отворот 10.180mm. Добиено е неизвесно налегнување со зазор од 0,063mm. Дебелината на чепот како и отворот кај истиот состав се во НТ 10 класа на точност на обработка. Отстапувања од номиналната мера кај геометриските карактеристики на составот имаме во паралелност, правоаголност и симетричност на страните и потпирачот на чеп, со вредност од -0.76mm до 0.279mm. Добиена рапавост на површината при изработка на чепот е $R_a = 9.8\mu\text{m}$, $R_z = 71.5\mu\text{m}$ и $R_{\text{max}} = 88.3\mu\text{m}$, а кај отворот $R_a = 8.8\mu\text{m}$, $R_z = 67.3\mu\text{m}$ и $R_{\text{max}} = 84.9\mu\text{m}$.
2. При изработка на отворен комбиниран состав од чеп и отвор изработен на CNC технологија, средната вредност на дебелината на чепот изнесува 10.102mm, а на отворот 10.480mm. Добиено е лабаво налегнување со зазор од 0,378mm. Дебелината на чепот кај истиот состав е во НТ 10, а на отворот НТ 40 класа на точност на обработка. Отстапувања од номиналната мера кај геометриските карактеристики на составот имаме во паралелност, правоаголност и симетричност на страните и потпирачот на чеп, со вредност од -0.029 mm до 0.491mm. Добиена рапавост на површината при изработка на чепот е $R_a = 11.5\mu\text{m}$, $R_z = 78.4\mu\text{m}$ и $R_{\text{max}} = 93.6\mu\text{m}$, а кај отворот $R_a = 8.6\mu\text{m}$, $R_z = 67.5\mu\text{m}$ и $R_{\text{max}} = 77.2\mu\text{m}$.
3. При изработка на состав од овален чеп и отвор изработен на CNC технологија, средната вредност на дебелината на чепот изнесува 10.203mm, а на отворот 10.453mm. Добиено е лабаво налегнување со зазор од 0.250mm. Дебелината на чепот е во НТ 10, а на отворот НТ 40 класа на точност на обработка. Отстапувања од номиналната мера кај геометриските карактеристики на составот имаме во кружност, паралелност, правоаголност и симетричност на страните и потпирачот на чеп, со вредност од -0.026mm до 0.470mm. Добиена рапавост на површината при изработка на чепот е $R_a = 10.1\mu\text{m}$, $R_z = 75.3\mu\text{m}$ и $R_{\text{max}} = 91.8\mu\text{m}$, а кај отворот $R_a = 9.6\mu\text{m}$, $R_z = 70.1\mu\text{m}$ и $R_{\text{max}} = 83.5\mu\text{m}$.
4. Рапавоста на површините на чеповите и отворите кај сите состави изработени на CNC технологија е значајно помала од рапавоста на составите изработени на конвенционална технологија.
5. Точноста на изработка на линеарните димензии кај составите изработени на CNC технологија е еднаква или помала во споредба со составите изработени на конвенционална технологија.
6. Точноста на изработка на геометриските карактеристики во правост, рамност, кружност, паралелност, правоаголност и симетричност на страни и кантови кај составите изработени на CNC технологија е идентична со составите изработени на конвенционална технологија.
7. Кај двете технологии имаме отстапувања во паралелност, правоаголност и симетричност на страни и кантови поголеми од зададената толеранција. Овие

отстапувања претставуваат грешки во обработката и треба да се изврши нивно систематизирање.

8. Силата на кршење при свивање на состав од отворен правоаголен чеп и отвор изработен на CNC технологија при што е добиено неизвесно налегнување изнесува 8735N. Оваа сила е значајно помала од силата на кршење на истиот состав изработен на конвенционална технологија со добиено налегнување со преклоп. Силата на кршење при истегнување на составот изработен на CNC технологија изнесува 20141N и е еднаква со силата на кршење на составот изработен на конвенционална технологија и покрај тоа што имаат различен тип на налегнување.
9. Силата на кршење при свивање на состав од отворен комбиниран чеп и отвор изработен на CNC технологија при што е добиено лабаво налегнување изнесува 8006N. Оваа сила е значајно помала од силата на кршење на истиот состав изработен на конвенционална со добиено налегнување со преклоп. Силата на кршење при истегнување на составот изработен на CNC технологија изнесува 19812N и е еднаква со силата на кршење на составот изработен на конвенционална технологија и покрај тоа што имаат различен тип на налегнување.
10. Силата на кршење при свивање на состав од овален чеп и отвор изработен на CNC технологија при што е добиено лабаво налегнување изнесува 6548N. Оваа сила е еднаква од силата на кршење на истиот состав изработен на конвенционална технологија со добиено неизвесно налегнување. Силата на кршење при истегнување на составот изработен на CNC технологија изнесува 16976N и е еднаква со силата на кршење на составот изработен на конвенционална технологија и покрај тоа што имаат различен тип на налегнување.
11. Составите кај кои имаме налегнување со преклоп од -0.1mm до -0.2mm, јакоста на кршење при свивање е значајно поголема за 17.4% од силата на кршење на составите каде имаме неизвесно или лабаво налегнување.
12. Составите кои имаат неизвесно или лабаво налегнување имаат еднаква сила на кршење при истегнување со составите кај кои налегнувањето е со преклоп.
13. Рапавоста на површините со минимални параметри: $R_a = 7.4\mu\text{m}$, $R_z = 56.5\mu\text{m}$ и $R_{\text{max}} = 72.7\mu\text{m}$ и максимални параметри: $R_a = 16.8\mu\text{m}$, $R_z = 117.6\mu\text{m}$ и $R_{\text{max}} = 149.3\mu\text{m}$, кај крајни и средни аголни состави од чеп и отвор, нема влијание врз силите на кршење при свивање и истегнување.
14. Видот на налегнување K/p не е адекватен за да се обезбеди налегнување со преклоп кај составите изработени на CNC технологија со вакви параметри и базирање. Потребно е да се употреби друг вид на налегнување како K/g или K/s при кое со сигурност ќе имаме преклоп кај најголем број од изработените состави.
15. Дополнителни истражувања треба да се спроведат во прилагодување на параметрите на режење и глодање како и начинот на базирање при изработка на состави на CNC технологија со цел да се постигне поголема точност во обработката. Исто така дополнителни истражувања треба да се извршат за систематизирање на грешките во обработката.

