

# Usporedba tehnologija krojenja drvnih ploča kroz softversku podršku

---

**Guliš, Antonio**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2018**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Forestry / Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:108:291055>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-17**



*Repository / Repozitorij:*

[University of Zagreb Faculty of Forestry and Wood Technology](#)



**ŠUMARSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU**  
**DRVOTEHNOLOŠKI ODSJEK**  
**SVEUČILIŠNI DIPLOMSKI STUDIJ**  
**DRVOTEHNOLOŠKI PROCESI**

**ANTONIO GULIŠ**

**USPOREDBA TEHNOLOGIJA KROJENJA DRVNIH PLOČA  
KROZ SOFTVERSKU PODRŠKU**

**DIPLOMSKI RAD**

**ZAGREB, 2018.**

**ŠUMARSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU**  
**DRVOTEHNOLOŠKI ODSJEK**

**USPOREDBA TEHNOLOGIJA KROJENJA DRVNIH PLOČA KROZ  
SOFTVERSKU PODRŠKU**

**DIPLOMSKI RAD**

Diplomski studij: Drvotehnološki procesi

Predmet: CNC tehnika u finalnoj obradi drva

Ispitno povjerenstvo:

1. izv.prof.dr.sc. Goran Mihulja
2. izv.prof.dr.sc. Ivica Zupčić
3. doc.dr.sc. Nikola Španić

Student: Antonio Guliš

JMBAG: 0195027106

Broj indeksa: 790/16

Datum odobrenja teme: 02.04.2018.

Datum predaje rada: 25.09.2018.

Datum obrane rada: 28.09.2018.

**Zagreb, rujan, 2018.**

## Dokumentacijska kartica

Naslov	Usporedba tehnologija krojenja drvnih ploča kroz softversku podršku
Title	Comparision of panel cutting tehnology throught software support
Autor	Antonio Guliš
Adresa autora	Rude 241 10430 Samobor
Mjesto izrade	Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Vrsta objave	Diplomski rad
Mentor	Izv.prof.dr.sc. Goran Mihulja
Godina objave	2018
Obujam	Broj stranica, tablica, slika i navoda literature
Ključne riječi	Nesting CNC obradni centar, horizontalni stroj za krojenje ploča
Key words	Nesting CNC processing center, panel dividing saw
Sažetak	<p>Današnja računalom upravljana tehnologija omogućuje izradu namiještaja od pločastih materijala uz upotrebu različitih vrsta strojeva odnosno njima sastavljenih proizvodnih linija. Međutim upotreba različitih strojeva daje različite rezultate u smislu u smislu konkurentnosti proizvodnje na tržištu odnosno daje različitu veličinu prihoda koji se njome može ostvariti. U radu će se usporediti dvije različite tehnologije krojenja drvnih ploča. Usporedit će se nesting tehnologija s tehnologijom kružne pile u smislu efikasnosti i kvalitete krojenja te je ujedno izrađen i model po kojemu je moguće obaviti izbor isplativije tehnologije u proizvodnji namiještaja od drvnih ploča.</p>

## IZJAVA O IZVORNOSTI RADA

„Izjavljujem da je moj diplomski rad izvorni rezultat mogega rada te da se u izradi istoga nisam koristio drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni.“

\_\_\_\_\_ vlastoručni potpis

Antonio Guliš

U Zagrebu, 28.09 2018

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2. CILJ ISTRAŽIVANJA .....</b>	<b>2</b>
<b>3. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA .....</b>	<b>3</b>
3.1. TEHNOLOGIJA IZRADE ELEMENATA BAZIRANIH NA NESTINGU .....	3
3.1.1. Krojenje pravokutnih elemenata.....	5
3.1.2. Krojenje krivolinijskih elemenata .....	5
3.2. TEHNOLOGIJA IZRADE ELEMENATA BAZIRANIH NA KRUŽNOJ PILI .....	5
3.1.3. Krojenje pravokutnih elemenata.....	8
3.1.4. Krojenje krivolinijskih elemenata .....	10
3.3. SOFTVERSKA PODRŠKA KOD KROJENJA DRVNIH PLOČA.....	10
<b>4. MATERIJALI I METODE .....</b>	<b>14</b>
4.1. IZBOR MATERIJALA .....	14
4.2. IZBOR STROJA .....	15
4.3. IZBOR ALATA .....	16
4.3.1. Alat za krojenje nesting tehnologijom – glodalo .....	16
4.3.2. Alat za krojenje tehnologijom kružne pile .....	18
4.4. USPOREDBA TEHOLOGIJA .....	19
4.4.1. Postupak raskrajanja ploče na nesting cnc stroju .....	20
4.4.2. Postupak raskrajanja ploče na kružnoj pili .....	20
4.5. MJERENJE UTJECAJNIH ČIMBENIKA .....	22
4.5.1. Utvrđivanje kvalitete krojenja .....	22
4.4.3. Utvrđivanje utroška vremena obrade pravokutnih elemenata .....	25
4.4.4. Utvrđivanje troška izrade pravokutnih elemenata .....	25
<b>5. REZULTATI I DISKUSIJA .....</b>	<b>27</b>
5.1. UTVRĐIVANJE ISKORISTIVOSTI ALATA.....	27

5.2. UTVRĐIVANJE UTROŠKA VREMENA OBRADÉ.....	27
5.3. UTVRĐIVANJE KVALITETE KROJENJA – MJERENJE DIMENZIJA I PRAVOKUTNOSTI .....	38
5.4. UTVRĐIVANJE ČIMBENIKA TROŠKOVA OBRADÉ .....	44
5.5. IZRADA PRORAČUNSKE TABLICE.....	47
<b>6. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>53</b>
<b>LITERATURA .....</b>	<b>54</b>

## Popis slika

Slika 1. Stroj baziran na nesting tehnologiji .....	4
Slika 2. Alat (glodalo) u zahvatu kod krojenja ploča nesting tehnologijom.....	4
Slika 3. Izgled stolne kružne pile .....	6
Slika 4. Vertikalni raskrajač.....	7
Slika 5. Horizontalni raskrajač .....	8
Slika 6. Primjer izgleda sheme sastavljene od pravolinijskih elemenata u CutRite programu za optimiranje .....	9
Slika 7. Primjer izgleda sheme sastavljene od krivolinijskih elemenata .....	10
Slika 8. Prikaz svih mogućnosti vezanih uz drveni ostatak u CutRite programu.....	12
Slika 9. Ploče iverice .....	14
Slika 10. Stroj na kojem su izvođena mjerenja vezana uz nesting tehnologiju .....	15
Slika 11. Stroj na kojem su izvođena mjerenja vezana uz tehnologiju kružne pile .....	16
Slika 12. Izgled prihvata alata (glodala) sa čahurom .....	17
Slika 13. Predrezač i glavna pila za krojenje elemenata.....	18
Slika 14. . Izgled sučelja programa tokom raskrajanja na stroju PANHANS EURO 5.1 .....	22
Slika 15. Mjerni alat za mjerenje pravokutnosti.....	23
Slika 16. Pomično mjerilo .....	24
Slika 17. Metar.....	24
Slika 18. Shema 1 krojenja svih elemenata izrađena softverom Pios.....	32
Slika 19. Slika ccc: Shema 2 krojenja svih elemenata izrađena softverom Pios.....	33
Slika 20. Shema 3 krojenja svih elemenata izrađena softverom Pios.....	33
Slika 21. Shema krojenja panela 1 izrađena softverom Panel Wizard.....	34
Slika 22. Shema 2 krojenja svih elemenata izrađena softverom Panel Wizard .....	34
Slika 23. Shema 3 krojenja svih elemenata izrađena softverom Panel Wizard .....	35
Slika 24. Statistički podaci pripreme krojenja softverom Panel Wizard.....	35
Slika 25. Shema 1 krojenja svih elemenata izrađena softverom Corpus .....	36
Slika 26. Shema 2 krojenja svih elemenata izrađena softverom Corpus .....	36
Slika 27. Shema 3 krojenja svih elemenata izrađena softverom Corpus .....	37
Slika 28. Statistički podaci pripreme krojenja Corpusom za sva tri panela odjednom .....	37
Slika 29. Analiza razlike krojenja kružnom pilom i nestingom na panelu 1 .....	39



Slika 30. Analiza razlika krojenja kružnom pilom i nestingom na panelu .....	40
Slika 31. Analiza razlika krojenja kružnom pilom i nestingom na panelu .....	41
Slika 32. Analiza razlika krojenja kružnom pilom i nestingom na panelu 1 .....	42
Slika 33. Analiza razlika krojenja kružnom pilom i nestingom na panelu 2 .....	43
Slika 34. Analiza razlika krojenja kružnom pilom i nestingom na panelu 3 .....	44

## Popis tabela

Tabela 1. Parametri glodala.....	17
Tabela 2. Parametri kružne pile.....	18
Tabela 3. Parametri kružne pile za predrezanje .....	19
Tabela 4. Rezultati mjerenja parametara utroška vremena kod krojenja glodalom ..	29
Tabela 5. Rezultati mjerenja parametara utroška vremena kod krojenja kružnom pilom.....	31
Tabela 6. rezultati odstupanja vrijednosti dimenzija od traženih širina elemenata na panelu 1.....	38
Tabela 7. Rezultati odstupanja vrijednosti dimenzija od traženih širina elemenata na panelu 2.....	40
Tabela 8. rezultati odstupanja vrijednosti dimenzija od traženih širina elemenata na panelu 3.....	41
Tabela 9. rezultati odstupanja vrijednosti dimenzija od traženih širina elemenata na panelu 1.....	42
Tabela 10. rezultati odstupanja vrijednosti dimenzija od traženih širina elemenata na panelu 2.....	43
Tabela 11. rezultati odstupanja vrijednosti dimenzija od traženih širina elemenata na panelu 3.....	43
Tabela 12. Formule za izračun fiksnih troškova.....	45
Tabela 13. Opis oznaka za fiksne troškove .....	45
Tabela 14. Formule za izračun varijabilnih troškova .....	46
Tabela 15. Opis oznaka za varijabilne troškove .....	46
Tabela 16. Proračunska tablica za upis podataka .....	47
Tabela 17. Proračunska tablica za upis i izračun podataka .....	48
Tabela 18. Izračun troškova za prvu ploču .....	49
Tabela 19. Izračun troškova za drugu ploču .....	50
Tabela 20. Izračun troškova za 3 ploču .....	51

## 1. UVOD

Danas se proizvodi sve više namještaja izrađenog od ploča na bazi drva nego takozvanog masivnog namještaja od punog drva što znači da je tehnologija krojenja ploča samim time postala jako bitna. Postoji velikoserijska proizvodnja pod koju spada krojenje velikih serija ploča od preko sto komada i taj posao rade velike tvrtke. Dok s druge strane postoji veliki dio manjih tvrtki koje imaju maloserijsku proizvodnju kao što je slučaj u Hrvatskoj. U radu ćemo se bazirati na maloserijskoj proizvodnji koja je ustvari izrada namještaja po mjeri. Za krojenje ploča koristi se ili nesting tehnologija ili tehnologija kružne pile, a te dvije tehnologije povezuje ili razdvaja softverska podrška. Danas je na tržištu prisutno više računalom upravljanih tehnologija krojenja drvnih ploča pri izradi namještaja. Korisnici tih tehnologija odnosno proizvođači namještaja često su u dilemi koju tehnologiju izabrati. Upotreba različitih tehnologija daje različite rezultate u ovisnosti o brojnim čimbenicima. U radu će se usporediti dvije različite tehnologije za proizvodnju namještaja sa posebnim naglaskom na upotrebi softvera za izradu shema krojenja. U maloserijskoj proizvodnji usporedba je moguća dok je u velikoserijskoj proizvodnji u prednosti tehnologija kružne pile. Ako pak govorimo o zakrivljenim elementima onda je priča jasna jer nesting omogućuje krivolinijsku obradu dok tehnologijom kružne pile možemo vršiti samo pravolinijsku obradu. Današnja tehnologija novih okova omogućila postavljanje okova bez potrebe bočnog bušenja i obrade ploča te je nesting u neupitnoj prednosti ali takvi okovi nisu još u široj primjeni i nećemo ih uzimati u obzir. U radu će se dakle usporediti dvije različite tehnologije pravolinijskog raskrajanje elemenata u maloserijskoj proizvodnji.

## 2. CILJ ISTRAŽIVANJA

Kod krojenja pravokutnih elemenata ***pretpostavka je da nesting obradom dobivamo veću efikasnost i kvalitetu*** nego kod obrade kružnom pilom. Efikasnost zato što se kod obrade kružnom pilom trebaju okretati ploče tokom raskrajanja dok se kod nesting obrade svi elementi odjednom kroje bez pomicanja ploče što je zasigurno brže. Kvaliteta bi također trebala biti bolja iz istoga razloga jer se čovjekovim okretanjem tj. pomicanjem ploče iz početnog stanja umanjuje daljnja točnost obrade. Stoga ćemo mjerenjem dimenzija i pravokutnosti ploča te mjerenjem trajanja krojenja ispitati dali je ta pretpostavka točna.

Također ćemo ispitati koliko odabir samog softvera utječe na utrošak materijala i vremena obrade, a koliko utječe odabir veličine korisnog ostatka koji se određuje u postavkama softvera. ***Pretpostavljamo da je značaj softverske podrške vrlo velik*** i da bi zanemarivanjem njegova značenja kod izbora tehnologije vrlo lako mogli pogriješiti kod izbora tehnologije.

Za potpunu usporedbu i odluku o izboru tehnologije uz apsolutnu važnost kvalitete obrade korisnici moraju voditi računa o zaradi odnosno isplativosti korištenja pojedine tehnologije. Potpuna usporedba ovih tehnologija moguća je samo na konkretnom slučaju odnosno uz potpunu određenost svih čimbenika. Takva bi usporedba bila značajna za jednog korisnika, a ostali od nje ne bi imali veliku korist. Stoga postavljamo ograničenje upotrebe ovih tehnologija isključivo na proces pravolinijskog krojenja elemenata, isključujući i mogućnost krojenja više panela odjednom. Uzimajući u obzir ova tri ograničenja, gore spomenute pretpostavke i trenutno stanje na tržištu ***pretpostavljamo da je nesting tehnologija u ekonomskoj prednosti*** odnosno isplativija za korištenje.

### **3. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA**

#### **3.1. TEHNOLOGIJA IZRADE ELEMENATA BAZIRANIH NA NESTINGU**

Pojam nesting dolazi od sjeverno američkih proizvođača montažni kuća. Kod tih proizvođača ogromne količine OSB i MDF ploča se režu na CNC strojevima prema zahtjevima kupaca, i idu odmah u daljnju obradu. Takva vrsta proizvodnje se koristi u proizvodnji i kod izrade namještaja. Karakterizacija ovakve obrade je da se obrađuju elementi većih dimenzija te cjelovita obrada u smislu da se element obrađuje odjednom u prolazu. To znači da se kod obrade ploče krojenje i bušenje vertikalnih rupa radi u jednoj operaciji, dok se bočne rupe buše zasebno.

Ovakvi tipovi CNC obradnih centara se temelje na dugotrajnim iskustvima u području nesting obrade i usvajanja visoko tehnoloških rješenja. Najvažniji aspekt nesting obrade je fiksiranje i samo držanje elemenata kojeg obrađujemo.

Izvedbe držanja elemenata:

- Vakumskim kanalom unutar strukture radnog stola
- Visoko kapacitetnim vakumom koncentriranim u području radnog stola tj. u području strojne obrade
- Pritisnim kliještima
- Pritisnim valjcima

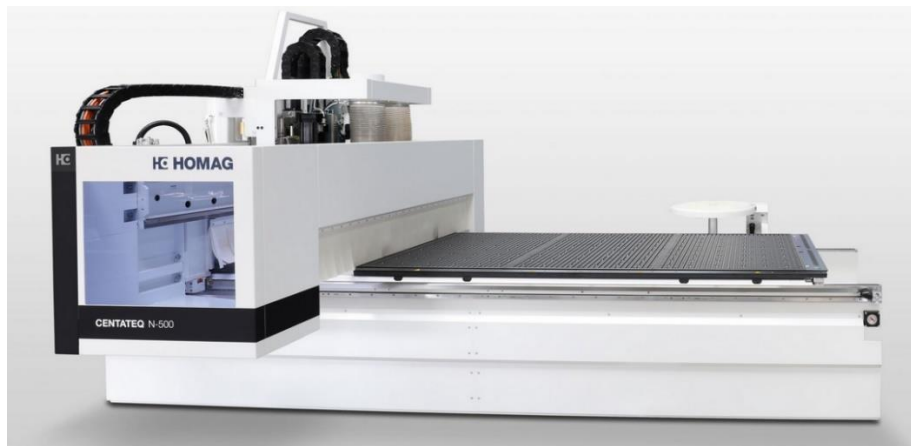
Integriranjem ovih CNC obradnih centara u automatizirane obradne linije dobije se:

- Veća produktivnost
- Smanjuje se broj radne snage
- Bolja organizacija proizvodnog toka

Mogu se upotrijebiti za:

- Pločaste okvire koji se kasnije montiraju

- MDF vrata pločastog namještaja
- Namještaj od šperploče kod manjih brodova



**Slika 1. Stroj baziran na nesting tehnologiji**

U nesting tehnologiji umjesto kružne pile za krojenje ploča se koristi glodalo. Glodala moraju biti što manjih promjera kako ne bi imali veliki gubitak materijala pa se promjeri glodala za upotrebu na standardnim debljinama ploča u rasponu do 25 mm kreću od 12-16mm. Rezne oštrice su izrađene od dijamanta. Najnovije tehnologije izrade glodala nude dugotrajnost, nisku razinu buke te velike brzine rezanja i posmaka. U ovoj obradi veliku prednost nad kružnim pilama daje mogućnost krivolinijskog kretanja alata (glodala) te mogućnost bušenja vertikalnih rupa u istoj operaciji.



