

ANALIZA TEHNOLOŠKOG PROCESA U NAMJENSKOJ PRIMARNOJ PRERADI TRUPACA HRASTA LUŽNJAKA (*QUERCUS ROBUR L.*) ZA PROIZVODNJU MASIVNOG NAMJEŠTAJA

ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL PROCESS IN DEDICATED PRIMARY PROCESSING OF PEDUNCULATE OAK (*QUERCUS ROBUR L.*) LOGS FOR SOLID FURNITURE

Selver Smajić, MA, Mech. Eng.
PhD student at Faculty of Forestry and Wood Technology
Zagreb
Croatia

SAŽETAK

U svakom tehnološkom procesu, pojam planiranja trebao bi prioritetno definirati kako i na koji način će se proizvoditi gotovi proizvod. Planiranje predstavlja jednu od glavnih aktivnosti u procesu proizvodnje. Proizvodni troškovi direktno imaju utjecaj na sve aktivnosti u kompaniji, stoga možemo reći da glavni plan tehnološkog procesa ima važnu ulogu u definisanju proizvodnog toka, konkurentnosti kompanije, praćenjem proizvodnog procesa i proizvođačkoj učinkovitosti. U ovom radu prikazana je tehnološka proizvodna linija za primarnu preradu trupaca hrasta lužnjaka, unutar jedne kompanije iz sjevero-zapadne Hrvatske. Ova specifična proizvodnja ima svoj osobni način prerade trupaca zbog svojih specifičnih visokovrijednih proizvoda od drveta hrasta lužnjaka.

Ključne riječi: Piljenje u cijelo, Piljenje četvrtina, Planiranje tehnološkog procesa, Hrast lužnjak

ABSTRACT

*In every technological process planning should be prior to defines how final product will be produced. Planning present one of the main activities in production process. The production costs affects on all activities in a company, so we can say that main plan of technological process has an important role in defining the way of production, competitiveness of a company, monitoring of production and production efficiency. In this paper, a layout of production line for the primary processing of Oak (*Quercus Robur L.*) logs by company from Northwestern part of Croatia is presented. This specific production has own way of logs processing because of its specific high-value pedunculate oak (*Quercus Robur L.*) wood products.*

Keywords: Live Sawmill, Quartersawn, Technological Process Planning, Pedunculate Oak

1. UVOD

Skup znanja i praktičnih iskustava usmjerenih na definisanje redoslijeda, postupaka i režima procesa obrade s ciljem pretvaranja nižih upotrebnih vrijednosti obradaka u vrijednije, gotove proizvode predstavlja projektovanje tehnoloških procesa. Pravilno postavljanje tehnološkog procesa izuzetno je složen i odgovoran zadatak, obzirom da od pravilno postavljenog tehnološkog procesa zavisi krajnji ekonomski rezultat proizvodnje. Proizvodnja, odnosno

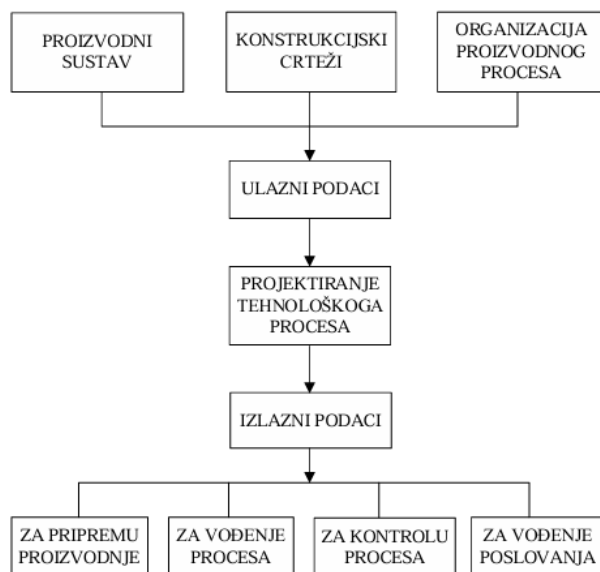
proizvodni proces, predstavlja rješenje pravilno postavljenog tehnološkog procesa u prostoru i vremenu. U ovom radu prikazana je tehnološka proizvodna linija za primarnu preradu trupaca hrasta lužnjaka, unutar jedne kompanije iz sjevero-zapadne Hrvatske. Prikazan je njihov ukupni proizvodni program, ali i raspored mašina unutar pilane te redoslijed operacija u pilani. Proračunski i stvarni kapaciteti također su definisani, kao i uska grla i tehnološka vremena proizvodne linije za primarnu obradu trupaca. Također, prikazana je i analiza tehnoloških vremena kao i ukupnog vremena izrade unutar pilane te ponuđena moguća unaprijeđenja procesa u skladu sa aktuelnim modernim proizvođačkim procesima.