7 ЛИТЕРАТУРА

1. ASME, (2019): ASME Y14.5-2018: Dimensioning and Tolerancing, American Society of Mechanical Engineers, NY.
2. Chang WR, Etsion I, Bogy DB (1987): An elastic-plastic model for the contact of rough surfaces. *J Tribol* 109(2):257–263
3. DIN 4768:1990-05: Determination of values of surface roughness parameters R_a , R_z , R_{max} using electrical contact (stylus) instruments; concepts and measuring conditions
4. DIN 68100:2010: Tolerance system for wood working and wood processing - Concepts, series of tolerances, shrinkage and swelling
5. DIN 68101:2012-02: Fundamental deviations and tolerance zones for wood working and wood processing
6. DIN EN 204: Classification of thermoplastic wood adhesives for non-structural applications
7. Džinčić I, Živanić D., (2014): The influence of fit on the distribution of glue in oval tenon mortise joint. *Wood Res-Slovakia* 59(2):297–302
8. Eckelman CA (2003): Textbook of product engineering and strength design of furniture. Purdue University Press, West Lafayette, Indiana
9. Eckelman, C., Haviarova, E., Erdil, Y. Z., Tankut, A. N., Akçay, H., & Denizli Tankut, N. (2004): Bending moment capacity of round mortise and tenon furniture joints. *Forest Products Journal*. 54: 192-197.
10. Forest Products Laboratory (2021): Wood handbook wood as an engineering material. General Technical Report FPL-GTR-282. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 543 p.
11. Fujiwara, Y., Fujii, Y., and Okumura, S. (2005): “Relationship between roughness parameters based on material ratio curve and tactile roughness for sanded surfaces of two hardwoods,” *Journal of Wood Science* 51(3), 274-277. DOI: 10.1007/s10086-004-0649-8
12. G. Kyuchukov, A. Karalivanos, B. Kyuchukov, V. Zhivkov (1999): Method of testing angle joints of solid-wood items loaded in tension, *Nauchni Trudove - Lesotekhnicheski Universitet, Sofia. Mekhanichna Tekhnologiya na D'rvetinata*, 1999, Vol. 38, 108-114
13. Gavronski, T., (2006): Rigidity-strength models and stress distribution in housed tenon joints subjected to torsion. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities* 9(4)
14. Gawronski, T., (2013): Optimisation of CNC routing operations of wooden furniture parts. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 67 (9-12): 2259-2267. <https://doi.org/10.1007/s00170-012-4647-5>
15. GOST 23166-99: Windows. General specifications
16. GOST 6449.1-82: Products of wood and wooden materials. Tolerance zones for linear dimensions and recommended fits
17. GOST 6449.3-82: Products of wood and wooden materials. Tolerances of form and arrangement of surfaces
18. GOST 6449.5-82: Products of wood and wooden materials. Non-specified limiting deviations and tolerances
19. GOST 6449-76: Product of woods and wooden materials. Limits and fits
20. GOST 7016:2013: Products of wood and wood materials. Roughness parameters
21. GOST 9330:2016: Principal joints of details of wood and wooden materials. Types and dimensions
22. Gruevski Gj. (2007): Istrazivanja na jakosta sastavite vo konstrukciite na stolovi izraboteni od kostenovo drvo, *Doktorska disertacija, Sumarski fakultet – Skopje*.
23. Hajdarević, S., and Martinović, S. (2014): “Effect of tenon length on flexibility of mortise and tenon joint,” *Procedia Engineering* 69(2014), 678-685. DOI: 10.1016/j.proeng.2014.03.042.
24. Haviarova, E., Eckelman, C., and Erdil, Y. Z. (2001): “Design and testing of wood school desk frames suitable for production by low technology methods from waste wood residues,” *Forest Products Journal* 51(5), 79-88. WOS:000168740700011.
25. Haviarova, E., Eckelman, C., and Erdil, Y. Z. (2001): “Design and testing of wood school desk frames suitable for production by low technology methods from waste wood residues,” *Forest Products Journal* 51(5), 79-88. WOS:000168740700011.
26. Hazir, E., & Koc, K. H. (2019): Optimization of wood machining parameters in CNC routers: Taguchi orthogonal array based simulated angling algorithm. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 21(4), 493-510.

27. Hazir, E.; Koc, K. H., (2019): Optimization of wood machining parameters in CNC routers: Taguchi orthogonal array based simulated angling algorithm. *Maderas. Ciencia y Tecnología*, 21 (4): 493-510. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2019005000406>
28. HENZOLD, G. (2006): *Geometrical Dimensioning and Tolerancing for Design, Manufacturing and Inspection: a Handbook for Geometrical Product Specifications Using ISO and ASME Standards*. Butterworth-Heinemann.
29. Hortobágyi, Á., Koleda, P., Koleda, P., & Kminiak, R. (2023): Effect of Milling Parameters on Amplitude Spectrum of Vibrations during Milling Materials Based on Wood. *Applied Sciences*, 13(8), 5061. <https://doi.org/10.3390/app13085061>
30. Iskra, P.; Hernández, R. E., (2009): The influence of cutting parameters on the surface quality of routed paper birch and surface roughness prediction modeling. *Wood and Fiber Science*, 41 (1): 28-37.
31. ISO 10360-2:2009: Geometrical product specifications (GPS) — Acceptance and reverification tests for coordinate measuring machines (CMM)Part 2: CMMs used for measuring linear dimensions
32. ISO 10360-5:2020: Geometrical product specifications (GPS) — Acceptance and reverification tests for coordinate measuring systems (CMS)Part 5: Coordinate measuring machines (CMMs) using single and multiple stylus contacting probing systems using discrete point and/or scanning measuring mode
33. ISO 1101:2017: Geometrical product specifications (GPS) — Geometrical tolerancing — Tolerances of form, orientation, location and run-out
34. ISO 13061-1:2014: Physical and mechanical properties of wood — Test methods for small clear wood specimensPart 1: Determination of moisture content for physical and mechanical tests
35. ISO 13062-2:2014: Physical and mechanical properties of wood — Test methods for small clear wood specimensPart 2: Determination of density for physical and mechanical tests
36. ISO 14638:2015: Geometrical product specifications (GPS) — Matrix model
37. ISO 21920-3:2021: Geometrical product specifications (GPS) — Surface texture: ProfilePart 3: Specification operators
38. ISO 22081:2021: Geometrical product specifications (GPS) — Geometrical tolerancing — General geometrical specifications and general size specifications
39. ISO 2854:1976: Statistical interpretation of data — Techniques of estimation and tests relating to means and variances
40. ISO 286-1:2010: Geometrical product specifications (GPS) — ISO code system for tolerances on linear sizes — Part 1: Basis of tolerances, deviations and fits
41. ISO 286-2:2010: Geometrical product specifications (GPS) — ISO code system for tolerances on linear sizes — Part 2: Tables of standard tolerance classes and limit deviations for holes and shafts
42. ISO 5459:2011: Geometrical product specifications (GPS) — Geometrical tolerancing — Datums and datum systems
43. ISO 8015:2011: Geometrical product specifications (GPS) — Fundamentals — Concepts, principles and rules
44. Jeršić et al, (1978): Faktori kvalitete stolica, *Drvena industrija*, 29 (9): 227-234
45. Jirous-Rajkovic V. (1991) Sanded surface quality testing, *Drvena Industrija* 42(1-2) 3-15
46. Jivkov V, Marinova A (2006): Ultimate bending strength and stiffness under compression test of end corner miter joints constructed of solid wood. In: Paper presented at the International Symposium: "Furniture". Technical University in Zvolen, pp 1–7. ISBN 80-228-1577-2
47. Kaya TG, Karagüler ME (2024): The effects of wood fiber directions on bonding performance. *Constr Build Mater* 411:134625, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.134625>
48. Kılıç, M. (2016): "Effect on shear strength of machining methods in *Pinus nigra* Arnold bonded with polyurethane and polyvinyl acetate adhesives," *BioResources* 11(3), 6663-6676. DOI: 10.15376/biores.10.3.6663-6676.
49. Koc, K. H.; Erdinler, E. S.; Hazir, E.; Öztürk, E., (2017): Effect of CNC application parameters on wooden surface quality. *Measurement*, 107: 12-18. <http://dx.doi.org/10.1016/j.measurement.2017.05.001>
50. Kollmann F. (1951): *Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe*. 1. Aufgabe. Berlin, Springer-Verlag: 870.
51. Ljuljka B. (1977): Tehnologija proizvodnje namjestaja, ŠUMARSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU, 257str
52. Mackerle, J., (2005): Finite element analyses in wood research: A bibliography. *Wood Science and Technology* 39(7): 579–600.