**Slika 2. Alat (glodalo) u zahvatu kod krojenja ploča nesting tehnologijom**

### **3.1.1. KROJENJE PRAVOKUTNIH ELEMENATA**

Princip krojenja pravokutnih elemenata pomoću nesting tehnologiji je vrlo jednostavan. Imamo softver u koji upišemo dimenzije elemenata, a on izradi shemu krojenja tako da bude što veće iskorištenje materijala. Po toj shemi putuje alat tj. glodalo i vrši obradu panela kod kojeg se učvršćivanje postiže pomoću vakuma u ploči stola tog stroja. Kod obrade malih elemenata vakum djeluje na malu površinu te je sila prihvata manja. Zbog toga je moguće je da alat tokom obrade pomakne taj element jer je otpor rezanja konstantan bez obzira na veličinu obratka a površina na koju djeluje vakum je puno manja. Kako bi se ta pojava spriječila glodanje se ne vrši u jednom prolazu nego se nakon prvog prolaza ostavi oko 0,5 mm materijala za drugi prolaz kada je otpor rezanja puno manji pa je obrada do kraja moguća bez pomicanja elementa. Vertikalna bušenja se uvijek odrađuju prva te se tek onda obavlja krojenje panela a tako je i u osnovnim postavkama programa zadano. Nakon završetka krojenja radnik skine sve elemente te operacija može početi ispočetka. Elementi odlaze na horizontalno bušenje rupa i obradu utora te obradu rubova tj. kantiranje nakon čega su elementi spremni za montiranje u proizvod.

### **3.1.2. KROJENJE KRIVOLINIJSKIH ELEMENATA**

Kod krojenja krivolinijskih elemenata pomoću nesting tehnologije cijeli princip je isti kao i kod krojenja pravokutnih elemenata samo što je prethodno potrebno nacrtati krivolinijske elemente dok se prije obrade pravokutnih mogu unositi samo dimenzije elemenata.

## **3.2. TEHNOLOGIJA IZRADE ELEMENATA BAZIRANIH NA KRUŽNOJ PILI**

Krojenje elemenata moguće je izvršiti tračnim i ubodnim pilama ali zbog potrebe za vrhunskom preciznošću, velikom brzinom i kvalitetom rezanja najčešće se koristi tehnologija kružne pile.

Podjela kružnih pila po kvaliteti obrade i preciznosti rada:

- Stolne kružne pile – Stolne kružne pile su najjednostavniji strojevi koji se u proizvodnji koriste za raskrajanje pločastih materijala. Najčešće se sastoje se od pokretnog stola na koji je smješten obradak i mirujućeg stola na kojem se

nalazi graničnik za dimenzioniranje. Pokretni stol može imati dodatke za učvršćivanje obratka i njegovo pozicioniranje pod određenim kutom u odnosu na pilu. Najčešće se izvodi vertikalni rez ali moguće je rez izvesti pod određenim kutom u odnosu na vertikalu, a to se ostvaruje nagibom kružne pile. Raskrajanja se vrši na principu da se obradak gura ručno ili se kreće pomoću vodilica. Pozicioniranje se izvodi ručno prema mjernoj skali smještenoj na stroju pa do NC upravljanog pozicioniranja unošenjem vrijednosti u računalo na stroju. Ovakve strojeve karakterizira najmanja preciznost ali su najjeftiniji.



**Slika 3. Izgled stolne kružne pile**

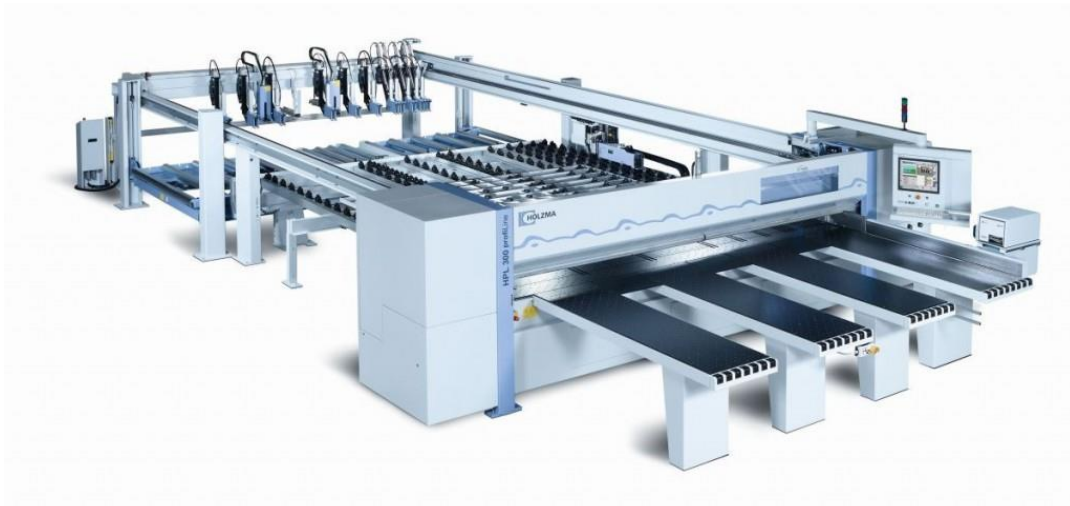
- Vertikalni raskrajači – Služe za proizvodnju u kojoj je potrebno brzo krojenje elemenata iz velikih panela. Njihov osnovni problem je mala preciznost pozicioniranja pile što dovodi do male točnosti obrade. Glavna prednost im je velika brzina tog pozicioniranja, te da pila može raditi vertikalni i horizontalni rez. Dodatna prednost je da zauzimaju malo prostora pa se lakše manevrira s obrađenim pločama. Vertikalnim raskrajačima se najčešće u grubo dimenzioniraju elementi koji ako je potrebno naknadno mogu ići na daljnju obradu.





**Slika 4. Vertikalni raskrajač**

Horizontalni raskajači – Precizniji od vertikalnih raskajača, nešto sporije raskrajanje pogotovo ako se stroj ne sastoji od automatskog ulaganja ploča jer treba više vremena za rukovanje pločama te ih je potrebno okretati nakon pojedinih operacija. Zauzimaju nešto više proizvodnog prostora i isplativi su samo kod većeg obujma posla. Mogućnost postavljanja podiznog stola koji uvelike olakšava proizvodnju u većim serijama te uz pokretni transporter povezuje proizvodni proces sa slijedećim strojem. Ovakav raskrajač se sastoji od radnog stola preko kojeg prelazi kružna pila te je opremljen pokretnim hvataljkama koje stavljaju ploče u položaj za rezanje. Kako se nebi oštetile površine za rezanje stalnim smicanjem elemenata opremljen je transportnim sustavom koji je kuglični ili na komprimirani zrak te ploče po njemu lagano klize. NC raskrajač omogućuje prethodno planiranje i programiranje svih parametara rada pomoću NC upravljačkog sustava što osigurava dodatnu preciznost i dobivanje proizvoda iznimne kvalitete. Ovakav tip raskarajča se najviše koristi u maloserijskoj i srednjeserijskoj proizvodnji kao što je slučaj u Hrvatskoj te će nam oni biti reprezentant u tehnologiji izrade elemenata baziranih na kružnoj pili.



**Slika 5. Horizontalni raskrajač**

CNC raskrajači – Pružaju najveću kvalitetu rezanja, a omogućuju izradu vertikalnih bušenja za spojna mjesta neposredno nakon ili prije krojenja bez premještanja obratka odnosno panela ili elementa. Koriste se većinom za pojedinačnu proizvodnju koja to cjenovno može opravdati jer su dosta sporiji od horizontalnih.

### **3.1.3. KROJENJE PRAVOKUTNIH ELEMENATA**

Ako imamo proizvodnju kod koje su nam potrebni samo pravokutni elementi krojimo ih na nekom od već navedenih strojeva. Najčešće je to horizontalni raskrajač kod kojega nakon uzdužnog raspiljivanja čovjek mora okretati elemente kako bi se obavilo poprečno raspiljivanje. Nakon obrade na raskrajaču elementi idu na obradu bušenja rupa i utora te obradu rubova tj. kantiranje nakon čega su spremni za montiranje u proizvod.

#### **Načini krojenja ploča:**

Ako nije u pitanju krivolinijsko krojenje ploča nego su rubovi ravni postoje tri načina:

- Šah shema
- Posmaknuta shema
- Posmaknuta shema uz primjenu sekundarnog stroja

### Krojenje ploča po šah shemi (velike serije proizvoda):

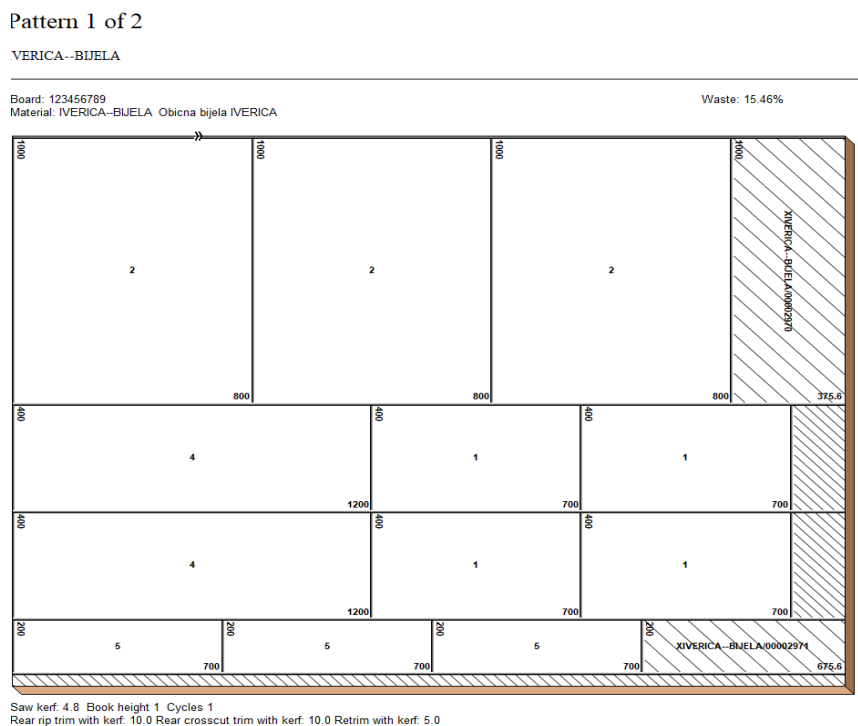
Prvo se kroji uzdužno, a zatim poprečno. Krojenjem na ovaj način postiže se vrlo velika produktivnost no najmanje iskorištenje materijala u odnosu na ostala dva načina. Koristi se za vrlo velike serije i kod jeftinijih materijala, imamo puno ploča s istom shemom te se one naslažu jedna a drugu i raskrajač pili više ploča od jednom.

### Krojenje ploča po posmaknutoj shemi (malo serijska proizvodnja):

Prvo se kroji uzdužno, zatim se provede posmak raspiljenih dijelova ploče te se nakon toga kroji poprečno. Niža je produktivnost ali je veće iskorištenje materijala u odnosu na šah shemu.

### Krojenje ploča po posmaknutoj shemi uz primjenu sekundarnog stroja (rijetko se koristi):

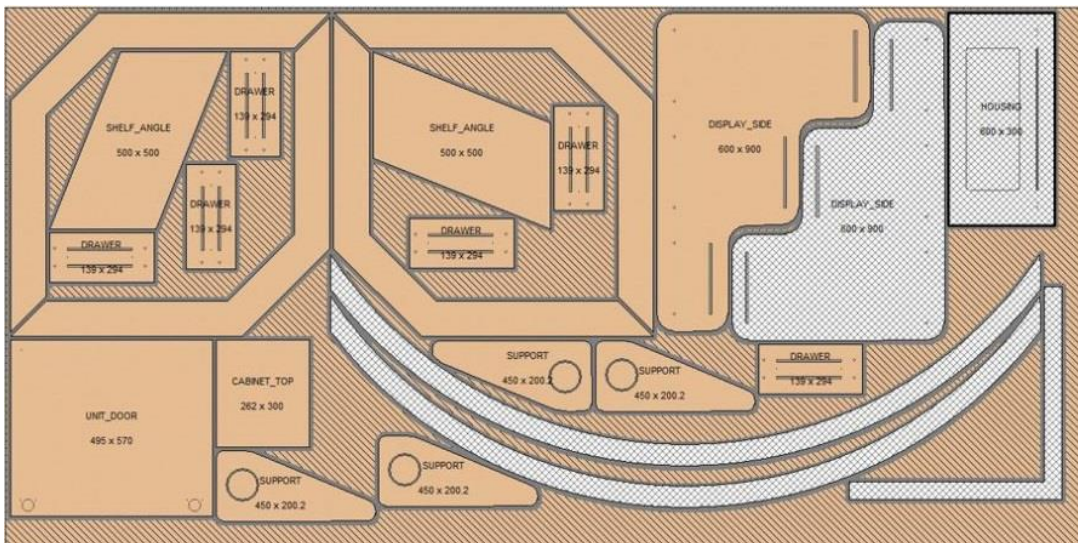
Krojenje se provodi kao i kod prethodne sheme samo što se pomoću sekundarnog stroja obavlja dodatna obrada kako bi iskoristili nastali otpadak. Produktivnost ove metode je još niža ali se postiže maksimalno iskorištenje materijala.



**Slika 6. Primjer izgleda sheme sastavljene od pravolinijskih elemenata u CutRite programu za optimiranje**

### 3.1.4. KROJENJE KRIVOLINIJSKIH ELEMENATA

Kod proizvodnje koja zahtijeva izradu krivolinijskih elemenata, a krojenje se vrši pomoću kružne pile potreban nam je još jedan dodatni stroj. Najčešće je to CNC stroj sa mogućnošću kretanja glave alata u tri glavne osi tj. 3-osni CNC. Kod izrade krivolinijskog elementa prvo se element obrađuje u kvadratni oblik na raskrajaču, a zatim 3-osni CNC vrši krivolinijsku obradu. Moguće je izrezivati više krivolinijskih elemenata iz jednog četvertastog komada što povećava iskoristivost materijala koja opet zavisi o obliku samog elementa. Kod takvog načina obrade postoji ograničenje broja papuča na stroju gdje kod standardnih izvedbi imamo 3 ili 4 reda po 3 papuče te su nam po elementu potrebne minimalno dvije papuče kako bi dobili kvalitetan oslonac. Osim toga kod obrade manjih elemenata imamo ograničavajući faktor a to je da postoji minimalni mogući razmak između dvije papuče te da element mora biti većih dimenzija od same papuče kako bi se mogao stvoriti potreban vakum. Ovo s vakumom ne vrijedi kod izvedbi gdje mehanički pričvršćujemo element.



Slika 7. Primjer izgleda sheme sastavljene od krivolinijskih elemenata

### 3.3. SOFTVERSKA PODRŠKA KOD KROJENJA DRVNIH PLOČA

Kada govorimo od načinima izrada shema krojenja one se mogu raditi i „pješke“ tj. manualno, ali se danas većinom radi pomoću računalnog programa tj. softvera za razkrojanje ploča. Primjena računala je uvijek isplativa bez obzira na količine koje se kroje osim eventualno kod stolnih kružnih pila gdje se kroje puno manje količine. Posebno je isplativa kod krojenja velikog broja različitih elemenata gdje se pomoću

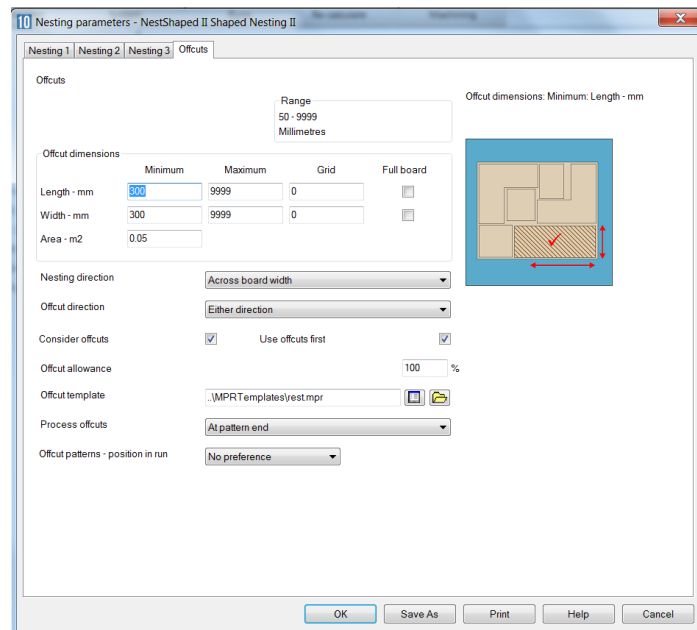
softvera postiže veliki postotak iskorištenja panela te ušteda vremena za izradu shema. Kod visoko serijske proizvodnje gdje se kroje velike serije elemenata program nam izlista puno istovrsnih shema krojenja. U tom slučaju možemo stavljati ploču na ploču i krojiti više ploča od jednom, odnosno onoliko koliko nam alat (kružna pila) dozvoljava. Te je to glavna prednost horizontalnih raskrajača naspram nesting tehnologije gdje je moguće raskrajati samo jedan po jedan panel. Naravno to vrijedi samo za visokoserijsku proizvodnju dok ćemo se mi u radu bazirati na maloserijskoj koja je ujedno i izrada namještaja po mjeri kao što je najčešći slučaj u proizvodnji namještaja u hrvatskoj.