2. PROJEKTOVANJE TEHNOLOŠKIH PROCESA

Tehnološki proces je izvor svih podataka za pripremu i vođenje proizvodnog procesa, čime su uveliko predodređeni kvalitet proizvoda, proizvodnost rada i ekonomičnost proizvodnje. [2] Proizvodni proces zapravo predstavlja rješenje tehnološkog procesa u prostoru i vremenu. [1] Temeljna jedinica svakog tehnološkog procesa je operacija. Operacija je skup svih zahvata (zbivanja) koji se obavljaju na jednom radnome mjestu uz jedno pripremanje tog radnog mjesta za njihovo obavljanje. Operacija predstavlja osnovu za planiranje i vođenje proizvodnje, za kalkulacije i za obračun.

2.1. Svrha projektovanja tehnološkog procesa

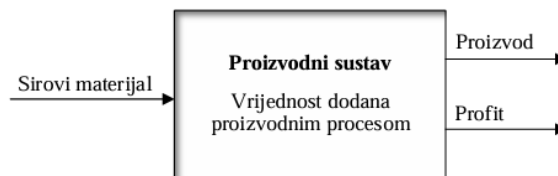
Projektovanje tehnološkog procesa zapravo znači pretvaranje podataka iz crteža u podatke za pripremanje i vođenje proizvodnje (proizvodnog procesa), vodeći računa o stvarnom proizvodnom sistemu u kojem se taj proces izvodi i o stvarnoj organizaciji proizvodnje koja postoji u tom sistemu. Shema za ilustraciju navedenog prikazana je na slici 2.1. Organizaciji posla na projektovanju tehnoloških procesa za nove proizvode mora se posvetiti posebna pažnja jer ekonomski rezultati poslovanja u velikoj mjeri zavise o kvaliteti projektovanih tehnoloških procesa. [2]



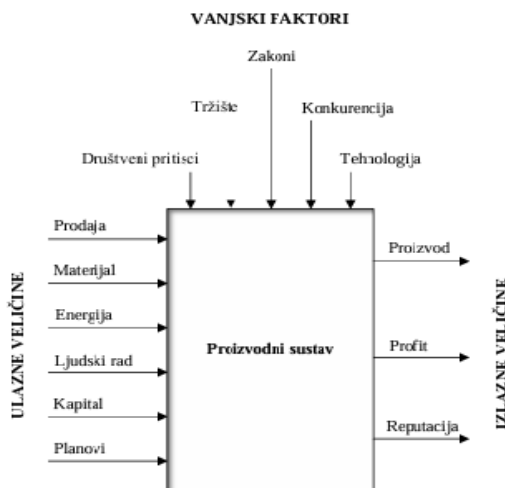
Slika 1. Značenje projektiranja tehnološkog procesa u pripremi i vođenju proizvodnje i poslovanja

