

Analiza mogućnosti povećanja produktivnosti u malom razvojnom poduzeću

Lukač, Bepo

Master's thesis / Diplomski rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:942030>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-21**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Bepo Lukač

Zagreb, 2020.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Dr. Sc. Hrvoje Cajner, dipl. ing.

Student:

Bepo Lukač

Zagreb, 2020.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem mentoru Dr. Sc. Hrvoju Cajneru na pruženoj pomoći prilikom pisanja rada. Također se zahvaljujem g. Robertu Šafranu, osobnom prijatelju i vlasniku malog razvojnog poduzeća čiji je proizvodni proces uzet za temu ovoga rada, na uvidu u proizvodnju i potpori.

Zahvaljujem se i svojoj obitelji na potpori tijekom studiranja te svima koji su mi na bilo koji način pomogli.

Bepo Lukač



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za diplomske radove studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment,
inženjerstvo materijala te mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum:	Prilog:
Klasa:	
Ur. broj:	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **BEPO LUKAČ** Mat. br.: 0035199346

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Analiza mogućnosti povećanja produktivnosti u malom razvojnom poduzeću**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Analysis of possibility of production boost in a startup company**

Opis zadatka:

Mala razvojna poduzeća tijekom vremena imaju potrebu za uvođenjem novih proizvodnih sustava i postupaka u svrhu smanjenja ciklusa proizvodnje, povećanja produktivnosti te oslobađanja radnika od ponavljajućih i monotoni aktivnosti. Kako bi se opravdala ulaganja u nove sustave i postupke proizvodnje potrebno je dati detaljnu analizu studija rada i vremena. U diplomskom radu potrebno je:

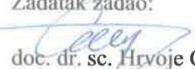
1. Snimiti konkretan proizvodni proces te ga prikazati preko VSM mape i funkcijsko vremenskog dijagrama.
2. Na odabranom segmentu procesa analizirati vremena, troškove i kvalitetu postojećeg proizvodnog procesa.
3. Dati prijedlog poboljšanja te procijeniti vremena, troškove, produktivnost i razinu kvalitete.
4. Uzimajući stvarne i procijenjene parametre simulirati buduće stanje.
5. Poboljšani proizvodni proces usporediti s prijašnjim koristeći ključne pokazatelje.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:
14. studenog 2019.

Rok predaje rada:
16. siječnja 2020.

Predviđeni datum obrane:
20. siječnja do 24. siječnja 2020.

Zadatak zadao:

doc. dr. sc. Hrvoje Cajner

Predsjednica Povjerenstva:

prof. dr. sc. Biserka Runje

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	II
POPIS TABLICA.....	III
POPIS OZNAKA	IV
SAŽETAK.....	VI
SUMMARY	VII
1. UVOD.....	1
2. PERSPEKTIVA KORIŠTENJA ELETRIČNIH VOZILA	2
2.1. Trend rasta tržišta električnih bicikala u Europskoj uniji	3
3. OPIS POGONSKOG SUSTAVA ELEKTRIČNOG BIKIKLA	11
4. OPIS PROCESA IZRADE ELEKTRIČNOG BIKIKLA	14
4.1. Tehnologija ručnog spajanja baterijskih paketa.....	19
4.2. Tehnologija spajanja baterijskog paketa pomoću CNC stroja	21
5. MJERENJE TRENUTNOG STANJA	23
5.1. Statistička obrada mjerenja	26
5.2. Vrijeme ciklusa ručnog spajanja	30
6. PROJEKCIJA UNAPRIJEĐENOG CIKLUSA	31
6.1. Odabrano rješenje	31
6.2. Vrijeme trajanja unaprijeđenog ciklusa	32
6.2.1. Jedno spajanje po prolazu	32
6.2.2. Dva spajanja po prolazu	34
7. IZRAČUN UŠTEDE	37
7.1. Iskorištenje kapaciteta proizvodnje.....	37
7.2. Cijena rada	39
7.3. Ušteta rada.....	39
7.4. Trošak održavanja	41
7.5. Vrijeme povrata investicije	41
8. UNAPRIJEĐENJE KVALITETE	43
9. ZAKLJUČAK.....	44
LITERATURA.....	45
PRILOZI.....	46