Osnovni cilj krojenja je izrada što kvalitetnijih prikrajaka uz što veće iskorištenje sirovine i što manje troškove. Do toga cilja nas najčešće dovode razne vrste softvera za izradu shema krojenja. Kod „niže“ razine krojenja kod kojih koristimo stolne kružne pile sheme krojenja se najčešće izrađuju bez računalane podrške iako nema nikavog ograničenja da se koriste i najnapredniji softveri.

Na „višoj“ razini strojeva za krojenje poput horizontalnih raskrajača uobičajeno je da proizvođač u ponudi ima i softversko rješenje za izradu shema krojenja koje je direktno povezano/prilagođeno sustavu upravljanja strojem. Određeni broj proizvođača strojeva kreira i svoj softver dok drugi dio njih kupuje softvere od softverskih kuća koje tada dorađuju softver za primjenu na strojevima pojedinih proizvođača. (A.Guliš, 2016.) Korisniku je gotovo uvijek na raspolaganju da softver kupi odvojeno od stroja. U tom slučaju proizvođač stroja ne garantira za kompletnost usluge i navedene mogućnosti (specificirane performanse) odnosno učinkovitost stroja.

Unutar grupacije (vrste) softvera za izradu shema krojenja postoje podjele koje se odnose na njihove mogućnosti koje su popraćene i cjenovnim razredima. Najjednostavnije verzije s malo mogućnosti odabira omogućuju postavljanje elemenata na panel tako da koriste jedan od dva glavna principa, osigurati čim bržu izradu ili osigurati čim veće iskorištenje materijala.

Osim dva navedena principa softveri omogućuju veće ili manje reguliranje ostatka koji se može podijeliti na „otpad“ i „korisni ostatak“. Pri tome je otpad ostatak koji se koristi za potpuno drugu namjenu dok pod korisnim ostatkom podrazumijevamo njegovo korištenje u istoj namjeni kao i elementi koji ulaze u proizvodnju namještaja.



**Slika 8. Prikaz svih mogućnosti vezanih uz drveni ostatak u CutRite programu**

Kada govorimo o reguliranju korisnog ostatka imamo opciju podešavanja veličine minimalnog korisnog ostatka. Minimalna veličina se može postaviti kao minimalna površina ostatka ili kao minimalna dužina i širina ostatka. Ako je ostatak manji od podešenog onda se on naziva otpad i on se više ne koristi u izradi namještaja, a ako je ostatak veći od podešenog onda se on naziv korisni ostatak te on ide u skladište korisnih ostataka. Kod podešavanja veličine minimalnog korisnog ostatka moramo imati na umu da ako ga podesimo na manju površinu imati ćemo više korisnih ostataka te će nam za njih trebati i više prostora tj. veće skladište. Ako ga podesimo na veću površinu imat ćemo manju količinu većih korisnih ostataka te će nam trebati manje skladište za njih. Također to znači da ako imamo više korisnog ostatka da imamo i veće iskorištenje panela, dok s druge strane ako imamo manje korisnog ostatka imamo manje iskorištenje ali i manju potrebu za skladišnim prostorom. Isto tako proizvođač sam mora odrediti koja mu se opcija najviše isplati te prema tome treba odabrati minimalnu veličina korisnog ostatka. Primjerice pitanje je dali će se baš taj dekor ikad više koristiti i dali će mu trebati baš ti komadi manjih dimenzija. Uz sve to mora se reći da potreba za skladišnim prostorom ubrzano raste sa smanjivanjem veličine minimalnog korisnog ostatka. Svaki proizvođač mora pronaći svoju zlatnu sredinu koja će mu biti optimalna tj. najisplativlja.

Kod izrade shema krojenja postoji razlika između krivolinijskog i pravolinijskog krojenja. Za izradu sheme krivolinijskog krojenja potreban je dodatan program u

kojem se crtaju krivolinijski elementi ili se crta već gotov 3D proizvod iz kojega program prebaci izgled elemenata te mu po mogućnosti već i doda obrade ako je kompatibilan s programom za optimiziranje. Kod izrade sheme gdje se koriste samo pravolinijski elementi što je u Hrvatskoj najviše i slučaj nije nužno potreban dodatan program, nego je moguće samo dimenzije elemenata ubaciti u program za optimiziranje. Prednost programa u kojem se npr. kuhinja prikazuje u 3D sustavu je jako bitna kupcu jer si on lakše može predočiti prostor i cjelokupni izgled namještaja. Većina većih pa i manjih tvrtki danas ima 3D prikaz tako da je ta investicija svakom ozbiljnijem proizvođaču neizbježna.



## 4. MATERIJALI I METODE

Kako bi ostvarili zadane ciljeve ovog istraživanja sva potrebna mjerenja moraju biti stvarni tj. realni pokazatelji pa je shodno tome potrebno čim više istraživanja provesti u industrijskim uvjetima. Takvi uvjeti ujedno će rezultirati relevantnijim zaključcima jer će nam ukazati na postojanje i važnost nekih namjerno isključenih čimbenika. Iako neće biti uključeni u istraživanje njihovo će postojanje i značaj biti navedeni u raspravi.

### 4.1. IZBOR MATERIJALA

Materijal koji će se koristiti u ovome istraživanju biti će standardna troslojna iverica debljine 18 mm koja je oplemenjena dekorom koji je ustvari melaminska folija. Površinski dekor je manje bitan u ovom istraživanju jedino što u praksi bolji dekor poskupljuje samu cijenu ploče. Kvaliteta površinske folije u smislu bržeg zatupljivanja alata nije od velike važnosti tijekom procesa glodanja ili piljenja. Nakon duže obrade oštrice glodala ili pile se jednostavno zatupljuju. Zatupljivaje oštrice se najbolje vidi tako da se dekor tokom obrade počinje oštećivati na obrađenim rubovima. Što je kvalitetnija folija dekora, oštećenja će se pojavljivati znatno kasnije odnosno kod većeg stupnja istrošenosti alata.



Slika 9. Ploče iverice

Iverica debljine 18 mm komercijalno je naj zastupljenja vrsta pločastog materijala u proizvodnji namještaja. Postoje još i razne druge vrste kako debljina tako i proizvođača ploča. Na hrvatskom tržištu najzastupljenije su Eggerove i Kronošpanove ploče koje su se svojom kvalitetom i tradicijom istaknule u proizvodnji



pločastog namještaja. Od ostalih vrsta ploča najviše se koriste višeslojne furnirske te MDF i HDF ploče. Od ostalih materijala najčešće se koriste Compact ploče koje se koriste za fasadne obloge, ploče stolova koje moraju biti otporne na kemikalije te za ostale proizvode koji su izloženi utjecaju kiše ili povećane vlage zraka.

#### 4.2. IZBOR STROJA

Za potrebe ovog istraživanja odabrali smo dvije tvrtke, od kojih ćemo kod tvrtke Diart d.o.o. koristiti stroj za raskrajanje baziran na nesting tehnologiji pod nazivom CNC HOMAG WEEKE VANTAGE 28L.



**Slika 10. Stroj na kojem su izvođena mjerenja vezan a uz nesting tehnologiju**

Kod druge tvrtke J.u.A. Frischeis d.o.o. koristiti ćemo stroj PANHANS EURO 5.1 koji je baziran na tehnologiji kružne pile. Ti strojevi su u visokom cijenovnom rangu te pružaju dugotrajnost i pouzdanost rada te visoku kvalitetu.



Slika 11. Stroj na kojem su izvedena mjerenja vezana uz tehnologiju kružne pile

### **4.3. IZBOR ALATA**

#### **4.3.1. ALAT ZA KROJENJE NESTING TEHNOLOGIJOM – GLODALO**

Na HOMAG NESTING CNC stroju koristimo glodalo promjera 12 milimetara koje se nalazi na prihvat s čahurom. Prednost prihvata s čahurom je u mogućnosti mijenjanja vrste glodala koje se nalazi u čahuri ovisno o potrebi. Glodalo se vrti pomoću motora od 10 kW te je broj okretaja moguće regulirati od 5000 do 30 000 o/min ovisno o vrsti alata, prihvata i materijala koji se obrađuje. U ovom slučaju je odabrana maksimalna moguća brzina alata od 22 000 o/min te tu brzinu podržava prihvata alata i odabrana iverica s kvalitetnim dekorom.



Slika 12. Izgled prihvata alata (glodala) sa čahurom

Tabela 1. Parametri glodala

Parametar	
Opis alata	Alat za nadstolno glodanje (Leuco)
Broj alata	137
Radijus alata	6 mm
Promijer alata	12 mm
Maksimalni pomak	18 m/min
Maksimalni broj okretaja alata	22 000 o/min
Minimalni broj okretaja	15 000 o/min
Duljina alata sa čahurom	118, 7 mm
Dradna duljina alata	25 mm
Cijena alata	≈ 2000 kn
Prosječni vijek trajanja alata prema dužini reza	≈ 5000 m

#### 4.3.2. ALAT ZA KROJENJE TEHNOLOGIJOM KRUŽNE PILE

Na stroju PANHANS EURO 5.1 koristimo dvije kružne pile, prva kružna pila promijera 180 mm služi kao predrezač dok druga pila promijera 300 mm služi za piljenje glavnog reza tj. raskrajanje panela. Širina zubi tj. propiljka kod predrezača iznosi 4.3 mm dok kod glavne pile iznosi 4.4 mm. Prosječni vijek trajnja alata do ponovnog brušenja iznosi jednu smjenu, a u smijeni se raskroji 35-50 ploča ovisno o složenosti same sheme krojenja.



Slika 13. Predrezač i glavna pila za krojenje elemenata

Tabela 2. Parametri kružne pile

Parametar	
Opis alata	Kružna pila za raskrajanje (Freud)
Promijer alata	300 mm
Pomak alata	30 m/min
Broj okretaja alata	6500 o/min
Broj zubi	60
Širina propiljka	4,4 mm
Cijena alata	≈ 700 kn
Broj brušenja alata	≈15
Cijena brušenja alata	≈ 90 kn
Prosječni vijek trajanja alata do brušenja	≈ 1 smjena

Tabela 3. Parametri kružne pile za predrezanje

Parametar	
Opis alata	Kružna pila za predrezanje (Freud)
Promijer alata	180 mm
Pomak alata	30 m/min
Broj okretaja alata	1300 o/min
Broj zubi	36
Širina propiljka	4,3 mm
Cijena alata	≈ 400 kn
Broj brušenja alata	15
Cijena brušenja alata	≈60 kn
Prosječni vijek trajanja alata do brušenja	≈ 1 smjena

#### 4.4. USPOREDBA TEHOLOGIJA

U ovom poglavlju razraditi ćemo obje tehnologije u detalje te odrediti glavne činitelje za upotrebu u proračunima na temelju kojih će se testirati postavljene hipoteze. Odabir ključne tehnologije je bitan jer će proizvođač moći na temelju danih rezultata odabrati proizvodnju koja će mu biti financijski povoljnija, a nakon toga efikasnija i brža u smislu isporučivanja određene količine proizvoda.

Odabir tehnologije treba biti baziran na proizvodnom programu koji se na njoj planira raditi što znači da je potrebno početi s tehničkom razradom i pripremom koju u proizvodnji uglavnom obavljaju teholozi. Pod tehničkom pripremom se podrazumijeva crtanja zadanog dijela namještaja u prikladnom softveru gdje je moguć daljni prijenos dimenzija elemenata iz toga softvera u drugi koji omogućuje optimiranje i pripremu za obradu panela. Moguć je i unos samih dimenzija elemenata u softver za optimiranje ali je taj način puno sporiji. Nakon što optimira raspored elemenata na panel često se u drugom softveru zadaju obrade te je sve spremno za proizvodnju.

#### **4.4.1. POSTUPAK RASKRAJANJA PLOČE NA NESTING CNC STROJU**

Predpostavka je da su paneli za raskrajanje postavljeni uz stroj te prva radnja koju obavlja radnik je da najčešće dizalicom na vakum uhvati ploču te ju stavi na stol, izvuče graničnike na koje pozicionira ploču, pusti i provjeri vakum te pogleda dali je sve spremno za puštanje programa što sve u pravilu prosječno traje oko 90 sekundi. Nakon puštanja programa, stroj ili počinje s radom ili prije toga uzima alat – glodalo ako ono već nije u glavnom vretenu što za odabrani stroj traje 16 sekundi. Glodalo je u našem slučaju promijera 12 mm. Stroj dolazi do početne pozicije koju odredi softver na temelju predefiniranih postavki te počinje glodanje tj. krojenje panela. Ovisno o programu krojiti se može na dva načina. Prvi način je da se svaki element kroji posebno za sebe te se tu glodalo diže poslije obrade svakog elementa. Drugi malo brži način je da se glodalo ne diže od početka do kraja obrade te ustvari putuje po cijeloj shemi u „obliku zmiје“. Ako imamo elemente manjih veličina od iskustveno utvrđenog praga softver će utvrditi putanju odnosno kretanje glodala u dva prolaza. Na taj način nakon prvog prolaza alat ostavi od 0,05 do 0,1 mm debljine ploče te u drugom prolazu obradi ostatak. To se radi kako nebi došlo do pomicanja elementa koji su zbog svoje male površine učvršćeni manjom silom prihvata za površinu stola. Kada obrada završi stroj pokrene usisavač koji usiše piljevinu nastalu tokom obrade. Kod ove operacije treba paziti da se jako mali ostaci uklone ručno jer ih usisavač može podignuti pritom čega se stroj lagano zabie u njih i prepozna ih kao prepreku. Stroj automatski zna javljati grešku te ga je potrebno staviti na ručni mod i izgurati u početni položaj kako bi se greška mogla poništiti. Vrijeme usisavanja piljevine traje 27 sekundi. Nakon usisavanja stroj sa dijelom kojim usisava gura komade na stol gdje također treba paziti da ne zapne koji komad. Prosječno vrijeme guranja komada i eventualno uklanjanje nekih rubnih je 40 sekundi. Nakon toga slijedi ljepljenje naljepnica sa svim podacima na svaki element te odlaganje gotovih elemenata sa stola stroja na paletu, pokretni ili podizni stol za to namijenjen. Prosječno vrijeme trajanja procesa bez ljepljenja naljepnica je približno 145 sekundi. Poslije ove operacije slijedi novi proizvodni ciklus raskrajanja panela.

#### **4.4.2. POSTUPAK RASKRAJANJA PLOČE NA KRUŽNOJ PILI**

Kod tehnologije krojenja na principu kružne pile prvo sljedi stavljanje ploče na stol stroja. Ploča se diže dizalicom na vakum i pozicionira ručno ili kod modernijih postrojenja dolazi preko transportera do stroja te ju stroj sam automatski uzima i

pozicionira. U našem slučaju ploča se dizala preko vakum dizalice te se spušta na stol stroja, a pozicionira se tako da se gurne do graničnika koji su za to predviđeni. Kod kružne pile softver za optimiranje izradi takvu shemu gdje se prvo režu uzdužni rezovi tj. ploča se reže „na trake“. Svaka traka se odlaže na poseban stol uz stroj za kojeg je najbolje da ima automatsko podizanje kako bi se radniku što više olakšalo te kako bi se proces krojenja što više ubrzao. Nakon poprečnih rezova zavisno o elementima „traka“ se jedna po jedna okreće i stavlja tj. pozicionira na stol stroja te se vrše poprečni rezovi. Kod kompliciranijih shema postoji još koji dodatni uzdužni rez. Nakon što se izreže gotovi element radnik ljepi naljepnicu na svaki element koja sadrži bar kod te sve potrebne podatke za montažu. Nakon ljepljenja bar koda radnik stavlja element na paletu ili podizni stol što je zavisno o tehnološkom rješenju. Vrijeme ljepljenja naljepnica i vrijeme odlaganja gotovih elemenata se u većoj mjeri preklapa s vremenom krojenja jer dok stroj sam kroji poprečno elemente radnik za to vrijeme. Kod poprečnog krojenja „trake“ radnik ju samo prvi puta pozicionira, a nakon toga stroj si sam pomiće ploču na potrebnu dužinu. Prihvat ploče je na principu klješta. Kod modernijih strojeva postoji i automatsko ljepljenje naljepnica gdje program sam određuje gdje da ju stroj poljepi. Program radniku grafički pokazuje kako mora okrenuti ploču kod pozicioniranja te koji će se rezovi vršiti a trenutno pokazuje koji se element kroji i koji je trenutni rez što radniku u potpunosti olakšava rad i samanjuje mogućnost greške na minimum. Nakon raskrajanja elementi idu na vertikalna i horizontalna bušenja te potom i na kantiranje što je sve u nekim novim postrojenjima povezano transporerima i podiznim stolovima te više liči na linijsku proizvodnju.