Proizvodni proces, ili jednostavno proizvodnja, jest proces stvaranja novih proizvoda iz sirovih materijala korištenjem raznih procesa, opreme, operacija i ljudske snage prema unaprijed

određenom detaljnom planu. Tokom proizvodnog procesa sirovi materijal prolazi kroz promjene koje mu omogućavaju da postane dio proizvoda (ili više njih). Tako nastali proizvod na tržištu postiže određenu vrijednost, što znači da se proizvodnja može promatrati i u vidu aktivnosti dodavanja vrijednosti materijalu. Procesom rada moguće je direktno povećati vrijednost materijalu. Kako bi organizacija ili kompanija koje stvara proizvod mogla funkcionisati, a samim time i opstati, dodana vrijednost proizvoda mora biti veća od samog troška proizvodnje. [4] Iz već navedenih definicija proizvodnog procesa izvode se i definicije samog proizvodnog sistema. Proizvodni sistem predstavlja proces u kojem se sirovi materijali pretvaraju iz jednog oblika u drugi (poznato kao proizvod), pri čemu im se dodaje vrijednost proizvodnim procesom, a samim tim stvara i vrijednost u obliku profita, što je prikazano na slikama 2 i 3. Ovdje je riječ o općoj definiciji proizvodnog sistema za sve oblike industrije, iako postoje mnoge šire definicije o tome što proizvodni sistem predstavlja, te su za svaku granu industrije specifične. [4]



Slika 2. Opći model proizvodnog sistema s dodavanjem vrijednosti



Slika 3. Ulazne i izlazne veličine proizvodnog sistema

2.2. Kapacitet proizvodnog sistema

Kapacitet je veličina kojom se određuje proizvodna sposobnost mašine, dakle, veličina mogućnosti za proizvodnju. Kapacitet mašine se definiše kao njegova sposobnost da u jedinici vremena obavlja određenu količinu nekih specificiranih proizvodnih efekata određene kvalitete. Time su u pojam kapaciteta ugrađene odrednice:

- količine,
- vremena,
- kvaliteta proizvoda.

Razlog unošenja pojma nedefinisanih proizvodnih efekata je činjenica toga što se ti efekti mogu

izraziti na različite načine u pogledu količine proizvoda, broja udaraca ili broja okretaja. Veličina kapaciteta se uvijek odnosi na određenu vremensku jedinicu. Kvalitetna komponenta u definiciji kapaciteta sadržana je u određenju proizvodnih efekata određene kvalitete, dakle, ne bilo kakve, nego određene kvalitete, jer veličina kapaciteta zavisi o kvaliteti proizvoda. Kraća vremena obrade površine nekog dijela uzrokovat će povećanje kapaciteta mašine, ali će pri tome smanjiti kvalitetu površine obrađivanog dijela. Također vrijedi da će se duljim vremenom obrade kapacitet mašine smanjiti uz istovremeno povećanje izlaznog kvaliteta obrađene površine.

U praksi, zavisno o vrsti funkcije, razvijeni su različiti izrazi za kapacitet, a to su:

- količina gotovih proizvoda,
- količina tehničkog učinka,
- broj okretaja glavne osi u jedinici vremena,
- vrijednost proizvodnje,
- radni sati,
- količina inputa.

Preciznije izražavanje veličine kapaciteta zahtijeva da se pobliže označi kvaliteta ulazne veličine, kvaliteta izlazne veličine, te karakteristike tehnološkog procesa uz koje se proces proizvodnje odvija, a koje imaju utjecaja na veličinu kapaciteta. [2]

2.3. Ciklus proizvodnje, koeficijent protoka i međuoperacijski zastoji

Ciklus proizvodnje predstavlja određeni vremenski interval od početka rada na prvoj operaciji i poziciji pa do predaje gotovog proizvoda u skladište ili eksploataciju. Cilj upravljanja proizvodnim sistemom jeste skraćivanje ciklusa proizvodnje, kako bi uložena sredstva što prije preko gotovog proizvoda bila plasirana na tržište, tj. prodana. Kako bi se izračunao ciklus proizvodnje nekog proizvoda i omogućilo njegovo maksimalno skraćivanje, izračunava se vrijeme trajanja svake operacije na određenom proizvodu uz korištenje normiranog vremena za svaku operaciju, te pripremno završno vrijeme za određenu seriju.

Stoga će trajanje pojedine operacije za n komada (u satima) iznositi, prema relaciji (1) :

$$t_N = t_{pz} + n \cdot t_1, \quad (1)$$

gdje je:

t_N – ukupno vrijeme trajanja određene operacije,

t_{pz} – pripremno-završno vrijeme određene operacije,

n – broj komada,

t_1 – tehnološko vrijeme određene operacije.