53. Microsoft Corporation. (2016): Microsoft Excel software package. Redmond, Washington, U.S. <https://office.miicrosoft.com/excel>.
54. Ogawa K, Sasaki Y, Yamasaki M (2016): Theoretical estimation of the mechanical performance of traditional mortise-tenon joint involving a gap. *J Wood Sci* 62:242–250
55. Oktaee, J., Ebrahimi, G., Layeghi, M., Ghofrani, M., & Eckelman, C. A. (2014): Bending moment capacity of simple and haunched mortise and tenon furniture joints under tension and compression loads. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 38(2), 291-297.
56. Pfeifer T. (2015): Production metrology. Walter de Gruyter GmbH & Co KG
57. Potrebić M. (1984): *Drvne konstrukcije 1*, Sumarski fakultet, Beograd
58. Potrebić, M., (1970): Joint tolerance as effecting factor on strength of mortise joint. Master thesis, Belgrade University, Faculty of Forestry. Pp 105-107
59. Prekrat, S. i Smardzewski, J. (2010): Effect of Glueline Shape on Strength of Mortise and Tenon Joint. *Drvna industrija*, 61 (4), 223-228
60. Riegel, A (2018): "Geometric tolerancing of furniture",; Proc. 8th International conference on Production Engineering and Management (PEM), F.-J. Villmer, and E. Padoano, eds., Hochschule Ostwestfalen-Lippe.
61. Skakić, D., Janićijević, S., (2000): Effect of type of joint, machining precision, and type of fit on the strength of the joints in chairs. (Uticaj vrste spoja, tačnosti obrade i vida naleganja na čvrstoću spojeva stolica). *Drvarski glasnik* 9(35/36): 21-25
62. Skakić, D., Janićijević, S., (2000): Effect of type of joint, machining precision, and type of fit on the strength of the joints in chairs. (Uticaj vrste spoja, tačnosti obrade i vida naleganja na čvrstoću spojeva stolica). *Drvarski glasnik* 9(35/36): 21-25
63. Smardzewski, J. (2015): Furniture design (Vol. 201510, pp. 978-3). Berlin/Heidelberg, Germany: Springer.
64. Smardzewski, J., Papuga, T., (2004): "Stress distribution in angle joints of skeleton furniture, *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities* 7(1)
65. Sofuoğlu, S. D., (2015): Using artificial neural networks to model the surface roughness of massive wooden edgeglued panels made of Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) in a machining process with computer numerical control. *BioResources*, 10 (4): 6797-6808.
66. Sutcu, A., (2013): Investigation of parameters affecting surface roughness in CNC routing operation on wooden EGP. *BioResources*, 8 (1): 795-805.
67. Sydor, M., Majka, J., and Langová, N. (2021): "Effective diameters of drilled holes in pinewood in response to changes in relative humidity," *BioResources* 16(3), 5407-5421, DOI: 10.15376/biores.16.3.5407-5421
68. Tankut, A. N., and Tankut, N. (2005): "The effects of joint forms (shape) and dimensions on the strengths of mortise and tenon joints," *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 29, 493-498
69. Tankut, N. (2007): The effect of glue and glueline thickness on the strength of mortise and tenon joints. *Wood Res.* 52:69–78.
70. Tkalec S. (1990): Ispitivanje cvrstoce spojeva zaoblenim cepom, *Drvna industrija* 41(1-2) 3-86663-6676. DOI: 10.15376/biores.10.3.6663-6676.
71. Tkalec S. (1990): "Ispitivanje cvrstoce spojeva zaoblenim cepom, *Drvna industrija* 41(1-2) 3-86663-6676. DOI: 10.15376/biores.10.3.6663-6676.
72. Tkalec, S.; Prekrat, S., (2000): *Konstrukcije proizvoda od drva – osnove drvnih konstrukcija – Sumarski fakultet, Zagrebu*, 1-310.
73. Turbański, W., Sydor, M., Matwiej, Ł., & Wiaderek, K. (2021): Moisture swelling and shrinkage of pine wood versus susceptibility to robotic assembly of furniture elements. *Annals of WULS, Forestry and Wood Technology*, DOI:10.5604/01.3001.0015.5274
74. Wagenfuhr R. (2021): *HolzAtlas*. Carl Hanser Verlag GmbH Co KG.
75. Wärmefjord, K, Söderberg, R, Lindkvist, L, & Dagman, A. (2019): "Non-Rigid Variation Simulation for Ready-to-Assemble Furniture." *Proceedings of the ASME 2019 International Mechanical Engineering Congress and Exposition*. Volume 2B: Advanced Manufacturing. Salt Lake City, Utah, USA.
76. Wilczyński, A.; Warmbier, K.(2003): Effect of joint dimensions on strength and stiffness of tenon joints. *Folia For. Pol.* 2003, 34, 53–66.
77. Xie Q, Zhang B, Zhang L, Guo L, Wu Y. (2021): Normal contact performance of mortise and tenon joint: theoretical analysis and numerical simulation. *J Wood Sci* 67, 31 (2021). <https://doi.org/10.1186/s10086-021-01963-x>

78. Yang, T., Xue, W., and Liu, Y. (2012): "Influence of machining methods on wood surface roughness and adhesion strength," in: *Biobase Material Science and Engineering (BMSE), 2012 International Conference*, pp. 284-287, IEEE, Changsha, China. DOI:10.1109/BMSE.2012.6466231
79. Zhang, T.; Hu, W.G. (2021): Numerical study on effects of tenon sizes on withdrawal load capacity of mortise and tenon joint. *Wood Res.* 2021, 66, 321–330.

БИОГРАФИЈА

Никола Михајловски е роден во 1982год. во Битола каде и завршува основно образование. Средно образование завршил во гимназијата “Јосип Броз Тито” во Битола на природно-математичкиот отсек. Во 2001год. се запишал на Шумарски факултет при Универзитетот „Св. Кирил и Методиј“ во Скопје, на студиската програма Проектирање и технологија на мебел и ентериер. Првиот циклус студии го завршил во 2007год. со што се стекнал со стручниот назив Дипломиран инженер. Во 2007год. се запишал на втор циклус студии на Шумарски факултет во Скопје, на студиската програма Финална обработка на дрвото. Магистерскиот труд со наслов „Капиларно впивање на некои филмогени материјали во дрвото и влијание на пермеабилноста и димензионалната стабилност” успешно го одбрал во 2012год. на Факултет за дизајн и технологии на мебел и ентериер во Скопје со што се стекнал со научниот назив Магистер по дрвноиндустриски науки. Во 2020год. се запишува на трет циклус на студии на Факултет за дизајн и технологии на мебел и ентериер на насоката Дизајн и технологии на мебел и ентериер.

Активен член е на Здружение на копаничари на Македонија од 1996год. се до денес, каде е и претседател на здружението. Активен дописник е во списанието Копаничар кое го издава Здружение на копаничари на Македонија.

Работел на изработка на иконостаси и друг црковен ентериер во рачно изработена резба. Автор е на повеќе од десет црковни ентериери и мебел во резба.

Од 2010год. до 2023год. работи во Факултет за дизајн и технологии на мебел и ентериер како лаборант во Лабораторија за тестирање на мебел.

Во 2023год. е избран за асистент на катедрата Технологија на финално производство при Факултет за дизајн и технологии на мебел и ентериер.

BIOGRAPHY

Nikola Mihajlovski was born in 1982 in Bitola, where he completed his primary education. He completed his secondary education at the “Josip Broz Tito” gymnasium in Bitola, in the natural sciences and mathematics department. In 2001, he enrolled at the Faculty of Forestry at the “Sts. Cyril and Methodius” University in Skopje, in the study program Design and Technology of Furniture and Interiors. He completed his first degree of studies in 2007, earning the professional title of Graduate Engineer. In 2007, he enrolled in the second degree of studies at the Faculty of Forestry in Skopje, in the study program Final Wood Processing. He successfully defended his master's thesis entitled "Capillary absorption of some film-forming materials in wood and the influence of permeability and dimensional stability" in 2012 at the Faculty of Furniture and Interior Design and Technologies in Skopje, earning the scientific title of Master of Wood Industry Sciences. In 2020, he enrolled in the third doctoral degree of studies at the Faculty of Furniture and Interior Design and Technologies in the field of Furniture and Interior Design and Technologies.

He has been an active member of the Association of Woodcarvers of Macedonia since 1996. until today, where he is also the president of the association.

He worked on the production of iconostases and other church wood carved interiors. He is the author of more than ten wood carved iconostases and furniture.

From 2010 to 2023, he works at the Faculty of Design and Technologies of furniture and interior as a laboratory technician in the Furniture Testing Laboratory.

In 2023, he was selected as an assistant at the Department of Final Production Technology at the Faculty of Furniture and Interior Design and Technologies.