Slika 14. . Izgled sučelja programa tokom raskrajanja na stroju PANHANS EURO 5.1

## 4.5. MJERENJE UTJECAJNIH ČIMBENIKA

### 4.5.1. UTVRĐIVANJE KVALITETE KROJENJA

#### 4.5.1.1. MJERENJE PRAVOKUTNOSTI

Kod izrade pravolinijskih elemenata jedno od najbitnijih „svojstava“ je da su susjedne stranice obrađene pod pravim kutom odnosno pod kutom od  $90^\circ$ . Naravno da ni jedan stroj ne može obraditi element da su mu svi kutevi točno pod  $90^\circ$  tj. uvijek postoje manja ili veća odstupanja. Ta odstupanja će se mjeriti pomoću sprave za mjerenje pravokutnosti (slika). No prije toga će se gledati dali elementi imaju potrebnu ravnost samih stranica. Ako će ravnost biti u granicama dopuštenih vrijednosti onda će taj element ići na mjerenje pravokutnosti, a ako će zakrivljenost biti prevelika onda se taj element neće mjeriti. Neravnost stranice elementa može nastati najčešće iz dva razloga. Prvi razlog je vezan uz nesting tehnologiju te mogućnost pomicanja manjih elemenata tokom obrade jer sila vakuma nije dovoljna na malu površinu elementa te ga glodalo jednostavno pomakne usljed obrade. Sila vakuma ovisi o hrapavosti površine same ploče te će prema tome glađa površina stvoriti bolji vakum nego neka iverica s dekor koji ima utisnute pore. Isto tako na silu vakuma utječe i ispunjenost stola koji ustvari generira sami vakum. U našem slučaju



je ploča dimenzija 2800 x 2070 mm što je standardna dimenzija ali je stol stroja veći te se zato na dio stola koji ne pokriva ploča može staviti gumeni tepih koji ustvari povećava vakum na samoj ploči. Drugi razlog neravnosti stranica elemenata se može javiti u obje tehnologije ali nije vezan za obradu nego je krivica na proizvođaču ploča jer su u ploči ostala zaostala naprezanja te se nakon obrade naprezanja oslobode i ploča se savije. Takav tip neravnosti je puno češći i izraženiji kod dugih i uskih elemenata dok se kod četvertastih u pravilu ne događa. Tako je i kod mjerenja pravokutnosti veća vjerojatnost da će veći i duži elementi imati manju točnost pravokutnosti. Pravokutnost će se mjeriti na elementima izrađenima pomoću tehnologije kružne pile i pomoću nesting tehnologije tj. glodala. Nakon mjerenja će se usporediti rezultate te dvije tehnologije. Kada govorimo o pravokutnosti kod tehnologije kružne pile moramo znati da na pravokutnost ne utječe samo točnost obrade stroja jer element između operacije uzdužnog i poprečnog rezanja pomiće tj. radnik okreće element za 90°. Zbog toga se mogu dogoditi veća odstupanja pravokutnosti nego kod nesting tehnologije gdje cijeli panel miruje tokom izvođenja svih operacija te ćemo vidjeti dali je ta pretpostavka točna i ako je dali su odstupanja značajna ili ne. Primjerice kod izrade većih i dužih elementima puno više do izražaja dođe netočnost obrade u smislu pravokutnosti.



**Slika 15. Mjerni alat za mjerenje pravokutnosti**

#### 4.5.1.2. MJERENJE DIMENZIJA

Drugi bitni parametar kod izrade elemenata je sama točnost dimenzija elementa, a to je ustvari sama dužina i širina elementa koja će se mjeriti pomičnim mjerilom i metrom. Pomičnim mjerilom će se mjeriti manji elementi do 600 mm duljine jer samo pomično mjerilo ima takav najveći mogući raspon. Pomično mjerilo ima točnost mjerenja na treću decimalu milimetra, ali mi ćemo zaokruživati na prvu decimalu jer za elemente nije potrebna veća točnost.



Slika 16. Pomično mjerilo

Veći elementi od 600 mm mjeriti će se metrom koji ima točnosti do milimetra a mi ćemo sami očitati približnu vrijednost prve decimale. Mjerenje se na svakom elementu izvodi po jednom na svakom kraju elementa tj. dva mjerenja za širinu i dva mjerenja za dužinu elementa.



Slika 17. Metar

#### **4.4.3. UTVRĐIVANJE UTROŠKA VREMENA OBRADJE PRAVOKUTNIH ELEMENATA**

Mjerit će se utrošak vremena prihvata panela s vakumskom dizalicom, stavljanja panela na radni stol stroja, pozicioniranje panela te puštanje programa za obradu. Nakon toga se mjeri trajanja cjelokupnog procesa obrade glodalom ili kružnom pilom u koju je kod nesting obrade uključeno i usisavanje piljevine s panela. Mjerimo i vrijeme odlaganja elemenata s stola stroja na paletu ili pomični stol. Kod raskrajanja kružnom pilom utrošak vremena će se mjeriti na isti način kao i kod nesting tehnologije s time da je jedina razlika što kod kružne pile čovjek poslije svake operacije mora pomicati i okretati panel ili dio panela jer je kretanje kružne pile uvijek po istoj osi. Uračunati ćemo i utjecaj odabira softvera te utjecaj minimalnog korisnog ostatka koji u manjoj mjeri utječu na samo vrijeme raskrajanja.

Različiti softveri rade različite sheme krojenja, a u radu će se usporediti četiri: Pios, Cut Rite, Panelwizard i Corpus. Svakom softveru će se zadati isti elementi te ćemo vidjeti razlike u samim shemama krojenja te koliko sami softver utječe na utrošak materijala. Isto tako u programu će se podešavati minimalni korisni ostatak te vidjeti dali taj parametar utječe na sami utrošak materijala.

#### **4.4.4. UTVRĐIVANJE TROŠKA IZRADE PRAVOKUTNIH ELEMENATA**

Brojni su čimbenici koji utječu na ukupni trošak proizvodnje elemenata za izradu namještaja od ploča. Za potrebe usporedbe troška korištenja odabranih tehnologija izradit će se proračunaka tablica kojom će se za svaku moguću shemu krojenja odnosno za svaki odabir materijala, strojeva, postupaka rukovanja elementima i drugim moći proračunati trošak dviju tehnologija. Proračunska tablica biti će testirana mjerenjima provedenim u ovom istraživanju te će se na taj način provjeriti postavljene hipoteze.

Glavna razlika između odabranih tehnologija je u samom alatu kojim se vrši obrada. Širina propiljka je kod nesting tehnologije je najčešće od 12-16 mm dok je kod tehnologije kružnih pila oko 4 mm. U našem slučaju kod nesting tehnologije debljina glodala je 12 mm što odgovara širini propiljka kod jednog slučaja raskrajanja gdje glodalo putuje u obliku „zmije“ tj. ne diže se posebno za svaki element. Kod drugoga slučaja gdje se glodalo diže i spušta posebno za svaki element propiljak

iznosi 13 mm jer se obrada vrši posebno za svaki element te se time dobije bolja kvaliteta obrade. Kod obrade kružnom pilom propiljak je u našem slučaju 4,4 mm. Zbog razlike u debljini više će biti otpada tj. piljevine kod nesting tehnologije. Te razlike kod maloserijske proizvodnje u većini slučajeva nisu značajne. Razlika je veća što je više malih elemenata na panelu tj. ta razlika u iskoristivosti samog panela je ovisna o broju samih rezova, što znači da se brojem elemenata smanjuje iskoristivost panela. Ovi će čimbenici kao i brojni drugi utvrđeni razmatranjem tehnologija i promatranjem rada na njima također biti uvršteni u proračunsku tablicu.

## **5. REZULTATI I DISKUSIJA**

Kako je u gospodarstvu odnosno u gospodarenju odavno poznata izreka da je vrijeme novac i u ovom istraživanju vrijeme će biti središnji čimbenik u proračunima vrijednosti odnosno utjecaja pojedinih čimbenika promatranih tehnologija.

### **5.1. UTVRĐIVANJE ISKORISTIVOSTI ALATA**

Usporedba upotrebe dva različita alata za krojenje elemenata te dvije tehnologije koje te alate vode kroz obradu uz softversku podršku naj uočljiviji je čimbenik ovog diplomskog rada. Na konačni rezultat ovog diplomskog rada znatno može utjecati sami izbor vrste alata što svaki poslodavac treba uzeti u obzir kod usporedbe dostupnih tehnologija odnosno odabira odgovarajuće tehnologije za svoju proizvodnju.

Svaki alata ima svoj vijek trajanja odnosno vrijeme rada u kojem je u mogućnosti pružiti zadovoljavajući izgled površine materijala odnosno estetskih svojstava područja materijala koji su u proizvodnji izloženi mehaničkoj obradi. Pa tako promatrani alati imaju svoj vijek trajanja koji je u ovom slučaju iskustveno utvrđen promatranjem izrađenih obradaka. Kod glodala promjera 12 mm sa dijamantnim oštricama brušenje je potrebno nakon približno 5000 m obrade dok je kod kružne pile promjera 300 mm sa 60 zubi moguće odraditi do 2800 m obrade što približno odgovara trajanju 1,5 smjena (8\*1.5 sati rada). Ponekad se alat zatupi mnogo ranije a ponekad može „izdržati“ mnogo više međutim u promatranim proizvodnjama nije moguće trošiti previše vremena na kontrolu i izmjenu alata pa se izmjena najčešće obavlja na kraju radne smjene. Nakon što alati dođu približno do tih vrijednosti da površine obradka postaju ne prihvatljive te je alate potrebno zamijeniti i/ili nabrusiti. Svaki alat je moguće određen broj puta brusiti. Dijamantnu oštricu korištenog glodala od 12 mm moguće je brusiti približno 7 puta te brušenje približno košta 750 kn dok je kružu pilu promjera 300 mm sa 60 zubi od tvrdog metala moguće brusiti prosječno 15 puta uz cijenu brušenja oko 90 kn.

### **5.2. UTVRĐIVANJE UTROŠKA VREMENA OBRADE**

Tokom obrade tj. krojenja elemenata izmjerena su vremena za krojenje na nesting tehnologiji na principu 2 vrste softverskih rješenja. Jedno softversko rješenje je napravljeno u softverom Corpus te su se elementi iz dvije ploče krojili prema tako izrađenoj shemi. Kod obrade ovakvim načinom glodalo je obradu vršilo po principu

takozvane zmije gdje alat cijelo vrijeme krojenja putuje kroz materijal te se ne diže i ne spušta pojedinačno za svaki komad. Drugo rješenje je bilo da se u programu Imos sve nacrti te da on dodijeli sve obrade i takvi elementi se kroz softver za optimiranje CutRite rasporede za obradu na panel te se kod takvog rješenja alat spušta i diže posebno za svaki element koji obrađuje. Zbog kvalitetnije obrade kod ovog se načina krojenja između elemenata postavi veći razmak od širine „propiljka“ kako bi glodalo obradilo svaki element posebno. Taj se razmak u tvrtki Diart je postavi na 16 mm što znači da u prvom prolazu gloda 12 mm dok u drugom 4 mm od ukupne širine između elemenata. Kod tehnologije krojenja kružnom pilom korišten je PIOS softver za optimiranje u koji su se upisale dimenzije elemenata te ih je softver prema svojim postavkama optimalno rasporedio na panel.

#### *FORMULA ZA IZRAČUN UTROŠKA VREMENA ZA KROJENJE ELEMENATA NESTING TEHNOLOGIJOM*

Proučavanjem nesting tehnologije krojenja uočeni su sljedeći parametri ukupnog vremena krojenja:

$V_{PP}$  – Vrijeme uzimanja, postavljanja i pozicioniranja ploče na radni stol stroja

$V_{O-ukupno}$  – Vrijeme obrade ploče

$V_{UG}$  – Vrijeme usisavanja piljevine i guranja komada na stol za prihvrat komada

$V_{OE}$  – Vrijeme odlaganja gotovih elemenata

$V_{IA}$  – Vrijeme izmjene alata

$V_{O-ukupno} = t_{obrade} + V_{ostalo}$

$t_{obrade}$  – vrijeme obrade glodalom

$V_{ostalo}$  – vrijeme dizanja, spuštanja i pozicioniranja glodala

$$t_{obrade} = \frac{l_{reza}}{V_{obrade}}$$

$l_{reza}$  – ukupna duljina svih rezova na ploči

$V_{obrade}$  – brzina pomaka alata

$$V_{IA} = \frac{V_{Izmijene}}{n_{ploča}}$$

$V_{Izmijene}$  – Vrijeme izmjene alata

$n_{ploča}$  – broj ploča koje alat obradi između brušenja

i izrađena je sljedeća formula za izračun:

$$V_{PP} + V_{O-ukupno} + V_{UG} + V_{OE} + V_{IA} = t_{krojenja}$$

**Tabela 4. Rezultati mjerenja parametara utroška vremena kod krojenja glodalom**

Opis operacije (Nesting)	Potrebno vrijeme (sekunde)			
	Bez dizanja alata			S dizanjem alata
	Ploča 1	Ploča 3	Prosijek mjerenja	Ploča 2
Vrijeme prihvata i postavljanja panela na radni stol stroja + pozicioniranje panela + puštanje programa	93	81	87	91
Ukupno vrijeme obrade panela glodalom (od puštanja programa do usisavanja piljevine)	217	305	261	419
Vrijeme usisavanja piljevine i guranja komada na prihvatni stol za odlaganje elemenata	60	50	55	45
Vrijeme odlaganja gotovih elemenata	148	151	150	163
Vrijeme obrade panela glodalom	34	36	35	27
Vrijeme izmjene alata	120	120	120	120
<b>Ukupno</b>	<b>672</b>	<b>743</b>	<b>708</b>	<b>865</b>

**FORMULA ZA IZRAČUN UTROŠKA VREMENA ZA KROJENJE ELEMENATA  
TEHNOLOGIJOM KRUŽNE PILE**

Proučavanjem nesting tehnologije krojenja uočeni su sljedeći parametri ukupnog vremena krojenja:

$V_{PP}$  – Vrijeme uzimanja, postavljanja i pozicioniranja ploče na radni stol stroja

$V_{O-ukupno}$  – Vrijeme obrade ploče

$V_{IA}$  – Vrijeme izmjene alata

$$V_{O-ukupno} = \frac{V_{OE} \cdot 10}{100} + t_{obrade} + V_{ostalo} + (V_{okretaja} \cdot x_{okretaja})$$

$V_{OE}$  – Vrijeme odlaganja gotovih elemenata

$t_{obrade}$  – vrijeme obrade kružnom pilom

$$t_{obrade} = \frac{l_{reza}}{V_{obrade}}$$

$l_{reza}$  – ukupna duljina reza

$V_{obrade}$  – posmak alata

$V_{ostalo}$

– vrijeme dizanja, spuštanja i pozicioniranja pile te prihvata i guranja elemenata

$V_{okretaja}$  – Vrijeme potrebno za okretanje dijela ploče

$n_{okretaja}$  – Broj dijelova ploče za okretanje

$$V_{IA} = \frac{V_{Izmijene}}{n_{ploča}}$$

$V_{izmijene}$  – Vrijeme izmjene alata

$n_{ploča}$  – broj ploča koje alat obradi između brušenja

i izrađena je sljedeća formula za izračun:

$$V_{PP} + V_{O-ukupno} + V_{IA} = t_{krojenja}$$

Kod krojenja elemenata na kružnoj pili vrijeme obrade ploče ( $V_{O-ukupno}$ ) sadrži i vrijeme odlaganja gotovih elemenata i vrijeme okretanja dijela ploče zbog



poprečnog reza. Oko 90% vremena odlaganja gotovih elemenata se preklapaju sa procesom obrade dok se ukupno vrijeme obrade povećava za približno 10% ukupnog vremena potrebnog za odlaganje. Broj okretanja dijelova panela ovisi o broju elemenata te u najvećoj mjeri o softveru za optimiziranje. Ukupno vrijeme sadrži i vrijeme obrade panela dok je kružna pila u zahvatu. Ostalo vrijeme odnosi se na dizanje i spuštanje pile odnosno njeno pozicioniranje za obradu tena kretanje grede za učvršćivanje obratka kao i na pozicioniranje dijelova panela za novo piljenje.

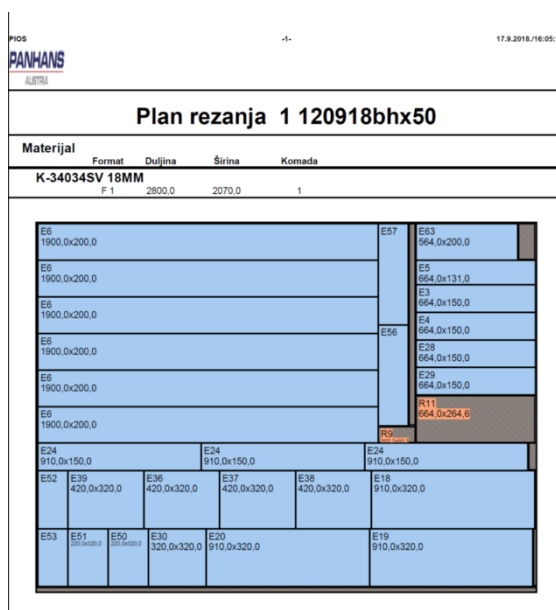
**Tabela 5. Rezultati mjerenja parametara utroška vremena kod krojenja kružnom pilom**

Opis operacije (Kružna pila)	Potrebno vrijeme (sekunde)			
	Ploča 1	Ploča 2	Ploča 3	Prosijek mjerenja
Vrijeme prihvata i postavljanja panela na radni stol stroja + pozicioniranje panela + puštanje programa	33,5	37	39	36,5
Vrijeme obrade ploče kružnom pilom + vrijeme okretanja panela + dio vremena koji se gubi za odlaganje elemenata	640	757	671	689,3
Vrijeme izmjene alata po jednoj ploči kod obrade 35 panela u smjeni	7	7	7	7
<b>Ukupno</b>	<b>680</b>	<b>801</b>	<b>717</b>	<b>733</b>
Vrijeme potrebno za x okretanja na jednom panelu	10 * x1	10 * x2	10 * x3	$\frac{10}{3} * (9+11+9)$
broj okretaja elemenata kod krojenja panela (x)	9	11	9	10
<b><u>Podijela ukupnog vremena obrade</u></b>				
Vrijeme okretanja	90	110	90	97
Vrijeme odlaganja gotovih elemenata	170	216	196	194
Vrijeme kojim se produžuje trajanje obrade kod odlaganja elemenata (10% od ukupnog vremena odlaganja)	17	21,6	19,6	19
Vrijeme obrade panela kružnom pilom	20	22	16	19

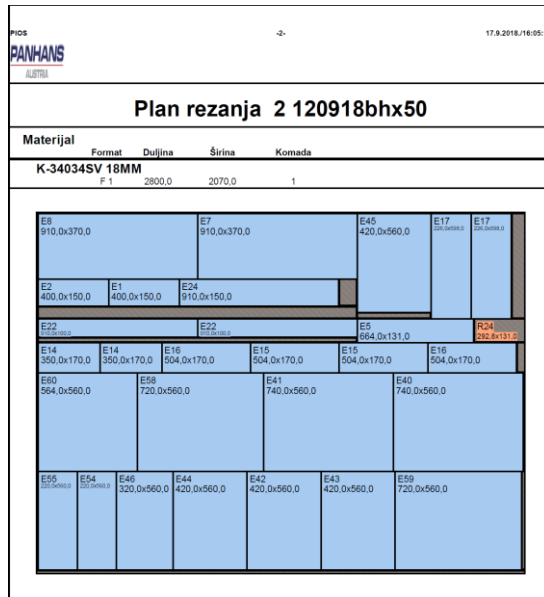
Ostalo vrijeme - vrijeme dizanja, spuštanja i pozicioniranja pile te prihvata i guranja elemenata	513	604	545	554
---	-----	-----	-----	-----

Rezultati prikazani u tablicama xx i xy odnose se na pogonska mjerenja i nije ih pouzdano koristiti u proračunima koji se odnose na druge strojeve i druge proizvodnje.