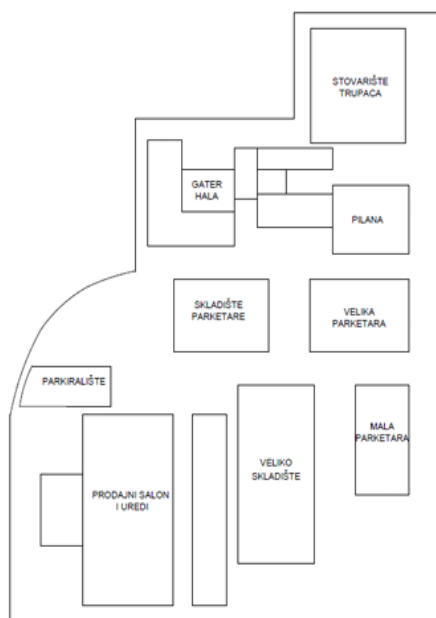
Iz ukupnih podataka o trajanju svih operacija na određenom proizvodu, odnosno poziciji, moguće je izračunati ciklus proizvodnje prema različitim teoretskim principima kretanja kao što su postupni ciklus proizvodnje, paralelni ciklus proizvodnje i kombinirani ciklus proizvodnje. Tako dobiveni podaci unose se u gantograme koji dobro prikazuju početak, trajanje i završetak aktivnosti. Postupni ciklus proizvodnje predstavlja prvi i osnovni teoretski princip kretanja, a karakterisan je činjenicom da sljedeća operacija ne može započeti ako nije završena prethodna. Ukoliko se želi ubrzati ciklus proizvodnje kod rada u većim serijama, to se može postići korištenjem paralelnog ciklusa proizvodnje pri čemu se neke operacije mogu izvoditi paralelno. Kombinovanim ciklusom proizvodnje postiže se još veće skraćivanje proizvodnog intervala, a koristi se uglavnom u veliko-serijskoj i masovnoj proizvodnji. [7] [8]

U stvarnosti, ciklusi proizvodnje se ne odvijaju prema već navedenim teoretskim principima

kretanja, a osnovni razlog tome je postojanje određenih zastoja kao što su kontrola, transport i čekanje na slobodno radno mjesto koji produžuju trajanje ciklusa. Ti zastoji nazivaju se međuoperacijskim zastoja i posljedica su određene organizacije posmatrane proizvodnje. U praksi, vrijeme trajanja međuoperacijskih zastoja je ukupno duže od samog proizvodnog rada. Zbog toga se javlja potreba određivanja stvarnog ciklusa proizvodnje za pojedine pogone i tvornice, pri čemu se analizira stvarno snimljeni ciklus proizvodnje s ciklusom proizvodnje po postupnom načinu kretanja. Takvom analizom dobijen je koeficijent protoka koji kaže koliki je stvarni ciklus proizvodnje duži od onog po postupnom načinu kretanja. Koeficijent protoka je indikator kvalitete proizvodnog procesa, odnosno njegove organizacije. No, njegovu vrijednost određuju veličine međuoperacijskog zastoja. Stoga se stvarni ciklus proizvodnje može izračunati i direktno, dodavanjem trajanja vremena međuoperacijskog zastoja na trajanje svake operacije u danima, pri čemu veličina međuoperacijskog zastoja može varirati od jednog sata do nekoliko dana ili sedmica. [7] [8]

2.4. Kompanija u kojoj je izvršena analiza tehnološkog procesa

Kompanija je smještena u sjevero-zapadnom dijelu Zagorja i sastoji se od prodajnog salona, pilane, stovarišta trupaca, montažne hale, sušara, velike parketare, male parketare i skladišta gotovih proizvoda. U kompaniji je trenutno preko 250 zaposlenih, većinu čine proizvodni radnici, drveni tehnolozi, ekonomisti itd. Opći tlocrt kompanije predložen je shemom na slici 4.