Список на објавени научни трудови на м-р. Никола Михајловски:

1. Mihajlovski N., Gruevski GJ. (2024): A review of some factors affecting the accuracy of measuring the geometric characteristics of mortise and tenon joints, *Innovation in woodworking industry and engineering design*, 2/2024 (26): 79–84, Faculty of Forest Industry, University of Forestry – Sofia, Bulgaria.
2. Mihajlovski N., Gruevski GJ. (2023): Metrology of the geometric characteristics of mortise and tenon joints through geometrical product specification (GPS) standards, *Proceedings of 6th International Scientific Conference “Wood technology & Product design”*, Ss.Cyril and Methodius University in Skopje, Faculty of Design and Technologies of Furniture and Interior, 66-76, Ohrid
3. Bahchevandziev, K., Mihajlovski, N. (2022): Surface retention of polyurethane and acrylic coatings on impregnated spruce wood (*Picea abies* Karst) and comparison with some wood preservatives. *Baltic Forestry*. 27, 2 (Feb. 2022). DOI: <https://doi.org/10.46490/BF223>. IF = 0.772
4. Mihajlovski N. (2019): Care and maintenance of leather upholstered furniture with traditional leather conditioners, *Proceedings of 4th International Scientific Conference “Wood technology & Product design”*, Ss.Cyril and Methodius University in Skopje, Faculty of Design and Technologies of Furniture and Interior, 299-307, Ohrid
5. Bahcevandziev K., Mihajlovski N. (2018): Dimensional stability and water absorption of spruce wood (*Picea Abies* Karst.) impregnated and coated with polyurethane and acrylic coatings, *Drvna Industrija* 69 (2) 135-140, Zagreb, Croatia. DOI: <https://doi.org/10.5552/drind.2018.1740> IF = 0.723
6. Mihajlovski N. (2017): Transverse Anisotropy and dimensional stability of thermal treated beech red heartwood, *TEM Journal*. Volume 6, Issue 1, 126-131, Nivi Pazar, Serbia, DOI: <https://doi.org/10.18421/TEM61-18>
7. Bahchevandjiev K., Nacevski M., Mihajlovski N. (2015): Compressive strength in direction of the wood fibres from the spruce wood (*Picea abies* Karst) impregnated with polyurethane and acrylic varnishes, *Proceedings of 2nd International Scientific Conference “Wood technology & Product design”*, Ss.Cyril and Methodius University in Skopje, Faculty of Design and Technologies of Furniture and Interior, 341-346, Ohrid
8. Bahchevandjiev K., Gruevski GJ., Mihajlovski N. (2015): Examination of the comfort while lying on a mattress with soft polyurethane foam core, *Proceedings of 2nd International Scientific Conference “Wood technology & Product design”*, Ss.Cyril and Methodius University in Skopje, Faculty of Design and Technologies of Furniture and Interior, 347-352, Ohrid
9. Bahchevandjiev K., Mihajlovski N.(2014): Swelling and transverse anisotropy of impregnated and coated spruce wood (*Picea abies* Karst), 25th scientific conference “Ambienta”, Zagreb
10. Mihajlovski N. (2013): Percentage of weight increase in European spruce wood (*Picea Abies*.Mill), impregnated with polyurethane and acrylic coatings, 9th International Scientific Conference “RIM 2013”, Budva
11. Mihajlovski N. (2013): Percentage of weight increase in European spruce wood (*Picea Abies*.Mill), impregnated with polyurethane and acrylic coatings, International conference “Sprungbrett”, Switzerland
12. Bahchevandjiev K., Hacevski M., Mihajlovski N. (2013): Percentage of weight increase in european spruce wood (*Picea abies*, mill.), impregnated with polyurethane and acrylic coatings, *Proceedings of 1st International Scientific Conference “Wood technology &*

- Product design”, Ss.Cyril and Methodius University in Skopje, Faculty of Design and Technologies of Furniture and Interior, 45-51, Ohrid
13. Bahchevandjiev K., Mihajlovski N.(2013): Aesthetic and strengths changes in thermally treated beech false heartwood (*Fagus Sylvatica L.*), Proceedings of 1st International Scientific Conference “Wood technology & Product design”, Ss.Cyril and Methodius University in Skopje, Faculty of Design and Technologies of Furniture and Interior, 66-71, Ohrid



УНИВЕРЗИТЕТ „КИРИЛ И МЕТОДИЈ“ ВО СКОПЈЕ
ФАКУЛТЕТ ЗА ДИЗАЈН И ТЕХНОЛОГИИ НА
МЕБЕЛ И ЕНТЕРИЕР



М-р. Никола Миливој Михајловски

ВЛИЈАНИЕ НА ГЕОМЕТРИСКИТЕ КАРАКТЕРИСТИКИ НА НЕКОИ
СОСТАВИ ДОБИЕНИ СО ОБРАБОТКА НА CNC МАШИНА ВРЗ ЈАКОСТИТЕ
КАЈ КОНСТРУКЦИЈЕ НА СТОЛОВИ ОД ДРВО

Авторезиме на докторска дисертација

Скопје, 2025

1. ВОВЕД

Соловите претставуваат најрепрезентативен тип на мебел од групата на мебел за седење. Може да бидат изработени од повеќе материјали како метал, пластика, композити, но најчесто се изработуваат од дрво. Јакоста и издржливоста на конструкцијата зависат од повеќе фактори кои се меѓусебно зависни правејќи ја оваа карактеристика комплексна. Составите во дрвените конструкции претставуваат критични места каде најчесто се појавуваат дефекти, па затоа треба особено да се внимава на толеранциите и типот на налегнување при конструирањето. Како најкритични места за појава на дефекти се составите меѓу предната ногара и страничниот носач на седиште. Најчест тип на состав за поврзување на овие елементи како и на цела конструкција кај столовите е составот од чеп и отвор. Извршени се бројни истражувања за систематизација и димензионирање на сите видови на состави од чеп и отвор како и истражувања на јакоста на составите од многу автори. Воглавно, сите автори наведуваат дека типот на налегнувањето и точноста на обработка на составите со чеп и отвор имаат влијание врз јакостите, а со тоа и врз издржливоста на дрвените столови. Препорачуваат цврсто налегнување со преклоп од 0.1 до 0.2mm.

Изработката на составите од чеп и отвор се изведува на неколку типови конвенционални машини. Традиционалната и конвенционална технологија за изработка на мебел од дрво се темели на обработка на секоја операција на специјализирана машина. Со развојот на CNC технологијата, денес постојат машини таканаречени “CNC центри” со повеќе последователни операции за изработка на финални елементи од мебел. Овие машини наоѓаат голема примена при производството на столови и рамовски конструкции. На нив може да се обработуваат детали и потсклопови.

Со развојот на CAD/CAM технологијата се јавува и поголема потреба за контрола на квалитетот и точноста на обработката, па во 1996 година од страна на Техничкиот комитет за меѓународна стандардизација (ISI/TC 213), за првпат се објавени низа на стандарди (GPS – Geometrical product specifications) кои ги опфаќаат сите геометриски карактеристики на производите. Во овие стандарди предвидена е една матрица која ги опфаќа отстапувањата во димензии, облик, положба, агли, рапавост како и пропишани толеранции за истите.

Примената на мерењата денес е одлучувачки фактор за понатамошен развој на технологијата. Точноста на мерењето е дел од производствената метрологија, од пресудно значење е за запазување на толеранциите и налегнувањата како и за контролата на квалитет во производството. Со развојот на науката и технологијата паралелно се развиваат и мерните уреди. Денес поради големата точност и брзина на мерење се почесто се користат координатни мерни системи каде најзастапени се координатните мерни машини (СММ). Нивната употреба е во координација со системот на геометриски спецификации на производи.

Целта на ова истражување е да се добијат информации за влијанието на квалитетот на обработка, искажан преку геометриските карактеристики на составите од чеп и отвор добиени со обработка на CNC машина врз јакостите кај конструкциите на столови и да се споредат со составите добиени со конвенционална технологија.