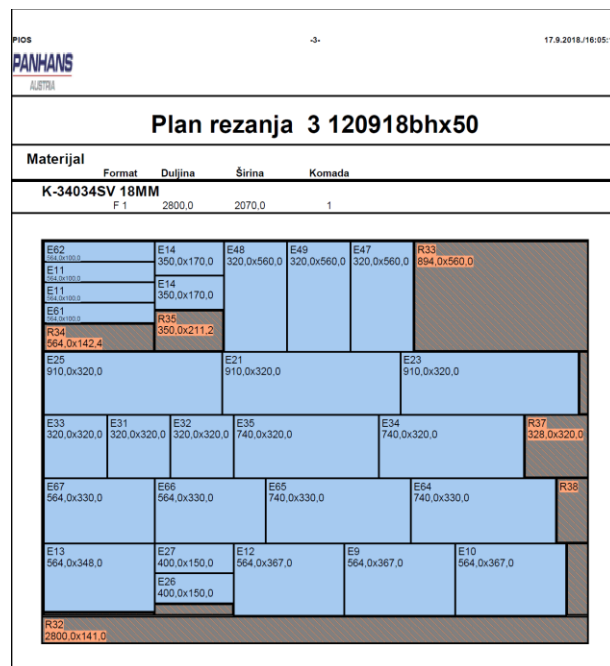
Jedan od najvažnijih elemenata utroška vremena odnosi se na kvalitetu izrađenih shema piljenja. Stavili smo iste elemente u 3 različita softvera te smo dobili različite sheme krojenja kod svakoga od njih. Prva dva softvera su namijenjena isključivo za krojenje elemenata pomoću tehnologije kružne pile, to su PIOS i PanleWizard. Kada malo promotrimo izradu njihovih shema vidimo da PIOS radi jednostavnije sheme s manje potrebe za okretanjima panela što sigurno ubrzava proizvodni proces. Dok je s druge strane PanelWizard više pazi na samo iskorištavanje panela jer mu je ostao veći korisni ostatak. Treći softver pod nazivom Corpus ima mogućnost korištenja za izradu shema kod tehnologije kružne pile i kod nesting tehnologije. On je sličniji PIOS-u jer također radi sheme koje imaju manje okretanja dok mu je maksimalna iskoristivost panela u drugome planu. Svaki proizvođač treba sam odabrati što mu se više isplati, dali veća iskoristivost materijala ili veća brzina krojenja samih elemenata.



Slika 18. Shema 1 krojenja svih elemenata izrađena softverom Pios



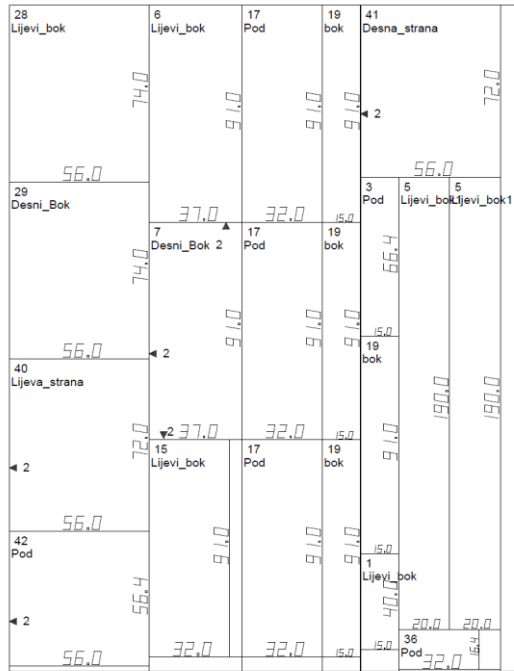
Slika 19. Slika ccc: Shema 2 krojenja svih elemenata izrađena softverom Pios



Slika 20. Shema 3 krojenja svih elemenata izrađena softverom Pios

Program:	"PW900.70"	PanelWizard,	Tel. 098 312 904
Radni nalog:	krojenje 3 p	Optimira:	SF
Kupac:		Duljina reza:	30.2 m
Materijal:	W980_ST12	Rezati komada:	1
Dimenzija:	280 x 207 cm	Iskorištenje:	93.84 %
God:	Da	Datum:	27.09.2018.
Debljina reza:	5 mm	List:	1 od 3

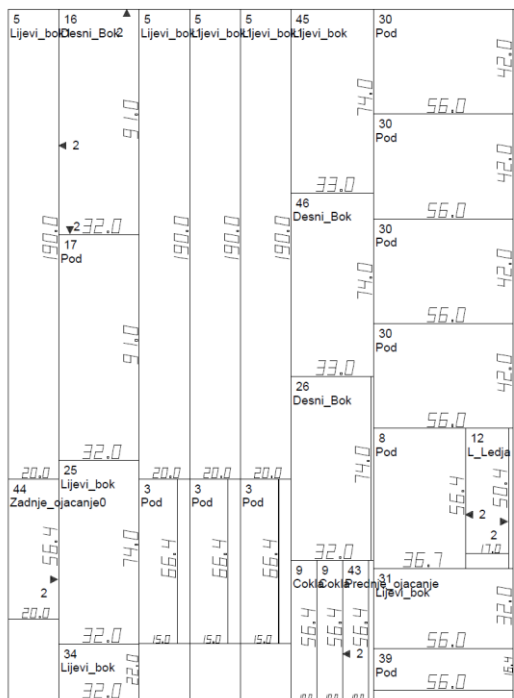
*Napomena: iskorištenje je izračunato u odnosu na optimiranu dimenziju panela, uz izuzeće korisnog ostatka.*



Slika 21. Shema krojenja panela 1 izradena softverom Panel Wizard

Program:	"PW900.70"	PanelWizard,	Tel. 098 312 904
Radni nalog:	krojenje 3 p	Optimira:	SF
Kupac:		Duljina reza:	33.4 m
Materijal:	W980_ST12	Rezati komada:	1
Dimenzija:	280 x 207 cm	Iskorištenje:	92.74 %
God:	Da	Datum:	27.09.2018.
Debljina reza:	5 mm	List:	2 od 3

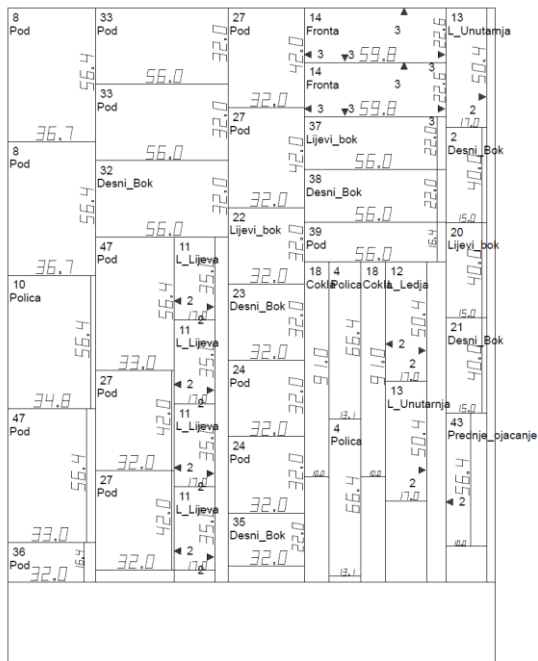
*Napomena: iskorištenje je izračunato u odnosu na optimiranu dimenziju panela, uz izuzeće korisnog ostatka.*



Slika 22. Shema 2 krojenja svih elemenata izradena softverom Panel Wizard

Program:	"PW900.70"	PanelWizard	Tel. 098 312 904
Radni nalog:	krojenje 3 p	Optimirač:	SF
Kupac:		Duljina reza:	40.4 m
Materijal:	W980_ST12	Rezati komada:	1
Dimenzija:	280 x 207 cm	Iskorištenje:	76.51 %
God:	Da	Datum:	27.09.2018.
Debljina reza:	5 mm	List:	3 od 3

Napomena: iskorištenje je izračunato u odnosu na optimiranu dimenziju panela, uz izuzeće korisnog ostatka.

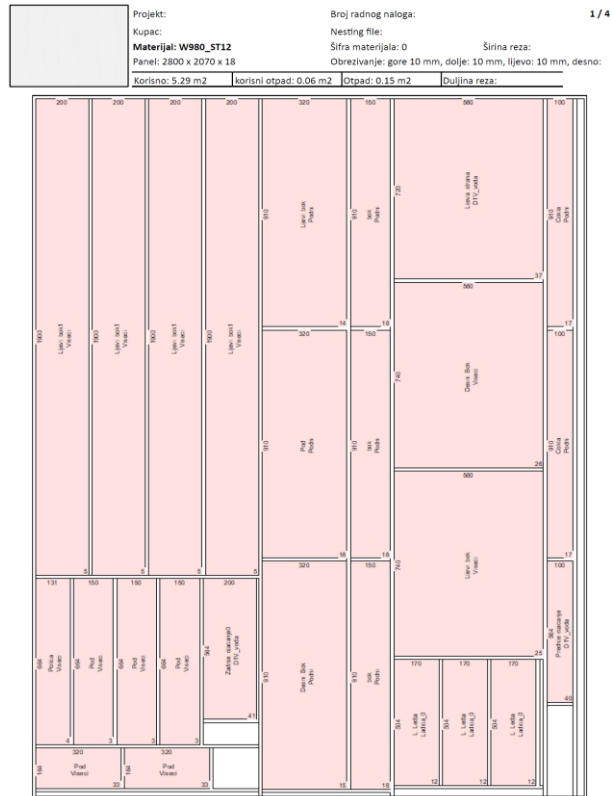


Slika 23. Shema 3 krojenja svih elemenata izrađena softverom Panel Wizard

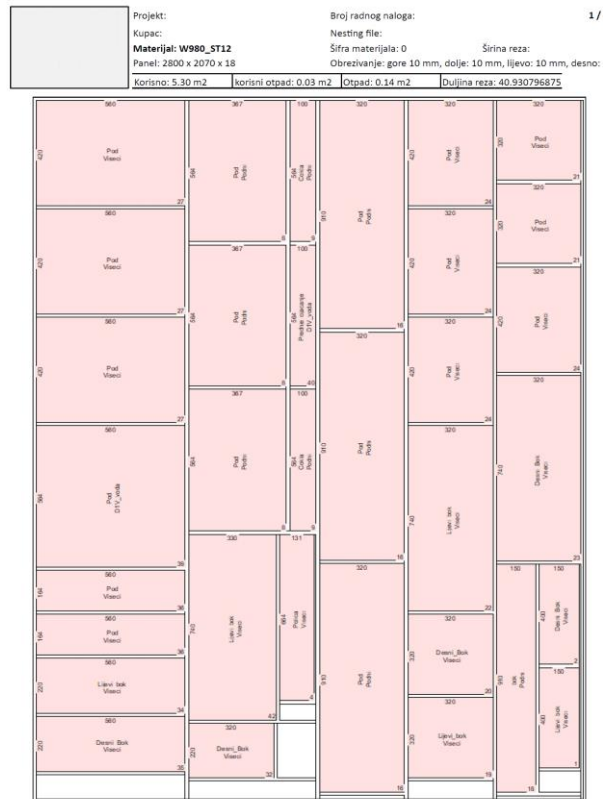
<b>Ukupna količina svih ploča:</b>			
<b>Površina svih ploča: 17.39 m2</b>			
<b>Površina za naplatu: 17.39 m2</b>			
<small>Površina za naplatu je informativna a kod izračunavanja uzet je u obzir koristan ostatak.</small>			
<small>Korišten kriterij za koristan ostatak: ploča kojoj su obje mjere veće od 400 mm, a površina veća od 1 m2</small>			
<small>NAPOMENA: Prodajni centar može imati drugačiji kriterij za određivanje korisnog ostatka odnosno za naplatu.</small>			
<b>Ploče:</b>			
Materijal:	W980_ST12		
Dimenzija panela:	2.80 x 2.07 m		
Broj potrošenih ploča:	3		
Ukupno iskorištenje:	87.13 %		
God:	Da		
Debljina reza:	5 mm		
<b>Ploče - skladišne oznake</b>			
280 x 207 cm 3 kom. Skladišna oznaka: P-374 Stanje: 0Kom.			
<b>Iskorištenje materijala</b>			
Ploča br.	Dimenzija	Iskorištenje	Rez (m) Kom.
1	280 x 207 cm	93.26 %	30.2 1
2	280 x 207 cm	92.10 %	33.4 1
3	280 x 207 cm	76.04 %	40.4 1
<small>Napomena: iskorištenje je izračunato u odnosu na originalnu dimenziju ploče prije rubljenja, bez korisnog ostatka.</small>			

Slika 24. Statistički podaci pripreme krojenja softverom Panel Wizard

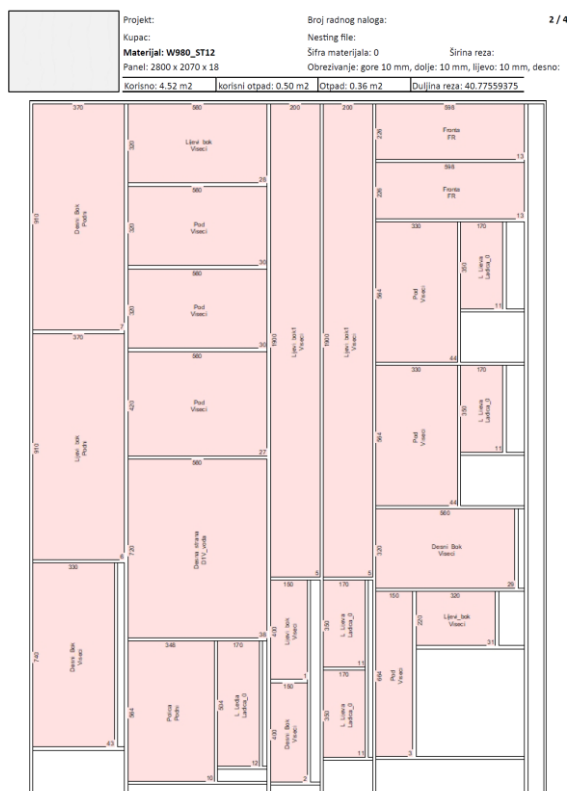
za sva tri panela odjednom



Slika 25. Shema 1 krojenja svih elemenata izradena softverom Corpus



Slika 26. Shema 2 krojenja svih elemenata izradena softverom Corpus



Slika 27. Shema 3 krojenja svih elemenata izrađena softverom Corpus

## Statistika rezanja

Naziv materijala: W980_ST12
Šifra materijala: 0
Puni naziv materijala:
Proizvođač materijala:
EAN:

Broj ploča:	3 kom	17.3880 m <sup>2</sup>
Izrezano komada:	84 kom	15.11 m <sup>2</sup>
Korisni otpad:	10 kom	0.60m <sup>2</sup>
Otpad:	0.65169153125 m <sup>2</sup>	
Površina reza:	1.40338533038331 m <sup>2</sup>	
Duljina reza:	123.10398046875 m	

Slika 28. Statistički podaci pripreme krojenja Corpusom za sva tri panela odjednom

Potrebno je svakako napomenuti da je za potrebe ovog istraživanja izražene sheme krojenja na dva načina što je rezultiralo na dva različita načina. Za potrebe mjerenja utroška vremena krojenja izrađene su sheme krojenja zasebno za svaki panel tako da se rezultat mjerenja utroška vremena odnosi na iste elemente. Taj je rezultat značajno različit u odnosu kada gledamo sheme različitih softvera za sva tri panela zajedno u nizu odnosno sa svim elementima odjednom. Tek se takvom izradom shema za više elemenata odjednom može primjetiti razlika u ostvarivanju različitih iskorištenja kod izrade shema krojenja različitim softverima.