Slika 4. Jednostavna shema rasporeda infrastrukture unutar obrađene kompanije

2.5. Primarna proizvodnja

Proizvodnja u analiziranoj kompaniji temelji se na jednoj proizvodnoj liniji za primarnu obradu trupaca unutar pilane. Za razliku od drugih oblika mašinske obrade, gdje je moguće pronaći opremu i mašine za više različitih vrsta tehnoloških operacija, kod obrade drveta to najčešće nije slučaj, već glavninu mašina čine mašine za rezanje (piljenje), mašine i uređaji za transport i sortiranje. U analiziranom pilanskom postrojenju nalaze se sljedeće mašine:

- Mašine za rezanje: CNC kružna pila, tri poprečne kružne pile, pet stolarskih tračnih pila, višeliska (automatska) pila za uzdužno raspiljivanje.
- Mašine za transport trupaca u obradi: devet lančanih transportera, sedam valjkastih

transportera i četiri trakasta transportera.

- Mašine za sortiranje: sortirna traka s automatskim izbacivačima (sortirnica).

Pored navedenih mašina i opreme, unutar proizvodnog pogona pilane nalazi se instalirana vakuumska dizalica te guljač kore s mlinom za koru.

3. ANALIZA PROCESA PRIMARNE OBRADE TRUPACA

3.1. Analiza kapaciteta pilanskog postrojenja

Godišnji kapacitet pilane iznosi $14\ 000\ \text{m}^3$ trupaca u dvije smjene. Pri tome, prva smjena proizvodi čitav asortiman poluproizvoda u koji su uključeni elementi za klasični parket, seljački pod, ploče, gazišta i furnire. Druga smjena pili trupce primarno u samice koje se okrajčuju, ali također prerađuje dio piljenica u elemente za ploče, namještaj, gazišta i furnire. Kvaliteta drveta odlučuje svrhu pojedinog trupca, stoga se ne može govoriti o tačnim količinama u vidu serijske proizvodnje, već o okvirnim iznosima u kubikaži na nivou čitave pilane. Ukupni dnevni kapacitet pilane iznosi od $25\ \text{m}^3$ do $30\ \text{m}^3$ elemenata (elemenata klasičnog parketa, seljačkog poda, elemenata za ploče, namještaj, furnire i gazišta) koji također može značajno varirati ovisno o radnom nalogu ili dnevnim potrebama kompanije. Sama iskorištenost trupaca tokom prerade piljenica iznosi od 65 % do 75 % , dok iskorištenost piljenica pri preradi u elemente iznosi od 40 % do 50 %.

Elementi se dodatno dorađuju u gotove proizvode pri čemu iskoristivost elemenata u obradi iznosi 92 %. [10],[11]. Pritom će se gubici na većini mašina posmatrati u vidu postotaka otpadnog drveta koje nastaje na pojedinoj mašini za obradu. Na glodaču kore se jedino ne uzimaju gubici, budući da je volumen kore (koja se na glodaču skine) zanemariv naspram volumena samog trupca. Za glodač kore, kao i ostale strojeve promatrani su dnevni proračunski kapaciteti ($C_{\text{proračunski}}$) i dnevni stvarni kapaciteti (C_{stvarni}), koristeći se pritom podacima o raspodjeli volumena trupca pri izradi pojedinog elementa (posmatra se ukupni volumen trupca na pojedinom stroju, a to znači da se promatra obradni volumen (V_{obradni})). Pri analizi kapaciteta koristi se proračunski broj trupaca ($N_{\text{proračunski}}$), kao i stvarni broj trupaca (N_{stvarni}).

U prvoj smjeni se tehnikom u piljenja u cijelo iz jednog trupca u prosjeku dobija 16 dasaka, koje se kasnije dodatno pile i prerađuju do elemenata. U obje smjene obrađuje se podjednaka količina trupaca. Tokom proizvodnje elemenata klasičnog parketa proizvode se i daske za namještaj, furnire, gazišta i doradu koje se kasnije koriste prema potrebama poduzeća. Kao što je navedeno, količina nastalog otpadnog drveta po pojedinačnoj mašini je različita i uzeta je kao određeni gubitak kapaciteta stroja.