СОДРЖИНА НА ТРУДОТ

1. ВОВЕД
 - 1.1 Систем на геометриски спецификации на производи (GPS) - Значење, правила и матрица
2. ПРЕГЛЕД НА ДОСТИГНУВАЊАТА ВО ДАДЕНАТА НАУЧНА ОБЛАСТ
 - 2.1 Можности за употреба на GPS во дрвната индустрија
 - 2.2 Употреба на GPS системот при метрологија на составот од чеп и отвор
3. ЦЕЛ НА ИСТРАЖУВАЊЕТО
 - 3.3 Предмет на истражување
 - 3.4 Цели на истражувањето
 - 3.5 Образложение на работните хипотези и тези
4. МЕТОДОЛОГИЈА НА ИСТРАЖУВАЊЕТО
 - 4.1 Избор и геометриски карактеристики на состави од чеп и отвор
 - 4.2 Систем на обележување и број на пробни парчиња од составите
 - 4.3 Одредување на толеранции и налегнување на составите
 - 4.4 Избор на дрво и помошен материјал
 - 4.4.1 Својства на дрвото
 - 4.4.2 Својства на лепилото
 - 4.5 Изработка на состави со конвенционална технологија
 - 4.6 Изработка на состави со CNC технологија
 - 4.7 Мерење на геометриски карактеристики на составите
 - 4.8 Мерење на геометриските карактеристики на површините – рапавост
 - 4.9 Определување на механички својства на составите
 - 4.9.1 Определување на јакост на свивање на составите
 - 4.9.2 Определување на јакост на истегнување на составите
 - 4.10 Статистичка обработка на мерењата
5. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА
 - 5.1 Резултати од мерење на геометриски карактеристики на составите
 - 5.1.1. Геометриски карактеристики на отворен состав од правоаголен чеп и отвор – Состав I
 - 5.1.2. Геометриски карактеристики на отворен комбиниран чеп и отвор – Состав II
 - 5.1.3. Геометриски карактеристики на овален чеп и отвор – Состав III
 - 5.2 Резултати од мерење на механички карактеристики на составите
 - 5.2.1 Јакост на свивање на составите
 - 5.2.2 Јакост на истегнување на составите
 - 5.3 Влијание на геометриските карактеристики и рапавоста врз механичките карактеристики на составите
6. ЗАКЛУЧОК
7. ЛИТЕРАТУРА

2. МЕТОДОЛОГИЈА НА ИСТРАЖУВАЊЕТО

Експерименталниот дел од ова истражување се состои од повеќе методски единици кои вклучуваат: избор на состави од чеп и отвор, изработка на составите на двете споменати технологии одделно, мерење на геометриските карактеристики, определување на јакостни карактеристики на составите и статистичка обработка на податоците од мерењата.

Основни критериуми за избор на составите беа тие да се често применувани состави и да може да се изработат по двете споменати технологии за да се обезбеди споредливост. Дополнителен критериум беше и различниот тип на циклоида изразена со своја карактеристична рапавост добиена при обработката со глодање. Истражувањето беше извршено на три типа состави и тоа:

Состав - I : Отворен правоаголен чеп и отвор

Состав – II : Отворен комбиниран чеп и отвор

Состав – III : Овален чеп и отвор

Од трите вида на состави беа изработени по четири групи на пробни парчиња, две групи на аголни и две групи на средни состави. По една група беше изработена по конвенционална технологија, а другата група на CNC технологија. Од секој вид на состав изработени беа група на аголен спој изработен со конвенционална технологија и група на аголен спој изработен на CNC технологија. Исто така изработени беа и групи од среден спој. Бројот на пробни парчиња во секоја група изнесуваше $n = 15$.

Одредувањето на толеранции и налегнување на составите беше според стандардите DIN 68100:2010 и DIN 68101:2012. За прикажаните состави најпрво беше одреден типот на налегнување, а потоа граничните отстапувања за основното толеранциско поле на чепот и отворот. Во финалното производство на мебел за овај тип на состави е предвидено налегнување со преклоп. За налегнување со преклоп од од 0.1mm до 0.2mm, според стандардот најмногу одговара налегнување K/p. Налегнувањето K/p има такви гранични отстапувања така што може да се очекува преклоп кај најголем број од составите. Пробните парчиња беа изработени од буково дрво (*Fagus Sylvatica*). Буковото дрво во Р.Македонија е најупотребуван дрвен вид за изработка на столови и мебел воопшто. Влажноста во дрвото за време на кондиционирањето како и пред и после обработка, мерење на димензии и лепење беше контролирана со контактен влагомер. Лепењето на составите беше извршено со поливинил ацетатно лепило (PVA) тип D2.

Изработката на составите по конвенционална технологија беше изведено на класични конвенционални машини за изработка на состави кои се дел од производствен погон од фабрика за столови од дрво во Македонија. Чеповите беа изработени на “чеп - машина” од производител Dincmak тип на производ DRT 115 и универзална столна глодалка за дрво од производител Bratstvo тип G25. Отворите беа изработени на осцилаторна дупчалка од производител Dincmak тип на производ DMT 120. Изработката на пробните парчиња за составите по CNC технологија беше извршена на универзален CNC центар Homag, а типот на производ е Optimat BHC 550.

Мерењето на геометриските карактеристики на составите беше извршено според стандардите кои се дел од Системот на геометриски спецификации на производи - GPS (Geometrical product specifications). За таа цел беше користена СММ - координатна мерна машина од производител Hexagon Metrology тип на производ Global 123010. Рапавоста на површините беше мерена со контактен метод со употреба на инструмент од производител Mitutoyo тип на производ SP210.

Предмет на испитување од механичките својства на составите беа јакоста на свивање и јакоста на истегнување. Механичките својства на составите беа определени на

универзална машина за испитување на материјали од производител Shimadzu тип на производ AGS.

После извршените мерења сите вредности беа поделени и класифицирани во табели. Статистичката обработка на мерењата беше извршена според стандардот ISO 2854:1976. На секоја од групите на мерења најпрво беше извршен тест за проверка на еднаквост на дисперзиите (F – тест), а потоа (T - тест) за значајност на разликата меѓу средните вредности на мерењата меѓу две групи.

3. РЕЗУЛТАТИ

Средната вредност од мерењата на дебелината на чепот на пробните парчиња кај составот од правоаголен чеп и отвор изработени на конвенционална технологија изнесуваше 10.210mm, а на отворот 10.000 mm. Средната вредност од мерењата на дебелината на чепот на пробните парчиња изработени на CNC технологија изнесуваше 10.117 mm, а на отворот 10.180 mm. Кај составот изработен на конвенционална технологија налегнувањето е со преклоп од 0.210mm, додека кај составот изработен на CNC технологија имаме појава на минимален зазор од 0.063 mm. Отстапување од зададената толеранција има и кај паралелноста на страните и кантовите и правоаголноста на страната со потпирачот на чепот кај двете технологии подеднакво. Вредноста на отстапувањето се движи од 0.1mm до 0.26mm. Средните вредности на параметрите на рапавост на чепот се: $R_a = 9.8\mu\text{m}$, $R_z = 71.5\mu\text{m}$ и $R_{\text{max}} = 88.3\mu\text{m}$. Параметрите на рапавоста на површините на чеповите изработени на CNC се значајно помали од средните вредности на рапавоста на површините изработени со конвенционална технологија. Средната вредност на силата на кршење на правоаголен отворен состав од чеп и отвор изработен на конвенционална технологија изнесуваше $F_{\text{sv}} = 10577\text{N}$. Средната вредност на силата на кршење на правоаголен отворен состав од чеп и отвор изработен на CNC технологија изнесуваше $F_{\text{sv}} = 8735\text{N}$. Средната вредност на силата на кршење на правоаголен отворен состав од чеп и отвор изработен на конвенционална технологија изнесуваше $F_w = 18860\text{N}$. Средната вредност на силата на кршење на правоаголен отворен состав од чеп и отвор изработен на CNC технологија изнесуваше $F_w = 20141\text{N}$.