### 5.3. UTVRĐIVANJE KVALITETE KROJENJA – MJERENJE DIMENZIJA I PRAVOKUTNOSTI

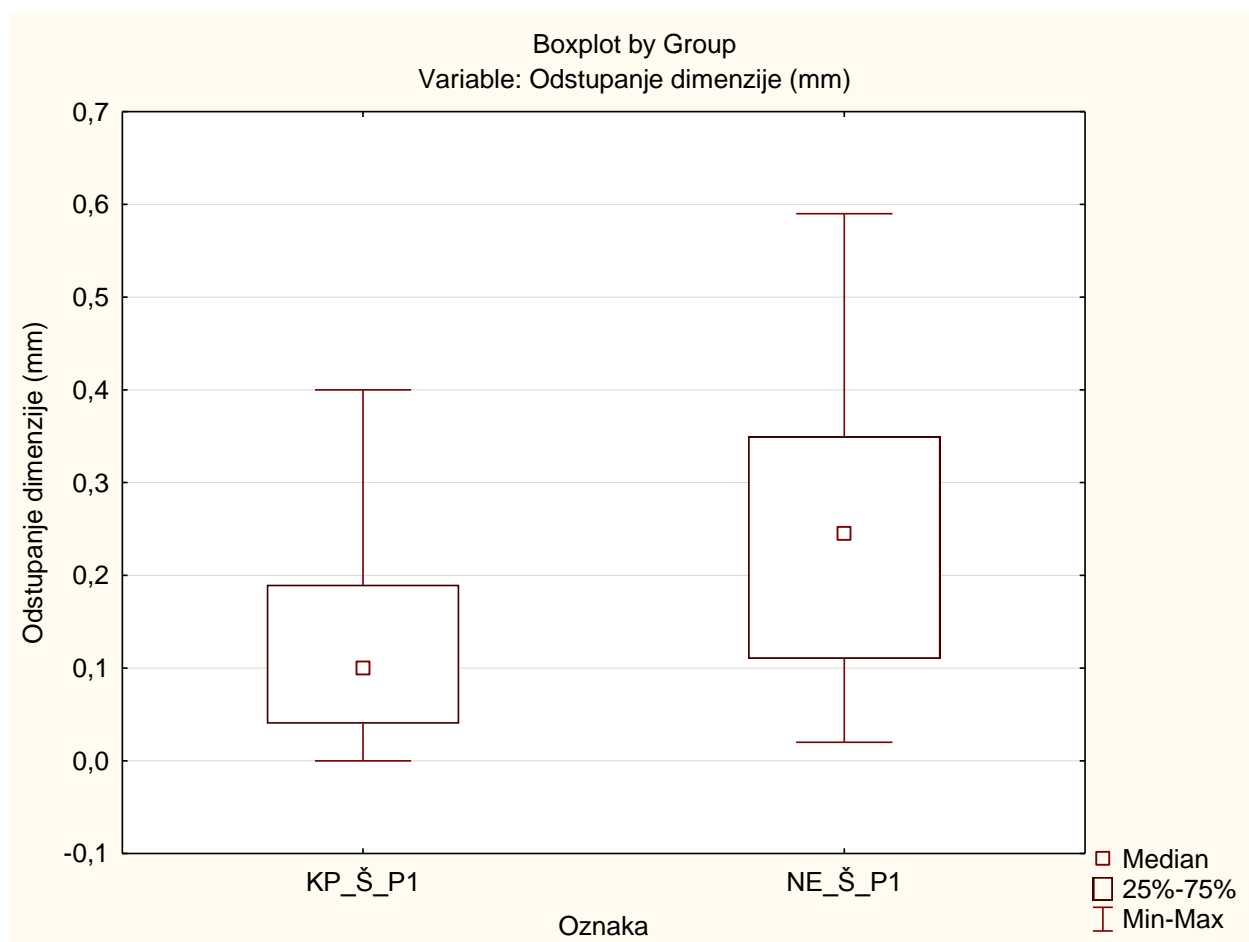
Mjerenjem dimenzija iskrojenih elemenata želimo utvrditi odstupanja ostvarenih mjera u odnosu na predviđenu. Zbog toga su rezultati mjerenja statistički uspoređeni čime je utvrđeno postoji li značajnih razlika između korištenih tehnologija.

*Testiranje razlika između rezultata ostvarenih širina elemenata krojenja kružnom pilom i nestingom*

**Tabela 6. rezultati odstupanja vrijednosti dimenzija od traženih širina elemenata na panelu 1**

variable	Mann-Whitney U Test By variable Oznaka Marked tests are significant at p <,05000							
	Rank Sum KP_Š_P1	Rank Sum NE_Š_P1	U	Z	p-value	Valid N KP_Š_P1	Valid N NE_Š_P1	2*1sided exact p
Odstupanje dimenzije	2059,000	3401,000	681,0000	-4,35905	0,000013	52	52	0,000008



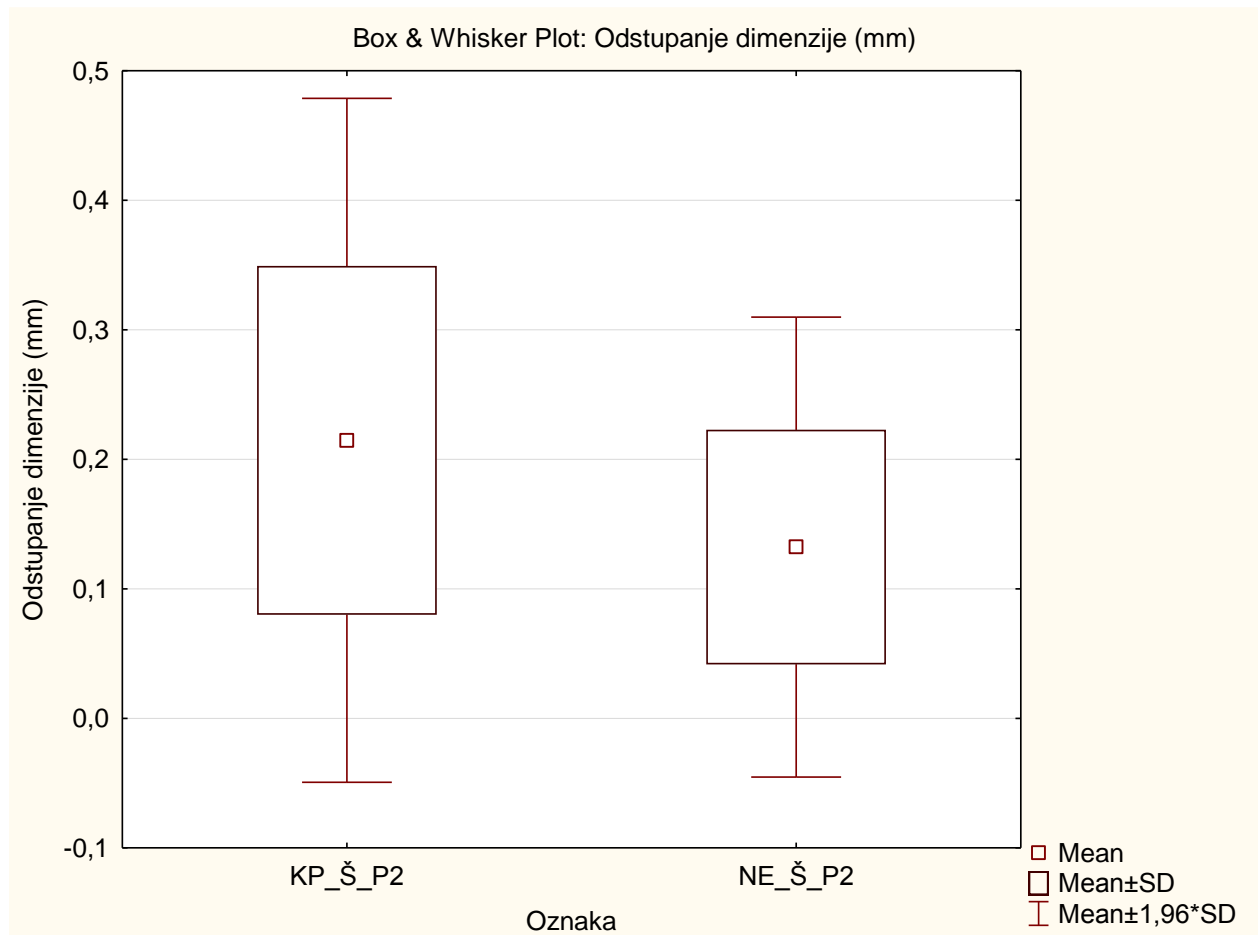


**Slika 29. Analiza razlike krojenja kružnom pilom i nestingom na panelu 1**

Uspoređeni rezultati pokazuju da ima statistički značajnih rezultata što znači da je na panelu 1 nestingom ostvarena malo lošija kvaliteta obrade kod primjene metode krojenja tzv. zmijom.

**Tabela 7. Rezultati odstupanja vrijednosti dimenzija od traženih širina elemenata na panelu 2**

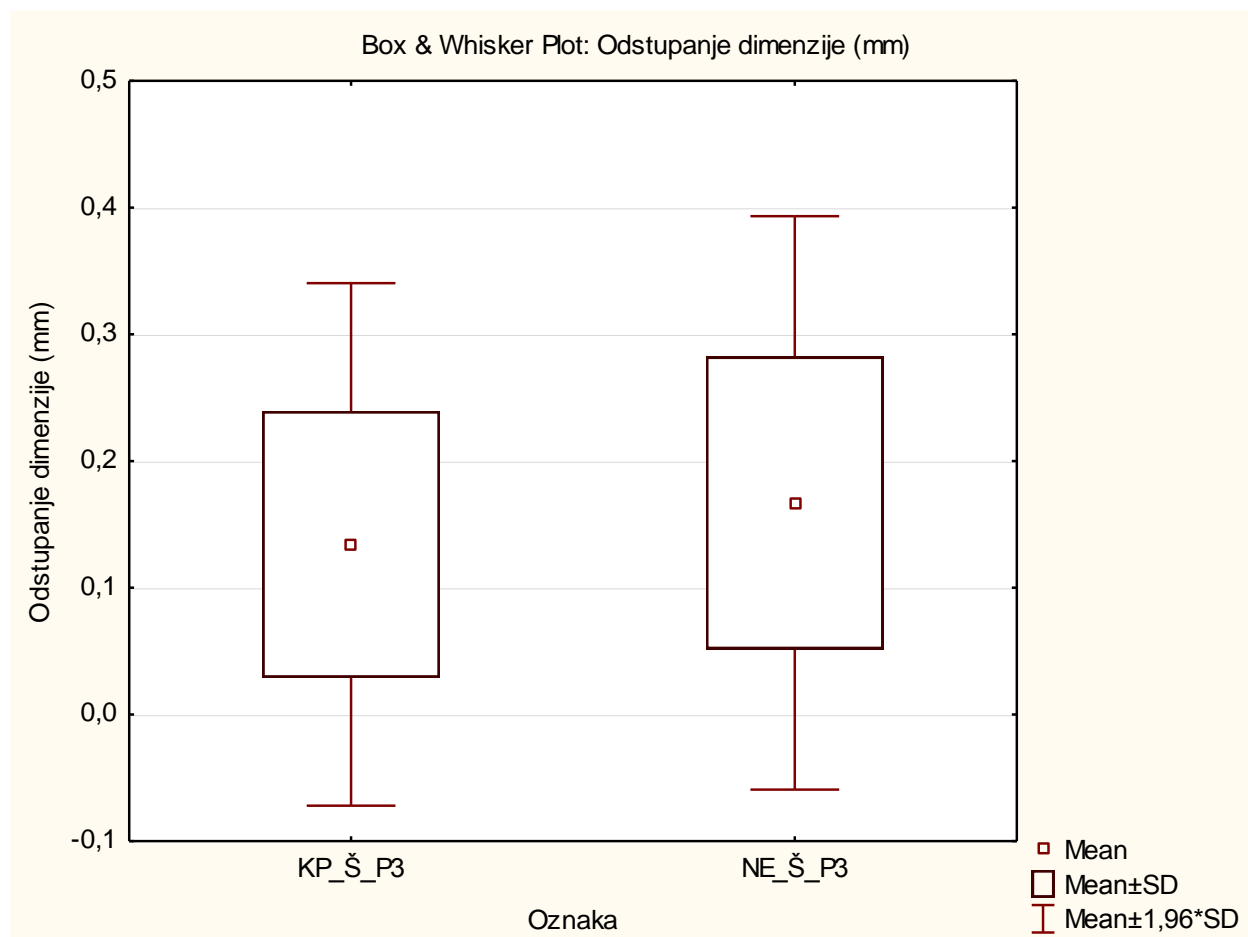
Variable	Mean		t-value	df	p	Std.Dev.		F-ratio Variances	p Variances	Levene F(1,df)
	KP_Š_P2	NE_Š_P2				KP_Š_P2	NE_Š_P2			
Odstupanje dimenzije	0,214667	0,132258	3,976877	120	0,000120	0,134699	0,090598	2,210539	0,002459	6,512979

**Slika 30. Analiza razlika krojenja kružnom pilom i nestingom na panelu 2**

Uspoređeni rezultati pokazuju da ima statistički značajnih rezultata što znači da je na panelu 2 nestingom ostvarena malo bolja kvaliteta obrade kod primjene metode krojenja svakog elementa zasebno

**Tabela 8. rezultati odstupanja vrijednosti dimenzija od traženih širina elemenata na panelu 3**

T-tests, Grouping: Oznaka										
Group 1: KP_Š_P3										
Group 2: NE_Š_P3										
Variable	Mean KP_Š_P3	Mean NE_Š_P3	t-value	df	p	Std.Dev. KP_Š_P3	Std.Dev. NE_Š_P3	F-ratio Variances	p Variances	Levene F(1,df)
Odstupanje dimenzi	0,134200	0,167000	-1,48487	98	0,140788	0,105194	0,115463	1,204774	0,516831	1,717099

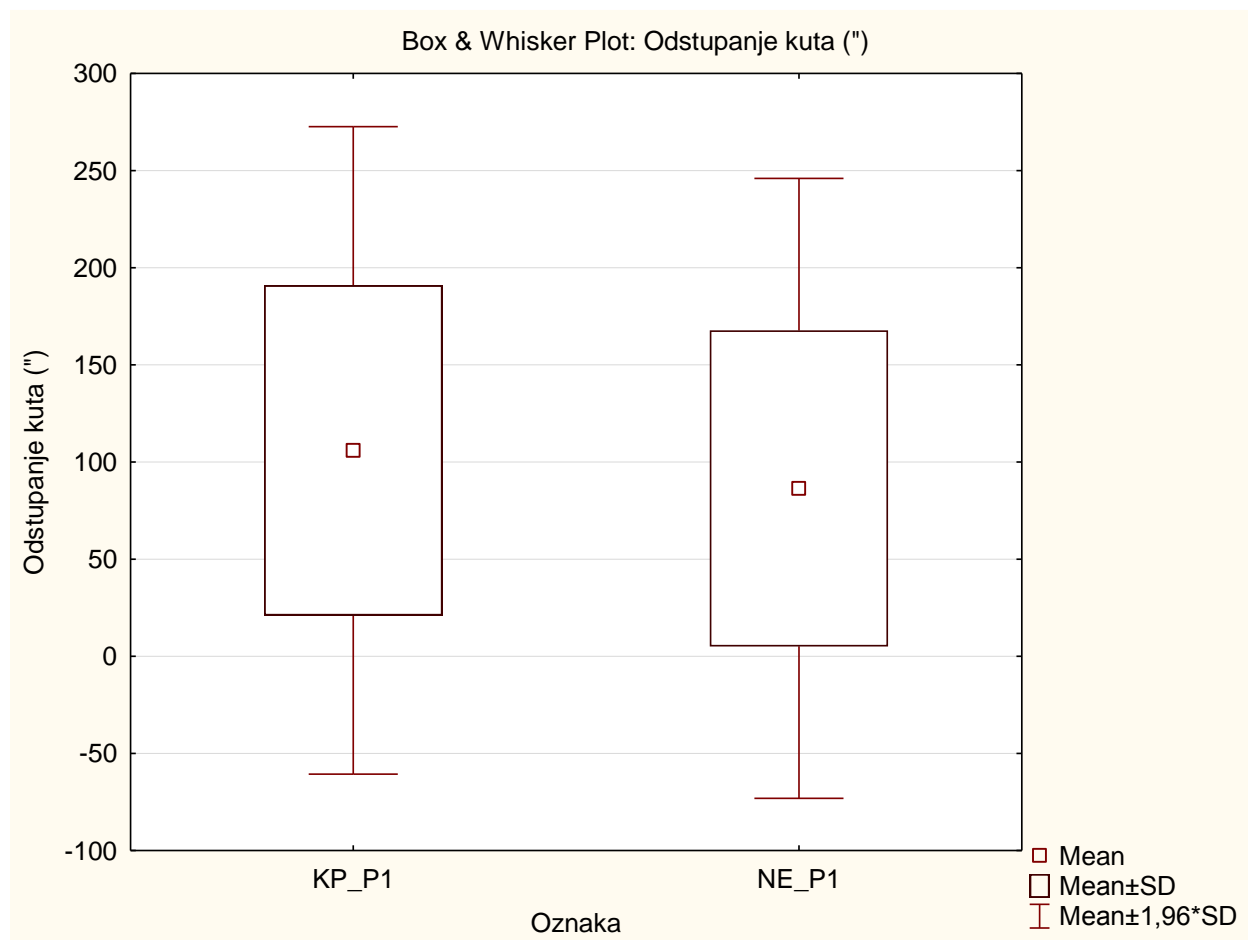
**Slika 31. Analiza razlika krojenja kružnom pilom i nestingom na panelu 3**

Uspoređeni rezultati pokazuju da nema statistički značajnih rezultata što znači da je na panelu 3 nestingom ostvarena jednaka kvaliteta obrade kao i kružnom pilom