3.2. Uska grla unutar proizvodnog procesa i rokovi izrade

Usko grlo u proizvodnoj liniji za primarnu obradu trupaca predstavlja tračna pila trupčara. Dnevni kapaciteti izrade elemenata (riječ je o poluproizvodima za izradu klasičnog parketa, seljačkog poda, ploča, furnira i gazišta) iznose $31,96\ \text{m}^3$, a samica $17,22\ \text{m}^3$ (samice su poluproizvodi koji trebaju dodatnu obradu). [9] [10] Budući da elementi koji nastaju preradom u pilani predstavljaju poluproizvode, nezgodno je odrediti rokove izrade poluproizvoda koji ipak ponajviše ovise o narudžbi. Stoga, kao rok izrade može se promatrati protok sistema, a za elemente prve smjene dobiva se dijeljenjem kapaciteta elemenata prve smjene ($22,24\ \text{m}^3$) sa ukupnim radnim vremenom smjene (7,5 h) i iznosi $2,965\ \text{m}^3/\text{h}$. Rok izrade za elemente druge smjene se također može gledati kroz pojam protoka sustava, a dobiva se dijeljenjem kapaciteta elemenata druge smjene ($9,72\ \text{m}^3$) sa ukupnim radnim vremenom druge smjene (7,5h) i iznosi $1,296\ \text{m}^3/\text{h}$.

3.3. Prijedlozi unaprjeđenja analiziranog proizvodnog procesa

Iz ranije izvršenih mjerenja vremena tehnološkog procesa pri izradi elemenata i samica vidljivo je da je prevladavajuće vrijeme tehnološko vrijeme, što treba i biti cilj svake kompanije. Tehnološko vrijeme je vrijeme u zahvatu; vrijeme kojim se vrši promjena materijala, a ono bi trebalo biti što veće u proizvodnji kako bi se izbjegli mogući gubici. Stoga, sva ostala vremena koja nisu tehnološka, poduzeće bi trebalo težiti minimizirati. U analiziranoj pilani vidljivo je da su udjeli pomoćnih vremena također značajni. Razlog tome je odluka da se u analizi procesa vremena transporta (mašine za transport) i vremena slaganja elemenata u složaj (mašine za sortiranje) posmatraju kao pomoćna, budući da ne utječu direktno na promjenu vrijednosti materijala u proizvodnji. Neka poboljšanja u vidu smanjenja pomoćnih vremena za te mašine nije jednostavno pronaći i potrebno bi bilo već značajno iskustvo i znanje u proizvodnji unutar drvne industrije. Jedna mašina na kojoj se sigurno može razmisliti o skraćivanju pomoćnog vremena je tračna pila trupčara. Trupčara reže samo u jednom smjeru trupac, što znači da postoji značajno vrijeme praznog hoda u kojem se kolica tračne pile vraćaju na početnu poziciju za ponovno rezanje trupca. Rukovodstvo kompanije je svjesno tog nedostatka trupčare, te su trenutno u fazi nabave nove tračne pile koja će omogućiti obradu u oba smjera i značajno skratiti pomoćno vrijeme na toj mašini. Druga mogućnost je potpuna automatizacija proizvodne linije za primarnu obradu trupaca.[3][5][6] Trenutno postoje radna mjesta na svim mašinama za obradu, na većini za transport i na svim mašinama za sortiranje (mjestima za sortiranje). Mogućnost unaprjeđenja se ogleda u smanjenju ljudskog rada i ukupnih ljudskih troškova gdje bi jedina potrebna radna mjesta unutar pilane bila na mašinama za sortiranje i eventualno kod označavanja piljenica za obradu na automatskoj kružnoj pili. Također, kao moguće poboljšanje cjelokupnog proizvodnog procesa unutar pilane zasigurno se nameće i komunikacija s radnicima, po uzoru na neke moderne modele proizvodnje. Radnici predstavljaju dio proizvodnje koji može procijeniti nedostatke postojećeg modela, iznijeti svoja zapažanja rukovodstvu kompanije i osigurati da se određeni problemi pravovremeno riješe.