Средната вредност од мерењата на дебелината на чепот на пробните парчиња изработени на конвенционална технологија изнесуваше 10.709mm, а на отворот 10.453mm. Средната вредност од мерењата на дебелината на чепот на пробните парчиња изработени на CNC технологија изнесуваше 10.102 mm, а на отворот 10.480 mm. Измерената вредност на чепот е во интервалот меѓу горната и долната гранична мера, но измерената вредност на отворот е поголема од горната гранична мера. Кај составот изработен на конвенционална технологија налегнувањето е со преклоп од 0.256mm, додека кај составот изработен на CNC технологија имаме појава на зазор од 0.378mm. Вредноста на отстапувањата во облик, правец и положба на чеповите кај двете технологии се движи од -0.029mm до 0.340mm. Средните вредности на параметрите на рапавост $R_a = 8.6\mu\text{m}$, $R_z = 67.5\mu\text{m}$ и $R_{\text{max}} = 77.2\mu\text{m}$ на површините на чеповите изработени на CNC се значајно помали од средните вредности на рапавоста на површините изработени со конвенционална технологија. Средната вредност од силите на кршење при свивање изнесуваше $F_{\text{sv}}=8789\text{N}$, а кај истиот вид на состав изработен на CNC технологија средната вредност на силата на кршење изнесуваше $F_{\text{sv}}=8006\text{N}$. Кај отворениот комбиниран состав од чеп и отвор изработен на конвенционална технологија, средната вредност од силите на кршење при истегнување изнесуваше $F_w = 21175\text{N}$. кај истиот вид на состав изработен на CNC технологија средната вредност на силата на кршење изнесуваше $F_w = 19812\text{N}$.

Средната вредност од мерењата на дебелината на чепот на пробните парчиња изработени на конвенционална технологија изнесуваше 10.641mm, а на отворот 10.615mm. Измерените вредности се поголеми од горните гранични мери за чеп и отвор прикажани во Табела 2. Средната вредност од мерењата на дебелината на чепот на пробните парчиња изработени на CNC технологија изнесуваше 10.203 mm, а на отворот 10.453 mm. Измерената вредност на чепот е во интервалот меѓу горната и долната гранична мера, но измерената вредност на отворот е поголема од горната гранична мера од мерките прикажани во Табела 2. Кај составот изработен на конвенционална технологија добиено е налегнување со преклоп од -0.256mm, додека кај составот изработен на CNC технологија имаме појава на зазор од 0.378mm. Значајно отстапување имаме во кружност на чеповите и кај двете технологии, но отстапувањето од 0.470 mm и 0.511mm од номиналната мера кај CNC технологија е значително поголемо. Средните вредности на параметрите на рапавост $R_a = 10.1\mu\text{m}$, $R_z = 75.3\mu\text{m}$ и $R_{\text{max}} = 91.8\mu\text{m}$ на површините на чеповите изработени на CNC се значајно помали од средните вредности на рапавоста на површините изработени со конвенционална технологија. Средната вредност на силата на кршење на составот од овален чеп и отвор изработен на конвенционална технологија изнесуваше $F_{\text{sv}}=6856\text{N}$. Средната вредност на силата на кршење на правоаголен отворен состав од чеп и отвор изработен на CNC технологија изнесуваше $F_{\text{sv}}=6548\text{N}$. Средната вредност на силата на кршење на составот од овален чеп и отвор изработен на конвенционална технологија изнесуваше $F_w = 16119\text{N}$. Средната вредност на силата на кршење на составот изработен на CNC технологија изнесуваше $F_w = 16976\text{N}$.

4. ЗАКЛУЧОК

Врз основа на спроведеното истражување и анализа на влијанието на геометриските карактеристики на некои состави изработени на CNC технологија врз јакостите на конструкциите на столови од дрво може да се донесат следните заклучоци:

1. При изработка на отворен правоаголен состав од чеп и отвор изработен на CNC технологија, средната вредност на дебелината на чепот изнесува 10.117 mm, а на отворот 10.180 mm. Добиено е неизвесно налегнување со зазор од 0,063 mm. Дебелината на чепот како и отворот кај истиот состав се во НТ 10 класа на точност на обработка. Отстапувања од номиналната мера кај геометриските карактеристики на составот имаме во паралелност, правоаголност и симетричност на страните и потпирачот на чеп, со вредност од -0.76 mm до 0.279 mm. Добиена рапавост на површината при изработка на чепот е $R_a = 9.8\mu\text{m}$, $R_z = 71.5\mu\text{m}$ и $R_{\text{max}} = 88.3\mu\text{m}$, а кај отворот $R_a = 8.8\mu\text{m}$, $R_z = 67.3\mu\text{m}$ и $R_{\text{max}} = 84.9\mu\text{m}$.
2. При изработка на отворен комбиниран состав од чеп и отвор изработен на CNC технологија, средната вредност на дебелината на чепот изнесува 10.102 mm, а на отворот 10.480mm. Добиено е лабаво налегнување со зазор од 0,378mm. Дебелината на чепот кај истиот состав е во НТ 10, а на отворот НТ 40 класа на точност на обработка. Отстапувања од номиналната мера кај геометриските карактеристики на составот имаме во паралелност, правоаголност и симетричност на страните и потпирачот на чеп, со вредност од -0.029 mm до 0.491mm. Добиена рапавост на површината при изработка на чепот е $R_a = 11.5\mu\text{m}$, $R_z = 78.4\mu\text{m}$ и $R_{\text{max}} = 93.6\mu\text{m}$, а кај отворот $R_a = 8.6\mu\text{m}$, $R_z = 67.5\mu\text{m}$ и $R_{\text{max}} = 77.2\mu\text{m}$.
3. При изработка на состав од овален чеп и отвор изработен на CNC технологија, средната вредност на дебелината на чепот изнесува 10.203 mm, а на отворот 10.453 mm. Добиено е лабаво налегнување со зазор од 0.250 mm. Дебелината на чепот е во НТ 10, а на отворот НТ 40 класа на точност на обработка. Отстапувања од номиналната мера кај геометриските карактеристики на составот имаме во кружност, паралелност, правоаголност и симетричност на страните и потпирачот

на чеп, со вредност од -0.026mm до 0.470mm . Добиена рапавост на површината при изработка на чепот е $Ra = 10.1\mu\text{m}$, $Rz = 75.3\mu\text{m}$ и $R_{\text{max}} = 91.8\mu\text{m}$, а кај отворот $Ra = 9.6\mu\text{m}$, $Rz = 70.1\mu\text{m}$ и $R_{\text{max}} = 83.5\mu\text{m}$.

4. Рапавоста на површините на чеповите и отворите кај сите состави изработени на CNC технологија е значајно помала од рапавоста на составите изработени на конвенционална технологија.
5. Точноста на изработка на линеарните димензии кај составите изработени на CNC технологија е еднаква или помала во споредба со составите изработени на конвенционална технологија.
6. Точноста на изработка на геометриските карактеристики во правост, рамност, кружност, паралелност, правоаголност и симетричност на страни и кантови кај составите изработени на CNC технологија е идентична со составите изработени на конвенционална технологија.
7. Кај двете технологии имаме отстапувања во паралелност, правоаголност и симетричност на страни и кантови поголеми од зададената толеранција. Овие отстапувања претставуваат грешки во обработката и треба да се изврши нивно систематизирање.
8. Силата на кршење при свивање на состав од отворен правоаголен чеп и отвор изработен на CNC технологија при што е добиено неизвесно налегнување изнесува 8735N . Оваа сила е значајно помала од силата на кршење на истиот состав изработен на конвенцијална технологија со добиено налегнување со преклоп. Силата на кршење при истегнување на составот изработен на CNC технологија изнесува 20141N и е еднаква со силата на кршење на составот изработен на конвенционална технологија и покрај тоа што имаат различен тип на налегнување.
9. Силата на кршење при свивање на состав од отворен комбиниран чеп и отвор изработен на CNC технологија при што е добиено лабаво налегнување изнесува 8006N . Оваа сила е значајно помала од силата на кршење на истиот состав изработен на конвенцијална технологија со добиено налегнување со преклоп. Силата на кршење при истегнување на составот изработен на CNC технологија изнесува 19812N и е еднаква со силата на кршење на составот изработен на конвенционална технологија и покрај тоа што имаат различен тип на налегнување.
10. Силата на кршење при свивање на состав од овален чеп и отвор изработен на CNC технологија при што е добиено лабаво налегнување изнесува 6548N . Оваа сила е еднаква од силата на кршење на истиот состав изработен на конвенцијална технологија со добиено неизвесно налегнување. Силата на кршење при истегнување на составот изработен на CNC технологија изнесува 16976N и е еднаква со силата на кршење на составот изработен на конвенционална технологија и покрај тоа што имаат различен тип на налегнување.
11. Составите кај кои имаме налегнување со преклоп од -0.1mm до -0.2mm , јакоста на кршење при свивање е значајно поголема за 17.4% од силата на кршење на составите каде имаме неизвесно или лабаво налегнување.
12. Составите кои имаат неизвесно или лабаво налегнување имаат еднаква сила на кршење при истегнување со составите кај кои налегнувањето е со преклоп.
13. Рапавоста на површините со минимални параметри: $Ra = 7.4\mu\text{m}$, $Rz = 56.5\mu\text{m}$ и $R_{\text{max}} = 72.7\mu\text{m}$ и максимални параметри: $Ra = 16.8\mu\text{m}$, $Rz = 117.6\mu\text{m}$ и $R_{\text{max}} = 149.3\mu\text{m}$, кај крајни и средни аголни состави од чеп и отвор, нема влијание врз силите на кршење при свивање и истегнување.