*Testiranje razlika između rezultata ostvarenih pravokutnosti elemenat krojenja kružnom pilom i nestingom*

**Tabela 9. rezultati odstupanja vrijednosti dimenzija od traženih širina elemenata na panelu 1**

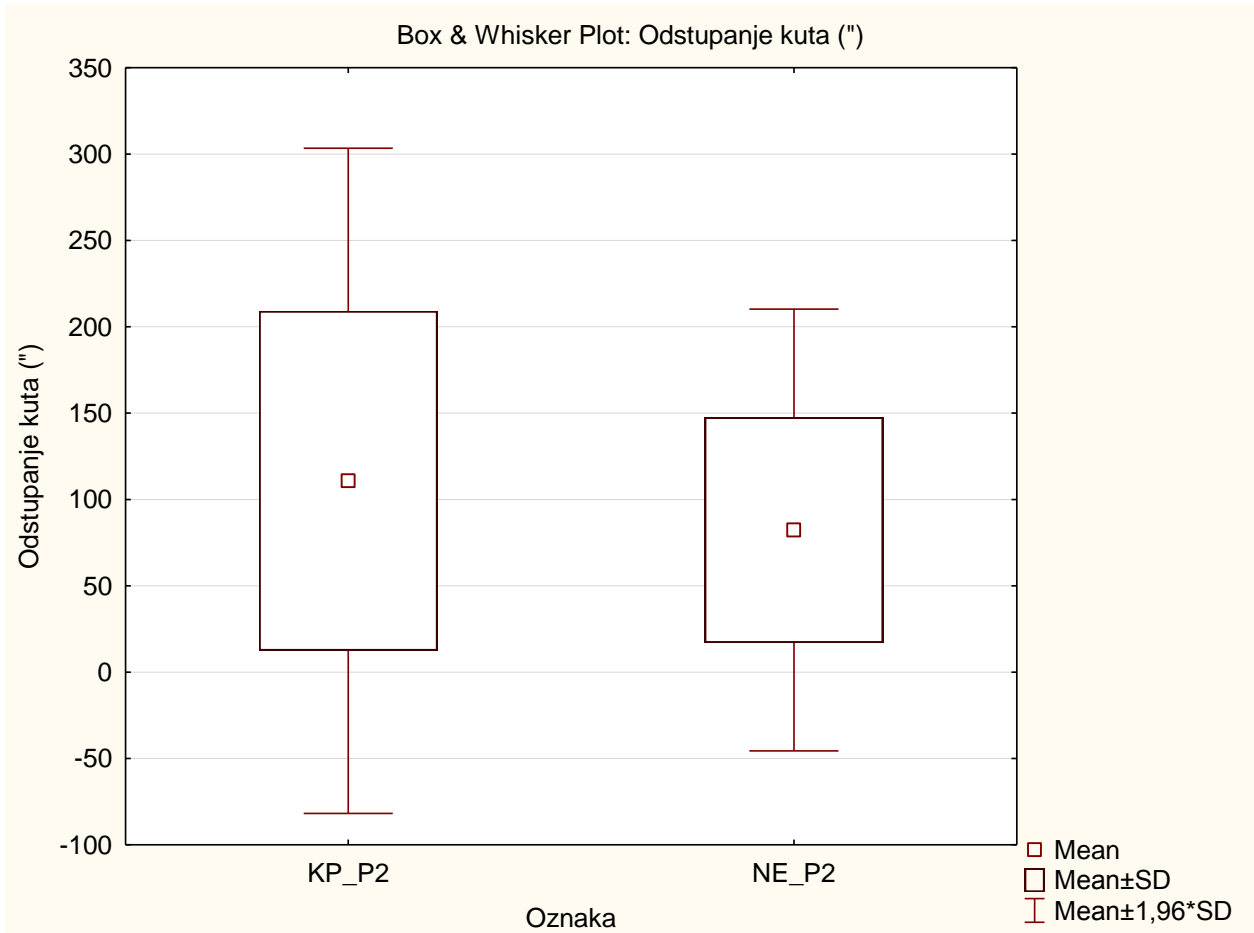
T-tests; Grouping: Oznaka											
Group 1: KP_P1											
Group 2: NE_P1											
Variable	Mean KP_P1	Mean NE_P1	t-value	df	p	Std.Dev. KP_P1	Std.Dev. NE_P1	F-ratio Variances	p Variances	Levene F(1,df)	df Level
Odstupanje kuta (")	105,9883	86,41303	1,696101	206	0,091377	85,01658	81,39594	1,090942	0,659539	1,240360	206



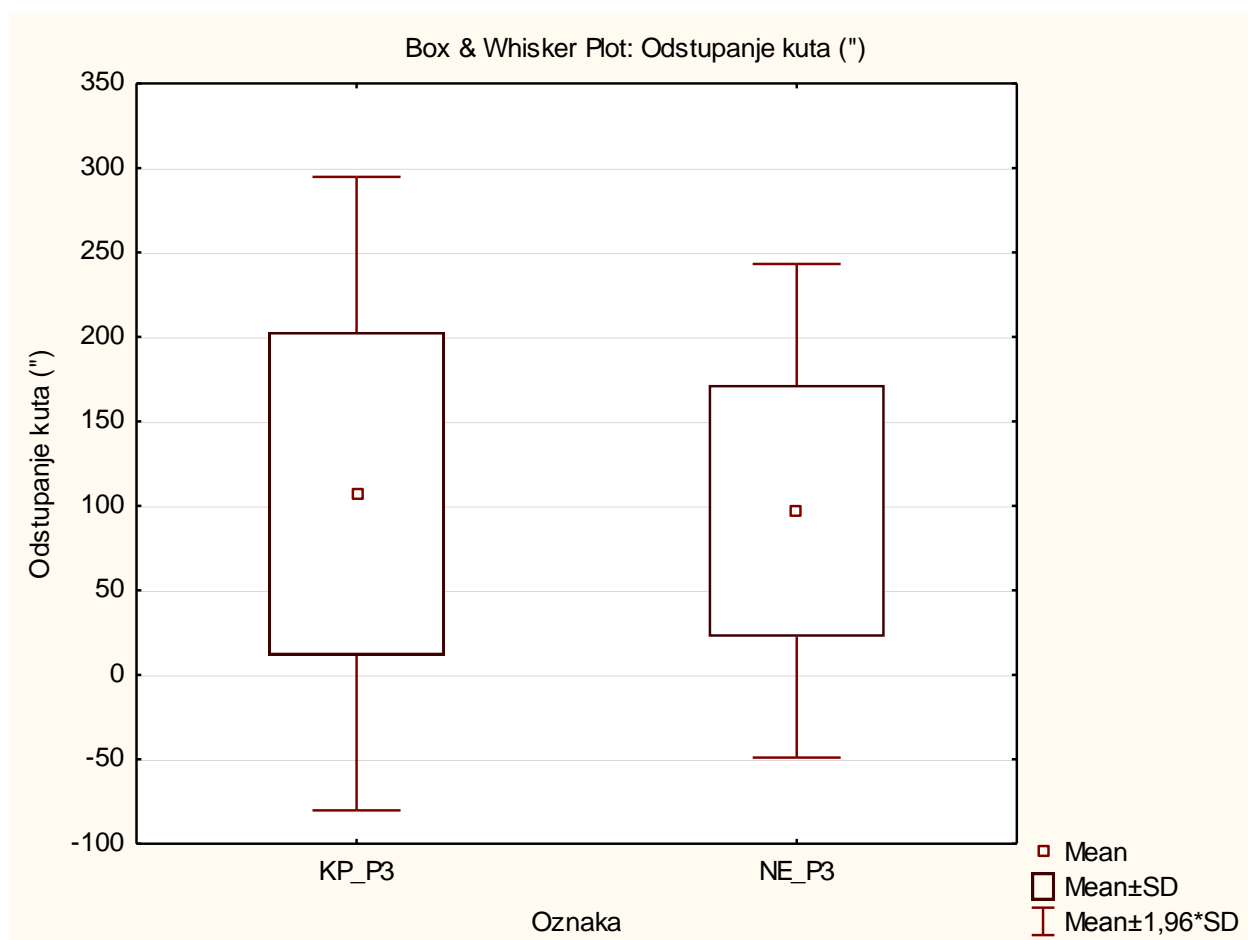
**Slika 32. Analiza razlika krojenja kružnom pilom i nestingom na panelu 1**

**Tabela 10. rezultati odstupanja vrijednosti dimenzija od traženih širina elemenata na panelu 2**

Variable	T-tests; Grouping: Oznaka									
	Mean KP_P2	Mean NE_P2	t-value	df	p	Std.Dev. KP_P2	Std.Dev. NE_P2	F-ratio Variances	p Variances	Levene F(1,df)
Odstupanje kuta (")	110,8283	82,30630	2,675125	241	0,007982	98,27366	65,26980	2,266991	0,000009	10,47986

**Slika 33. Analiza razlika krojenja kružnom pilom i nestingom na panelu 2****Tabela 11. rezultati odstupanja vrijednosti dimenzija od traženih širina elemenata na panelu 3**

Variable	T-tests; Grouping: Oznaka									
	Mean KP_P3	Mean NE_P3	t-value	df	p	Std.Dev. KP_P3	Std.Dev. NE_P3	F-ratio Variances	p Variances	Leve F(1,d
Odstupanje kuta (")	107,2577	97,08882	0,838635	198	0,402685	95,64903	74,52465	1,647257	0,013734	1,8400



Slika 34. Analiza razlika krojenja kružnom pilom i nestingom na panelu 3

Rezultati pokazuju da nema statistički značajnih razlika između ostavrenih pravokutnosti elemenata izrađenih tehnologijom krojenja kružnom pilom u odnosu na rezultat ostvaren nesting tehnologijom. Ovime se odbacuje pretpostavka o većoj točnosti rezultata krojenja nestingom.

#### 5.4. UTVRĐIVANJE ČIMBENIKA TROŠKOVA OBRADE

Kao i svaka proizvodnja tako i svaki poslodavac najviše pažnje pridodaje financijskoj uštedi u proizvodnji pa se tako najvažnija usporedba tehnologija odnosi na ukupni trošak proizvodnje. Svaka proizvodnja opterećena je fiksnim i varijabilnim troškovima koje je potrebno proračunati kako bi mogli odlučiti koja nam tehnologija osigurava veću uštedu odnosno konkurentniju proizvodnju. Da bi se moglo doći do željenih zaključaka bilo je potrebno definirati sljedeće formule kojima se lakše dolazi do zaključaka.

Tabela 12. Formule za izračun fiksnih troškova

$T_{ukupno} = T_{Fix} + T_{Var}$
$T_{fix} = T_{prostora} + T_{radnika} + T_{klima}$
$T_{prostora} = P_{stroja} * t_{krojenja} * P_{cijena/m^2}$
$P_{cijena/m^2} = \left( \frac{P_p}{n_{dana}} \right) / n_{sati}$
$T_{radnika} = t_{krojenja} * K_{ar} * T_{r/h}$
$T_{r/h} = \left( \frac{B_{plaća}}{n_{dana}} \right) / n_{sati}$
$T_{klima} = P_{stroja} * t_{krojenja} * K_t$
$K_t = \frac{K_p * 30}{n_{dana} * n_{sati}}$

Tabela 13. Opis oznaka za fiksne troškove

Oznaka	Naziv
$T_{ukupno}$	ukupni troškovi
$K_p$	utrošak snage struje za klimatizaciju po m2
$T_{Var}$	ukupni varijabilni troškovi
$T_{prostora}$	trošak prostora
$P_{stroja}$	površina stroja
$t_{krojenja}$	trajanje krojenja elemenata
$P_{cijena/m^2}$	cijena m2 po satu
$n_{sati}$	broj radnih sati
$P_p$	cijena jedinične površine prostora
$n_{dana}$	broj radnih dana
$T_{radnika}$	trošak radnika
$K_{ar}$	koeficijentg aktivnog rada radnika
$T_{r/h}$	trošak radnika po satu
$B_{plaća}$	bruto plaća
$T_{klima}$	trošak klimatizacije
$K_t$	trošak klimatizacije m2/h
<b><math>T_{Fix}</math></b>	<b>ukupni fiksni troškovi</b>

Tabela 14. Formule za izračun varijabilnih troškova

$T_{Var} = T_{alata} + T_{struje}$
$T_{alata} = t_{glodanja} * A_{cijena/h}$
$A_{cijena/h} = A_{cijena\ ukupno}/t_t$
$A_{cijena\ ukupno} = A_{cijena} + (B_{cijena} * n_{brušenja}) + C_{cijena} + (D_{cijena} * n_{brušenja})$
$t_A = A_t * n_{brušenja}$
$t_{glodanja} = \frac{l_{reza}}{V_{obrade}}$
$T_{struje} = P_o * t_{raskrajanja} * S_c$
$P_o = (\sqrt{3} * I_o * 380)/1000$
$T_{ravanja} = T_{MDF-a} + T_{alata+brušenja}$
$t_{ravanja} = \frac{\frac{b_{ploče}}{\Phi_{alata}} * l_{ploče}}{V_{obrade}} + t_{zamjene\ alata}$
$t_{ravanja/ploča} = \frac{t_{ravanja}}{n_{ploča}}$

Tabela 15. Opis oznaka za varijabilne troškove

Oznaka	Naziv
$P_o$	Snaga struje
$I_o$	Struja nesting/kružna pila
$t_A$	vrijeme trajanja alata
$A_t$	trajanje alata
$V_{obrade}$	posmak alata
$l_{reza}$	prosječna duljina reza po ploči
$T_{struje}$	trošak struje
$P_o$	snaga obrade
$t_{raskrajanja}$	trajanje raskrajanja panela
$S_c$	cijena u kWh
$A_{cijena/h}$	cijena alata po satu
$A_{cijena}$	cijena alata
$B_{cijena}$	cijena brušenja alata
$n_{brušenja}$	mogući broj brušenja alata
$C_{cijena}$	cijena predrezaća
$D_{cijena}$	cijena brušenja predrezaća
$A_{tbrušenja}$	trajanje alata sa svim brušenjima
$A_{cijena\ ukupno}$	trajanje alata s brušenjem
$T_{alata}$	trošak alata za jednu ploču
$t_{izmjene\ alata}$	vrijeme izmjene alata
$V_{obrade}$	vrijeme obrade alata
$T_{struje}$	trošak struje
<b><math>T_{Var}</math></b>	<b>ukupni varijabilni troškovi</b>



## 5.5. IZRADA PRORAČUNSKE TABLICE

Proračunska tablica je izrađena je na principu tabličnog kalkulatora u excelu. Potrebno je upisati podatke na mjesto gdje piše „upisati iznos“ te se proračuni automatski korigiraju s obzirom na vrijednost pojedinih čimbenika te ih je potrebno upisati sljedećim redoslijedom:

**Tabela 16. Proračunska tablica za upis podataka**

oznaka	naziv	određeno/izmjereno/izračunato			mjerna jedinica
n ploča	broj panela za krojenje	upisati iznos			kom
n dana	broj radnih dana u mjesecu	upisati iznos			dan
n sati	broj radnih sati u danu	upisati iznos			sat
B plaća	bruto plaća	upisati iznos			kn
Kar	koefficient aktivnog rada	upisati iznos			%
Tr/h	trošak radnika po satu	iračun			kn/h
Pp	cijena jedinične površine prostora	upisati iznos			kn
	cijena m2 po satu	iračun			kn/m2
Kp	utrošak snage struje za klimatizaciju po m2	upisati iznos			kW
	trošak klimatizacije m2/h	iračun			kn/h
Sc	cijena Kwh	upisati iznos			kn
		Panel 1	Panel 2	Panel 3	
I reza	duljina reza po ploči	upisati iznos	upisati iznos	upisati iznos	m
I reza mdf	duljina reza kod ravanja ploče mdf-a	upisati iznos			m

Formule koje su navedene u prethodnim poglavljima vezane su uz proračune proizvodnju krojenja ploča, a kao primjer izračunavanja troška proizvodnje krojenja elemenata uzet će se ranije definirane formule i pripadajući proračunski čimbenici. Za utvrđivanje važnosti pojedinih čimbenika upotrijebit će se nekoliko različitih simulacija.