4. ZAKLJUČAK

Cilj svake kompanije je uspješno lansirati svoje proizvode na tržište, ostvariti dovoljnu konkurentnost na tržištu i od proizvoda postići određenu dobit. Kako bi se navedeni ciljevi realizirali potrebno je detaljno proučavanje svih elemenata koji učestvuju u različitim fazama proizvodnog procesa. Ključni korak u proizvodnji, koji direktno utječe na sami proizvodni proces je i planiranje proizvodnje. Promatranjem i proučavanjem procesa planiranja proizvodnje omogućava se optimizacija cjelokupnog proizvodnog procesa. Ta optimizacija se ostvaruje djelimičnom ili potpunom automatizacijom, integracijom proizvodnih sistema, te upravljanjem velikom količinom podataka, pri čemu se smanjuju troškovi, a povećava efikasnost, fleksibilnost i najvažnija produktivnost. Analizirana kompanija, iako među vodećim hrvatskim kompanijama u drвноj industriji, još uvijek nije ušla u proces potpune digitalizacije i moderne industrijske automatizacije. Iako u svojim pojedinim linijama koriste robote niti jedna proizvodna linija nije u potpunosti automatizovana. Također proizvodni procesi u kompaniji još nisu digitalizovani, što uveliko onemogućava praćenje radnih naloga. Određene ideje o potpunom izostavljanju ljudskog rada u proizvodnom procesu i boljem praćenju samog proizvodnog procesa unutar pilane postoje, no najprije bi bilo poželjno od strane kompanije da teži što bližoj vrijednosti proračunskog kapaciteta na postojećim strojevima i tako ispuni određena poboljšanja na već postojećem sistemu. Jednom kada se određena poboljšanja postignu, kompaniji je lakše da se u takvom stanju okrene digitalizaciji i automatizaciji odnosno modelu koncepta koji je najpogodniji za analiziranu kompaniju, a sve u cilju dodatnog povećanja efikasnosti i produktivnosti proizvodnih linija.

5. REFERENCE

- [1] Zoran Kunica: Projektiranje proizvodnih sustava: Nastavni materijal, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2016.
- [2] Skupina autora: Inženjerski priručnik IP4, treći svezak, Organizacija proizvodnje, Školska knjiga, Zagreb, 2002.
- [3] Hong-Chao Zhang: Handbook of Design, Manufacturing and Automation, Poglavlje 29, John Wiley & Sons, 2003.
- [4] Peter Scallan: Process Planning, Butterworth-Heinemann, London, 2003.
- [5] Mark Skilton, Felix Hovsepian: The 4th Industrial Revolution : Responding to the Impact of Artificial Intelligence on Business, Palgrave Macmillan, 2018.
- [6] Klaus Schwab: The Fourth Industrial Revolution, Currency, 2017.
- [7] Raykumar Buyya, James Broberg, Andrzej M. Goscinski: Cloud Computing: Principles and Paradigms, John Wiley & Sons, 2011.
- [8] Li Da Xu, Wu He, Shancang Li: Internet of Things in Industries: A Survey, IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol.10, no.4, 2233-2243, 2014.
- [9] Shepley, B. P.; Wiedenbeck, J.; Smith, R. L., 2004: Opportunities expanded and higher value utilization of No. 3A Common hardwoodlumber. For Prod J 54(9): 77-85.
- [10] Smajić, S.; Ištvančić, J.; Obucina, M.; Jovanović, J.; Determination of success sawmill processing of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) logs by live sawing method; 14th International Scientific Conference WoodEMA 2021; Koper, Slovenia, pp. 363-368.
- [11] Smajić, S.; Ištvančić, J.; Jovanović, J.; Obucina, M.; Optimization and yield of quality and small sized diameter oak (*Quercus robur* L.) logs in production of rough elements., 7th International Conference „NEW TECHNOLOGIES, DEVELOPMENT AND APPLICATION“NT-2021 June 24-26. 2021 Sarajevo, Bosnia and Herzegovina.