14. Видот на налегнување K/p не е адекватен за да се обезбеди налегнување со преклоп кај составите изработени на CNC технологија со вакви параметри и базирање. Потребно е да се употреби друг вид на налегнување како K/g или K/s при кое со сигурност ќе имаме преклоп кај најголем број од изработените состави.
15. Дополнителни истражувања треба да се спроведат во прилагодување на параметрите на режење и глодање како и начинот на базирање при изработка на состави на CNC технологија со цел да се постигне поголема точност во обработката. Исто така дополнителни истражувања треба да се извршат за систематизирање на грешките во обработката.



**SS. “CYRIL AND METHODIUS” UNIVERSITY
FACULTY OF DESIGN AND TECHNOLOGY OF
FURNITURE AND INTERIOR – SKOPJE**



MSc. Nikola Mihajlovski

**INFLUENCE OF THE GEOMETRIC CHARACTERISTICS OF SOME JOINTS
OBTAINED BY CNC MACHINE PROCESSING ON THE STRENGTHS OF
WOODEN CHAIR CONSTRUCTIONS**

Doctoral dissertation resume

Скопје, 2025

1. INTRODUCTION

Chairs are the most representative type of furniture in the group of seating furniture. They can be made of several materials such as metal, plastic, composites, but most often are made of wood. The strength and durability of the structure depend on several interdependent factors, making this characteristic complex. The joints in wooden structures are critical places where defects most often occur, so special attention should be paid to tolerances and the type of fit during construction. The most critical places for the occurrence of defects are the joints between the front leg and the side seat support. The most common type of joint for connecting these elements as well as the entire structure in chairs is the mortise and tenon joint. Numerous studies have been conducted on the systematization and dimensioning of all types of mortise and tenon joints, as well as research on the strength of the joints by many authors. In general, all authors state that the type of fit and the accuracy of the processing of the mortise and tenon joints have an impact on the strength, and therefore the durability, of the wooden chairs. They recommend an interference fit with an overlap of 0.1 to 0.2mm.

The production of mortise and tenon joints is carried out on several types of conventional machines. The traditional and conventional technology for the production of wooden furniture is based on the processing of each operation on a specialized machine. With the development of CNC technology, today there are machines called "CNC centers" with multiple sequential operations for the production of final furniture elements. These machines are widely used in the production of chairs and frame structures. They can process details and subassemblies. With the development of CAD/CAM technology, there is a greater need for quality control and accuracy of processing, so in 1996, the Technical Committee for International Standardization (ISO/TC 213) published a series of standards (GPS – Geometrical product specifications) for the first time, which cover all geometric characteristics of products. These standards provide a matrix that covers deviations in dimensions, form, position, angles, roughness, as well as prescribed tolerances for them.

The application of measurements today is a decisive factor for the further development of technology. The accuracy of measurement is part of production metrology, it is of crucial importance for observing tolerances and fits as well as for quality control in production. With the development of science and technology, measuring devices are also developing in parallel. Today, due to the high accuracy and speed of measurement, coordinate measuring systems are increasingly used, where coordinate measuring machines (CMM) are the most common. Their use is in coordination with the system of geometric specifications of products.

The aim of this research is to obtain information about the influence of machining quality, expressed through the geometric characteristics of the mortise and tenon joints obtained by CNC machining, on the strengths of chair structures and to compare them with joints obtained using conventional technology.

CONTENTS

1. INTRODUCTION

1.1 Geometric Product Specification System (GPS) - Meaning, Rules and Matrix

2. OVERVIEW OF ACHIEVEMENTS IN THE GIVEN SCIENTIFIC FIELD

2.1 Possibilities for using GPS in the wood industry

2.2 Use of the GPS system in metrology of the tenon and mortise joints

3. AIM OF THE RESEARCH

3.3 Subject of the research

3.4 Objectives of the research

3.5 Explanation of the working hypotheses and theses

4. RESEARCH METHODOLOGY

4.1 Selection and geometric characteristics of tenon and mortise joints

4.2 Marking system and number of test pieces of the joints

4.3 Determination of tolerances and fit of the joints

4.4 Selection of wood and auxiliary material

4.4.1 Properties of wood

4.4.2 Properties of adhesive

4.5 Production of joints using conventional technology

4.6 Production of joints using CNC technology

4.7 Measurement of geometric characteristics of joints

4.8 Measurement of geometric characteristics of surfaces – roughness

4.9 Determination of mechanical properties of joints

4.9.1 Determination of stiffness strength of joints

4.9.2 Determination of withdrawal strength of joints

4.10 Statistical processing of measurements

5. RESULTS AND DISCUSSION

5.1 Results of measurement of geometric characteristics of joints

5.1.1. Geometric characteristics of an open rectangular joint – Assembly I

5.1.2. Geometrical characteristics of an open combined joint – Assembly II

5.1.3. Geometrical characteristics of an oval joint – Assembly III

5.2 Results of measurement of mechanical characteristics of joints

5.2.1 Stiffness strength of joints

5.2.2 Withdrawal strength of joints

5.3 Influence of geometric characteristics and roughness on the mechanical characteristics of joints

6. CONCLUSION

7. REFERENCES

2. RESULTS

The average value of the measurements of the thickness of the tenon on the test pieces in the joint of a rectangular mortise and a tenon made using conventional technology was 10.210mm, and for the mortise 10.000 mm. The average value of the measurements of the thickness of the tenon on the test pieces made using CNC technology was 10.117 mm, and for the mortise 10.180 mm. In the joint made using conventional technology, the fit is with an overlap of 0.210mm, while in the joint made using CNC technology we have the appearance of a minimum gap of 0.063mm. Deviation from the specified tolerance is also present in the parallelism of the sides and edges and the perpendicularity of the side in both technologies equally. The value of the deviation ranges from 0.1mm to 0.26mm. The average values of the roughness parameters of the tenon are: $R_a = 9.8\mu\text{m}$, $R_z = 71.5\mu\text{m}$ and $R_{\text{max}} = 88.3\mu\text{m}$. The surface roughness parameters of the mortise manufactured using CNC are significantly lower than the average values of the roughness of the surfaces manufactured using conventional technology. The average value of the stiffness loading force of a rectangular open joint of a mortise and tenon manufactured using conventional technology was $F_{\text{sv}} = 10577\text{N}$. The average value of the loading force of a rectangular open joint of a mortise and tenon manufactured using CNC technology was $F_{\text{sv}} = 8735\text{N}$. The average value of the withdrawal loading force of a rectangular open joint of mortise and tenon manufactured using conventional technology was $F_w = 18860\text{N}$. The average value of the loading force of a rectangular open joint of a mortise and tenon manufactured using CNC technology was $F_w = 20141\text{N}$.