Tabela 17. Proračunska tablica za upis i izračun podataka

oznaka	naziv	T1-nesting obrada		T2-obrada kružnom pilom	
		izmjereno	mj. Jedinica	izmjereno	mj. Jedinica
v obrade	posmak alata	upisati iznos	m/h	upisati iznos	m/h
t krojenja	trajanje cijelokupnog krojenja za jednu ploču	upisati iznos	s	upisati iznos	s
		izračun	h	izračun	h
	trajanje krojenja za više ploča	izračun	s	izračun	s
		izračun	h	izračun	h
b ploče	Širina MDF ploče	upisati iznos	m	/	
l ploče	duljina MDF ploče	upisati iznos	m	/	
Fi alata	promijer alata za ravanje	upisati iznos	m	/	
V obrade	pomak alata za ravanje	upisati iznos	m/h	/	
t izmjene alata	vrijeme izmjene alata	upisati iznos	s	/	
t ravanja	vrijeme ravanja	izračun	s	/	
n ploča	broj obrađenih ploča između ravanja	upisati iznos	kom	/	
t ravanja /ploče	vrijeme ravanja po jedinici krojene ploče	izračun	s	/	
t krojenja+ravanja	Vrijeme krojenja i ravanja MDF-a	izračun	h	/	
P stroja	ukupna površina stroja	upisati iznos	m2	upisati iznos	m2
T prostora	trošak prostora	izračun	kn	izračun	kn
T radnika	trošak radnika	izračun	kn	izračun	kn
T klima	trošak klimatizacije	izračun	kn	izračun	kn
<b>T fix</b>	<b>ukupni fiksni troškovi</b>	izračun	<b>kn</b>	izračun	<b>kn</b>
Io	struja nesting/kružna pila	upisati iznos	A	upisati iznos	A
Po	snaga obrade	izračun	kW/h	izračun	kW/h
<b>T struje</b>	<b>trošak struje</b>	<b>izračun</b>	<b>kn</b>	<b>izračun</b>	<b>kn</b>
At	trajanje alata	upisati iznos	m	upisati iznos	m
A cijena	cijena alata	upisati iznos	kn	upisati iznos	kn
B cijena	cijena brušenja	upisati iznos	kn	upisati iznos	kn
n brušenja	mogući broj brušenja	upisati iznos	puta	upisati iznos	puta
C cijena	cijena alata (predrezač)	/		upisati iznos	kn
D cijena	cijena brušenja (predrezač)	/		upisati iznos	kn
At brušenja	trajanje alata s brušenjima	izračun	m	izračun	m
A cijena ukupno	Cijena alata s brušenjima	izračun	kn	izračun	kn
t A	vrijeme trajanja alata	izračun	h	izračun	h
A cijena/h	cijena alata po satu	izračun	kn/h	izračun	kn/h
t obrade	Prosječno vrijeme obrade alata	izračun	h	izračun	h
At	trajanje alata	upisati iznos	m	/	
A cijena	cijena alata	upisati iznos	kn	/	
B cijena	Cijena kompleta noževa	upisati iznos	kn	/	
n izmjena	broj izmjena reznih noževa	upisati iznos	puta	/	
At brušenja	trajanje alata s brušenjima	izračun	m	/	
v obrade	brzina posmaka	upisati iznos	m/h	/	
A cijena ukupno	Cijena alata s brušenjima	izračun	kn	/	
t A	vrijeme trajanja alata	izračun	h	/	
A cijena/h	cijena alata po satu	izračun	kn/h	/	
t obrade	Prosječno vrijeme obrade alata	izračun	h	/	
T alata mdf	trošak alata po jedinici ploče mdf	izračun	kn	/	
<b>T alata</b>	<b>trošak alata za jednu ploču</b>	<b>izračun</b>	<b>kn</b>	<b>izračun</b>	<b>kn</b>
<b>T var</b>	<b>ukupni varijabilni troškovi</b>	izračun	<b>kn</b>	izračun	<b>kn</b>
<b>T ukupno</b>	<b>ukupni troškovi</b>	izračun	<b>kn</b>	izračun	<b>kn</b>

Tabela 18. Izračun troškova za prvu ploču

oznaka	naziv	T1-nesting obrada		T2-obrada kružnom pilom	
		izmjereno	mj. Jedinica	izmjereno	mj. Jedinica
v obrade	posmak alata	1080	m/h	1800	m/h
t krojenja	trajanje cijelokupnog krojenja za jednu ploču	672	s	680	s
		0.187	h	0.189	h
	trajanje krojenja za više ploča	672	s	680	s
		0.187	h	0.189	h
b ploče	Širina MDF ploče	2.07	m		
l ploče	duljina MDF ploče	2.80	m		
Fi alata	promijer alata za ravanje	0.12	m		
V obrade	pomak alata za ravnjanje	1080	m/h		
t izmjene alata	vrijeme izmjene alata	14	s		
t ravanja	vrijeme ravanja	175	s		
n ploča	broj obrađenih ploča između ravanja	25	kom		
t ravanja /ploče	vrijeme ravanja po jedinici krojene ploče	7	s		
t krojenja+ravanja	Vrijeme krojenja i ravanja MDF-a	0.189	h		
P stroja	ukupna površina stroja	30	m <sup>2</sup>	50	m <sup>2</sup>
T prostora	trošak prostora	0.932	kn	1.556	kn
T radnika	trošak radnika	8.573	kn	8.586	kn
T klima	trošak klimatizacije	0.289	kn	0.483	kn
<b>T fix</b>	<b>ukupni fiksni troškovi</b>	<b>9.79</b>	<b>kn</b>	<b>10.63</b>	<b>kn</b>
lo	struja nesting/kružna pila	45.00	A	11.00	A
Po	snaga obrade	29.62	kW/h	7.24	kW/h
T struje	trošak struje	3.87	kn	0.96	kn
At	trajanje alata	5000.00	m	1575.00	m
A cijena	cijena alata	2000.00	kn	700.00	kn
B cijena	cijena brušenja	700.00	kn	90.00	kn
n brušenja	mogući broj brušenja	7	puta	15	puta
C cijena	cijena alata (predrezač)			400.00	kn
D cijena	cijena brušenja (predrezač)			60.00	kn
At brušenja	trajanje alata s brušenjima	35000	m	23625	m
A cijena ukupno	Cijena alata s brušenjima	6900	kn	3350	kn
t A	vrijeme trajanja alata	32.41	h	13.13	h
A cijena/h	cijena alata po satu	212.91	kn/h	255.24	kn/h
t obrade	Prosječno vrijeme obrade alata	0.03302	h	0.01981	h
At	trajanje alata	10000.00	m		
A cijena	cijena alata	0.00	kn		
B cijena	Cijena kompleta noževa	20.00	kn		
n izmjena	broj izmjena reznih noževa	5	puta		
At brušenja	trajanje alata s brušenjima	50000	m		
v obrade	brzina posmaka	1080	m/h		
A cijena ukupno	Cijena alata s brušenjima	100	kn		
t A	vrijeme trajanja alata	46.30	h		
A cijena/h	cijena alata po satu	2.16	kn/h		
t obrade	Prosječno vrijeme obrade alata	0.0231	h		
T alata mdf	trošak alata po jedinici ploče mdf	0.05	kn		
T alata	trošak alata za jednu ploču	7.0	kn	5.06	kn
<b>T var</b>	<b>ukupni varijabilni troškovi</b>	<b>10.95</b>	<b>kn</b>	<b>6.01</b>	<b>kn</b>
<b>T ukupno</b>	<b>ukupni troškovi</b>	<b>20.74</b>	<b>kn</b>	<b>16.64</b>	<b>kn</b>

Tabela 19. Izračun troškova za drugu ploču

oznaka	naziv	T1-nesting obrada		T2-obrada kružnom pilom	
		izmjereno	mj. Jedinica	izmjereno	mj. Jedinica
v obrade	posmak alata	1080	m/h	1800	m/h
t krojenja	trajanje cjelokupnog krojenja za jednu ploču	865	s	801	s
		0.240	h	0.223	h
	trajanje krojenja za više ploča	865	s	801	s
		0.240	h	0.223	h
b ploče	Širina MDF ploče	2.07	m		
l ploče	duljina MDF ploče	2.80	m		
Fi alata	promijer alata za ravanje	0.12	m		
V obrade	posmak alata za ravanje	1080	m/h		
t izmjene alata	vrijeme izmjene alata	14	s		
t ravanja	vrijeme ravanja	175	s		
n ploča	broj obrađenih ploča između ravanja	25	kom		
t ravanja /ploče	vrijeme ravanja po jedinici krojene ploče	7	s		
t krojenja+ravanja	Vrijeme krojenja i ravanja MDF-a	0.242	h		
P stroja	ukupna površina stroja	30	m <sup>2</sup>	50	m <sup>2</sup>
T prostora	trošak prostora	1.197	kn	1.833	kn
T radnika	trošak radnika	11.010	kn	10.114	kn
T klima	trošak klimatizacije	0.372	kn	0.569	kn
<b>T fix</b>	<b>ukupni fiksni troškovi</b>	<b>12.58</b>	<b>kn</b>	<b>12.52</b>	<b>kn</b>
Io	struja nesting/kružna pila	45.00	A	11.00	A
Po	snaga obrade	29.62	kW/h	7.24	kW/h
T struje	trošak struje	4.98	kn	1.13	kn
At	trajanje alata	5000.00	m	1575.00	m
A cijena	cijena alata	2000.00	kn	700.00	kn
B cijena	cijena brušenja	700.00	kn	90.00	kn
n brušenja	mogući broj brušenja	7	puta	15	puta
C cijena	cijena alata (predrezač)			400.00	kn
D cijena	cijena brušenja (predrezač)			60.00	kn
At brušenja	trajanje alata s brušenjima	35000	m	23625	m
A cijena ukupno	Cijena alata s brušenjima	6900	kn	3350	kn
t A	vrijeme trajanja alata	32.41	h	13.13	h
A cijena/h	cijena alata po satu	212.91	kn/h	255.24	kn/h
t obrade	Prosječno vrijeme obrade alata	0.03633	h	0.02180	h
At	trajanje alata	10000.00	m		
A cijena	cijena alata	0.00	kn		
B cijena	Cijena kompleta noževa	20.00	kn		
n izmjena	broj izmjena reznih noževa	5	puta		
At brušenja	trajanje alata s brušenjima	50000	m		
v obrade	brzina posmaka	1080	m/h		
A cijena ukupno	Cijena alata s brušenjima	100	kn		
t A	vrijeme trajanja alata	46.30	h		
A cijena/h	cijena alata po satu	2.16	kn/h		
t obrade	Prosječno vrijeme obrade alata	0.0231	h		
T alata mdf	trošak alata po jedinici ploče mdf	0.05	kn		
T alata	trošak alata za jednu ploču	7.7	kn	5.56	kn
<b>T var</b>	<b>ukupni varijabilni troškovi</b>	<b>12.77</b>	<b>kn</b>	<b>6.69</b>	<b>kn</b>
<b>T ukupno</b>	<b>ukupni troškovi</b>	<b>25.35</b>	<b>kn</b>	<b>19.21</b>	<b>kn</b>

Tabela 20. Izrčun troškova za 3 ploču

oznaka	naziv	T1-nesting obrada		T2-obrada kružnom pilom	
		izmjereno	mj. Jedinica	izmjereno	mj. Jedinica
v obrade	posmak alata	1080	m/h	1800	m/h
t krojenja	trajanje cijelokupnog krojenja za jednu ploču	743	s	717	s
		0.206	h	0.199	h
	trajanje krojenja za više ploča	743	s	717	s
		0.206	h	0.199	h
b ploče	Širina MDF ploče	2.07	m		
l ploče	duljina MDF ploče	2.80	m		
Fi alata	promijer alata za ravanje	0.12	m		
V obrade	pomak alata za ravanje	1080	m/h		
t izmjene alata	vrijeme izmjene alata	14	s		
t ravanja	vrijeme ravanja	175	s		
n ploča	broj obrađenih ploča između ravanja	25	kom		
t ravanja /ploče	vrijeme ravanja po jedinici krojene ploče	7	s		
t krojenja+ravanja	Vrijeme krojenja i ravanja MDF-a	0.208	h		
P stroja	ukupna površina stroja	30	m <sup>2</sup>	50	m <sup>2</sup>
T prostora	trošak prostora	1.030	kn	1.641	kn
T radnika	trošak radnika	9.470	kn	9.053	kn
T klima	trošak klimatizacije	0.320	kn	0.509	kn
<b>T fix</b>	<b>ukupni fiksni troškovi</b>	<b>10.82</b>	<b>kn</b>	<b>11.20</b>	<b>kn</b>
lo	struja nesting/kružna pila	45.00	A	11.00	A
Po	snaga obrade	29.62	kW/h	7.24	kW/h
T struje	trošak struje	4.28	kn	1.01	kn
At	trajanje alata	5000.00	m	1575.00	m
A cijena	cijena alata	2000.00	kn	700.00	kn
B cijena	cijena brušenja	700.00	kn	90.00	kn
n brušenja	mogući broj brušenja	7	puta	15	puta
C cijena	cijena alata (predrezač)			400.00	kn
D cijena	cijena brušenja (predrezač)			60.00	kn
At brušenja	trajanje alata s brušenjima	35000	m	23625	m
A cijena ukupno	Cijena alata s brušenjima	6900	kn	3350	kn
t A	vrijeme trajanja alata	32.41	h	13.13	h
A cijena/h	cijena alata po satu	212.91	kn/h	255.24	kn/h
t obrade	Prosječno vrijeme obrade alata	0.02719	h	0.01632	h
At	trajanje alata	10000.00	m		
A cijena	cijena alata	0.00	kn		
B cijena	Cijena kompleta noževa	20.00	kn		
n izmjena	broj izmjena reznih noževa	5	puta		
At brušenja	trajanje alata s brušenjima	50000	m		
v obrade	brzina posmaka	1080	m/h		
A cijena ukupno	Cijena alata s brušenjima	100	kn		
t A	vrijeme trajanja alata	46.30	h		
A cijena/h	cijena alata po satu	2.16	kn/h		
t obrade	Prosječno vrijeme obrade alata	0.0231	h		
T alata mdf	trošak alata po jedinici ploče mdf	0.05	kn		
T alata	trošak alata za jednu ploču	5.8	kn	4.16	kn
<b>T var</b>	<b>ukupni varijabilni troškovi</b>	<b>10.12</b>	<b>kn</b>	<b>5.17</b>	<b>kn</b>
<b>T ukupno</b>	<b>ukupni troškovi</b>	<b>20.94</b>	<b>kn</b>	<b>16.38</b>	<b>kn</b>

U tablicama xx-xx prikazani su troškovi pojedine proizvodnje. U prvoj i trećoj tablici prikazan je trošak između tehnologije kružne pile i nesting tehnologije. Izrada shema za nesting tehnologiju je rađena u programu Corpus dok je kod kružne pile rađena u programu PIOS. Način rezanja kod nesting tehnologije je u ovom slučaju bio bez dizanja glodala tokom obrade.

Kod druge tablice rađeno je glodanje s dizanjem i spuštanjem glodala te je u drugome slučaju cjenovna razlika bila nešto veća nego kod prvog i trećeg slučaja zbog duže obrade ploče glodalom zbog napomenute razlike u načinu rezanja.

Općenito govoreći o troškovima kod obje tehnologije je trošak alata i radnika daleko najveći. Dok je trošak radnika isti za jednu i drugu tehnologiju trošak alata se može smanjiti te o njemu najviše i ovisi koliko će jedna proizvodnja biti jeftinija u odnosu na drugu. Za cijenu alata bitna je sama početna cijena alata, vijek trajanja alata do ponovnog brušenja, mogući broj brušenja alata te sama cijena brušenja alata, a u svemu tome su jako velika odstupanja u cijenama i parametrima kod raznih proizvođača alata. Tako da je bitno odabrati optimalan alat kako bi se što više sama cijena proizvodnje smanjila.

Uspoređujući troškove obje tehnologije na našem slučaju fiksni troškovi u vidu prostora, radnika i klimatizacije su približno jednaki dok je razlika u cijeni najviše zbog varijabilnih troškova, jer kružna pila prosijecano troši manje električne energije te su troškovi alata manji. U našem slučaju je zbog toga trošak proizvodnje kod nesting tehnologije do 20% veći nego kod tehnologije kružne pile. Odabirom drugih strojeva ili alata u nekom drugom slučaju zasigurno bi se u nekoj mjeri razlikovali rezultati.

Ako uzmemo da je tehnologija kružne pile 20% jeftinija nego nesting tehnologija treba imati na umu da nesting tehnologija ima još neke dodatne mogućnosti u vidu obrade zakrivljenih elemenata te mogućnost bušenja horizontalnih i vertikalnih rupa, samo je pitanje dali je to potrebno. Na proizvođačima je da sami odluče koje im karakteristike strojeva najviše odgovaraju te da na temelju svega odaberu optimalnu tehnologiju.

## 6. ZAKLJUČAK

Temeljen dobivenih rezultata možemo zaključiti da se pretpostavka o većoj efikasnosti i kvaliteti nesting obrade pokazala pogrešnom jer je točnost dimenzija i kutova podjednaka.

Rezultati utvrđivanja važnosti pojedinih čimbenika i proračun ukupnih troškova uspoređivanih tehnologija u okviru ovog istraživanja je pokazao da nesting tehnologija nije u ekonomskoj prednosti pred tehnologijom krojenja kružnom pilom.

Promatranjem izrađenih shema krojenja utvrdili smo da za pojedine male naloge kod kojih se kroji jedan panel ostvarena razlika u iskoristivosti materijala nije značajna ali razlika u vremenima krojenja može podjednako ovisiti o primijenjenoj tehnologiji kao i o softveru koji priprema shemu krojenja. Softver između ostalog optimira broj okretanja dijelova panela kod krojenja kružnom pilom ili putanju glodala kod nesting tehnologije čime može u značajnoj mjeri umanjiti utrošak vremena potrebnog za krojenje.

Ne smijemo zanemariti činjenice da je nesting tehnologija dodatno opremljena/namjenjena i za krojenje zakrivljenih elemenata te da u istom ciklusu obrade sa istim brojem radnika i istom okupacijom radnog prostora može izvršiti sva vertikalna bušenja potrebna za vezove na namještaju uz dodatan utrošak vremena.

## LITERATURA

1. HOMAG EDGE – HOMAG Holzbearbeitungssysteme GmbH, Member of the Homag group, prospekti za strojeve 03/18
2. Homag group, [www.homag.com](http://www.homag.com) (27.09.2018.)
3. Jambreković, V.: Drvne ploče i emisija formaldehida, Zagreb, 2004.
4. Guliš, A. : Utjecaj veličine korisnog ostatka na iskorištenje kod raskrajanja ploča od drva, Završni rad, Zagreb, 2006.
5. Rezo, B.: Usporedba tehnologija za izradu poluutora i utora u proizvodnji namještaja od ploča, Diplomski rad, Zagreb, 2018.
6. CutRite program za optimiranje, <https://www.homag.com/en/service/cutting-software-downloads/> (27.09.2018.)