The average value of the measurements of the thickness of the tenon on the test pieces made using conventional technology was 10.709mm, and of the mortise 10.453mm. The average value of the measurements of the thickness of the tenon on the test pieces made using CNC technology was 10.102 mm, and of the mortise 10.480 mm. The measured value of the tenon is in the interval between the upper and lower limit, but the measured value of the mortise is greater than the upper limit. In the joint made using conventional technology, the fit is with an overlap of 0.256mm, while in the joint made using CNC technology we have the appearance of a gap of 0.378mm. The value of the deviations in the form, orientation and location of the tenon in both technologies ranges from -0.029mm to 0.340mm. The average values of the roughness parameters $R_a = 8.6\mu\text{m}$, $R_z = 67.5\mu\text{m}$ and $R_{\text{max}} = 77.2\mu\text{m}$ on the surfaces of the tenon manufactured using CNC are significantly lower than the average values of the roughness of the surfaces manufactured using conventional technology. The average value of the bending breaking force was $F_{\text{sv}}=8789\text{N}$, and for the same type of joint manufactured using CNC technology the average value of the loading force was $F_{\text{sv}}=8006\text{N}$. For the open combined joint of a mortise and tenon manufactured using conventional technology, the average value of the withdrawal loading force was $F_w = 21175\text{N}$. For the same type of joint manufactured using CNC technology the average value of the loading force was $F_w = 19812\text{N}$.

The average value of the measurements of the thickness of the tenon on the test pieces made using conventional technology was 10.641mm, and of the mortise 10.615mm. The average value of the measurements of the thickness of the tenon on the test pieces made using CNC technology was 10.203 mm, and of the mortise 10.453 mm. The measured value of the tenon is in the interval between the upper and lower limit measurements, but the measured value of the mortise is greater than the upper limit measurement. In the joints made using conventional technology, a fit with an overlap of 0.256mm was obtained, while in the assembly made using CNC technology we have the appearance of a gap of 0.378mm. There is a significant deviation in the cylindricity of the tenon in both technologies, but the deviation of 0.470 mm and 0.511mm from the nominal size in CNC technology is significantly larger. The average values of the roughness parameters $R_a = 10.1\mu\text{m}$, $R_z = 75.3\mu\text{m}$ and $R_{\text{max}} = 91.8\mu\text{m}$ on the surfaces of the tenon manufactured using CNC are significantly smaller than the average values of the

roughness of the surfaces manufactured using conventional technology. The average value of the stiffness loading force of the joint of a mortise and tenon manufactured using conventional technology was $F_{sv}=6856N$. The average value of the loading force of a rectangular open joint of a mortise and tenon manufactured using CNC technology was $F_{sv}=6548N$. The average value of the withdrawal loading force of the joint of an oval mortise and tenon manufactured using conventional technology was $F_w = 16119N$. The average loading force of a joint manufactured using CNC technology was $F_w = 16976N$.

3. CONCLUSION

Based on the conducted research and analysis of the influence of the geometric characteristics of some joints made using CNC technology on the strength of wooden chair structures, the following conclusions can be drawn:

1. When manufacturing an open rectangular joint of a mortise and tenon made using CNC technology, the average value of the thickness of the tenon is 10.117 mm, and of the mortise 10.180 mm. A transition fit with a gap of 0.063 mm was obtained. The thickness of the tenon and the mortise in the same joints are in the HT 10 class of machining accuracy. Deviations from the nominal size in the geometric characteristics of the joints are in parallelism, perpendicularity and symmetry of the sides with a value from -0.76 mm to 0.279 mm. The obtained surface roughness during the manufacture of the tenon is $R_a = 9.8\mu m$, $R_z = 71.5\mu m$ and $R_{max} = 88.3\mu m$, and for the mortise $R_a = 8.8\mu m$, $R_z = 67.3\mu m$ and $R_{max} = 84.9\mu m$.

2. When manufacturing an open combined joint of a mortise and tenon made using CNC technology, the average thickness of the tenon is 10.102 mm, and of the mortise 10.480mm. A clearance fit with a clearance of 0.378mm was obtained. The thickness of the tenon in the same joint is in the HT 10, and of the mortise HT 40 class of machining accuracy. Deviations from the nominal size in the geometric characteristics of the joints are in parallelism, perpendicularity and symmetry of the sides, with a value of -0.029 mm to 0.491mm. The obtained surface roughness during the manufacture of the tenon is $R_a = 11.5\mu m$, $R_z = 78.4\mu m$ and $R_{max} = 93.6\mu m$, and for the mortise $R_a = 8.6\mu m$, $R_z = 67.5\mu m$ and $R_{max} = 77.2\mu m$.

3. When manufacturing a joint of a oval mortise and tenon made using CNC technology, the average thickness of the tenon is 10.203 mm, and of the mortise 10.453 mm. A clearance fit with a clearance of 0.250 mm was obtained. The thickness of the tenon is in the HT 10, and of the mortise HT 40 class of machining accuracy. Deviations from the nominal size in the geometric characteristics of the joints are in the cylindricity, parallelism, perpendicularity and symmetry of the sides, with a value from -0.026mm to 0.470mm. The obtained surface roughness during the manufacture of the tenon is $R_a = 10.1\mu m$, $R_z = 75.3\mu m$ and $R_{max} = 91.8\mu m$, and for the mortise $R_a = 9.6\mu m$, $R_z = 70.1\mu m$ and $R_{max} = 83.5\mu m$.

4. The roughness of the surfaces of the tenon and mortise in all joints manufactured using CNC technology is significantly lower than the roughness of joints manufactured using conventional technology.

5. The accuracy of manufacturing of the linear dimensions in joints manufactured using CNC technology is equal to or lower than in comparison with joints manufactured using conventional technology.

6. The accuracy of manufacturing the geometric characteristics in straightness, flatness, cylindricity, parallelism, perpendicularity and symmetry of sides and edges in joints manufactured using CNC technology is identical to joints manufactured using conventional technology.

7. In both technologies, we have deviations in parallelism, perpendicularity and symmetry of sides and edges greater than the specified tolerance. These deviations represent processing errors and should be systematized.

8. The stiffness loading force of an open rectangular joint of a mortise and tenon made using CNC technology, in which an uncertain fit was obtained, is 8735N. This force is significantly lower than the loading force of the same joint made using conventional technology with a fit obtained with an overlap. The withdrawal loading force of joint made using CNC technology is 20141N and is equal to loading force of joint made using conventional technology, despite the fact that they have a different type of fit.

9. The stiffness loading force of an open combined joint of a mortise and tenon made using CNC technology with a loose fit is 8006 N. This force is significantly lower than the loading force of the same joint made using conventional technology with a interference fit. The withdrawal loading force of the joint made using CNC technology is 19812 N and is equal to the loading force of joint made using conventional technology, despite the fact that they have a different type of fit.

10. The stiffness loading force of joint of oval mortise and tenon made using CNC technology with a loose fit is 6548 N. This force is equal to the loading force of the same joint made using conventional technology with an transition fit. The withdrawal loading force of the joint made using CNC technology is 16976 N and is equal to the loading force of the joint made using conventional technology despite the fact that they have a different type of fit.

11. The joints with interference fit of -0.1 mm to -0.2 mm have stiffness loading force significantly higher by 17.4% than the loading strength of the joints with clearance or transition fit.

12. The joints with clearance or transition fit have the same withdrawal loading force as the assemblies with interference fit.

13. The roughness of the surfaces with minimum parameters: $R_a = 7.4\mu\text{m}$, $R_z = 56.5\mu\text{m}$ and $R_{\text{max}} = 72.7\mu\text{m}$ and maximum parameters: $R_a = 16.8\mu\text{m}$, $R_z = 117.6\mu\text{m}$ and $R_{\text{max}} = 149.3\mu\text{m}$, in joint of a mortise and tenon, has no effect on the stiffness and withdrawal loading forces.

14. The type of fit K/r is not adequate to ensure a interference fit in joints manufactured using CNC technology with such parameters and basing. It is necessary to use another type of fit such as K/r or K/s, in which we will certainly have an overlap in the majority of the manufactured assemblies.

15. Additional research should be conducted into adjusting cutting and milling parameters and the method of basing when manufacturing joints using CNC technology in order to achieve greater accuracy in processing. Additional research should also be conducted to systematize processing errors.