POPIS SLIKA

Slika 1.	Prikaz količine proizvedenih bicikala u državama EU [2].....	4
Slika 2.	Udio po državama u količini proizvedenih bicikala u EU u 2016. [2].....	5
Slika 3.	Proizvodnja električnih bicikala u EU[2]	6
Slika 4.	Udio proizvodnje električnih bicikala prema državama EU u 2016. [2].....	6
Slika 5.	Povijesni podaci o prodaji bicikala i električnih bicikala u EU [2].....	7
Slika 6.	Udio prodaje bicikala i električnih bicikala po državama EU u 2016. [2].....	8
Slika 7.	Prosječna cijena bicikala i električnih bicikala po državama EU u 2016. [2].....	9
Slika 8.	Povijesni podaci o prodaji električnih bicikala u EU [2]	9
Slika 9.	Povijesni podaci o udjelu prodaje električnih bicikala u ukupnoj prodaji bicikala i električnih bicikala u EU [2]	10
Slika 10.	Prikaz interakcije električnog pogonskog sustava.....	11
Slika 11.	Zaslon upravljačke jedinice	12
Slika 12.	E-bicikl s komponentama električnog sklopa	13
Slika 13.	VSM mapa trenutnog ručnog procesa	15
Slika 14.	Litij-ionske ćelije i traka za spajanje	16
Slika 15.	Okvir za ćelije	16
Slika 16.	Posložene ćelije sa trakama	17
Slika 17.	Rola mrežice za povezivanje ćelija [5].....	18
Slika 18.	Postavljena mrežica [6]	18
Slika 19.	Dijagram toka slaganja baterijskog paketa.....	19
Slika 20.	Dijagram toka ručnog radnog mjesta	19
Slika 21.	Uređaj za tvrdo spajanje „Sunkko 709a“	20
Slika 22.	Detalj tvrdog spajanja mrežice i ćelija	20
Slika 23.	Plan CNC radnog mjesta	21
Slika 24.	Tehnologija tvrdog spajanja mrežice s prorezom.....	22
Slika 25.	Gantogram procesa.....	24
Slika 26.	Histogram i funkcija razdiobe za mjerene podatke	27
Slika 27.	Prikaz najboljeg slučaja očekivanja trajanja prolaska jedne serije [7]	29
Slika 28.	Prikaz najgoreg slučaja očekivanja trajanja prolaska jedne serije [7].....	29
Slika 29.	CNC stroj „TMAX-DH-400“ [8]	31
Slika 30.	Putanja za jedno spajanje po prolazu	33
Slika 31.	Putanja za dva spajanja po prolazu.....	35
Slika 32.	Grafički prikaz povrata investicije, u EUR	42
Slika 33.	Primjer tvrdog spajanja korištenjem mrežice s prorezom	43

POPIS TABLICA

Tablica 1. Podjela procesnih vremena.....	23
Tablica 2. Primjer neobrađenih podataka mjerenja.....	25
Tablica 3. Primjer obrade vremena paralela.....	25
Tablica 4. Podaci za izračun intervalne procjene očekivanja vremena.....	26
Tablica 5. Test dobrote prilagodbe lognormalne funkcije.....	28
Tablica 6. Korišteni podaci za izračun vremena trajanja unaprijeđenog ciklusa [8,9].....	32
Tablica 7. Vremena trajanja unaprijeđenog ciklusa s jednim spajanjem po prolazu.....	33
Tablica 8. Vremena trajanja unaprijeđenog ciklusa s dva spajanja po prolazu.....	35
Tablica 9. Vremena izrade baterijskog paketa ručnim postupkom.....	38
Tablica 10. Vremena izrade baterijskog paketa CNC postupkom.....	38
Tablica 11. Iznosi smjenskih vremena za ručni postupak.....	40
Tablica 12. Iznosi smjenskih vremena za CNC postupak.....	40
Tablica 13. Uštede na godišnjoj razini za potražnju od 3 000 komada godišnje.....	41
Tablica 14. Troškovi održavanja CNC stroja.....	41
Tablica 15. Konačni izračun povrata investicije, u EUR.....	42

POPIS OZNAKA

Oznaka	Mjerna jedinica	Opis oznake
C_{radnik}	€	Cijena radnika godišnje
$C_{operater}$	€	Cijena operatera godišnje
$C_{ušt_rad}$	€	Vrijednost ušteđenog vremena trajanja proizvodnje jednog baterijskog paketa
$C_{ušt_CNC}$	€	Vrijednost ušteđenog rada CNC operatera za vremena trajanja CNC ciklusa
d	mm	Razmak među ćelijama
d_1	mm	Razmak među pozicijama spajanja na dvije različite ćelije kod ciklusa sa dva spajanja kod CNC rješenja
d_2	mm	Odmak među pozicijama spajanja na istoj ćeliji kod ciklusa sa dva spajanja kod CNC rješenja
IP	-	Interval povjerenja
n	-	Veličina uzorka mjerenja
n_{dana}	-	Broj radnih dana u godini
n_{potr}	-	Godišnja potražnja za baterijskim paketima
n_{smj}	-	Broj smjena rada (u danu)
s	-	Standardna devijacija uzorkovanih vremena
S_{μ}	-	Standardna devijacija za lognormalnu razdiobu
t_{bat}	s	Ukupno srednje vrijeme proizvodnje jednog baterijskog paketa
t_{bat1}	s	Vrijeme trajanja spajanja jedne strane paketa ciklusima s jednim spajanjem
t_{cik1}	s	Vrijeme trajanja jednog prolaza ciklusa s jednim spajanjem
t_{CNC}	s	Ukupno vrijeme izrade jedne strane baterijskog paketa CNC rješenjem
t_d	s	Vrijeme trajanja pomaka d među ćelijama
t_{d1}	s	Vrijeme trajanja pomaka d_1 među ćelijama
t_{d2}	s	Vrijeme trajanja pomaka d_2 među ćelijama
t_{dost}	s	Dostupno vrijeme s obzirom na broj smjena
t_{osn}	s	Interval vremena očekivanja prolaska jedne paralele za osnovnu populaciju sa 95% povjerenjem
t_{p1}	s	Vrijeme slaganja ćelija u okvir
t_{p2}	s	Vrijeme postavljanja mrežice od nikla
t_{p3}	s	Vrijeme trajanja okretanja paketa
t_{p4}	s	Vrijeme postavljanja mrežice od nikla
t_{p5}	s	Vrijeme trajanja vizualne kontrole
t_{potr}	s	Potrebno vrijeme za zadovoljenje godišnje potrebe

t_{pz1}	s	Vrijeme pripreme radnog mjesta
t_{pz2}	s	Vrijeme pripreme stroja
t_{pz3}	s	Vrijeme pripreme materijala
$t_{ruč_d}$	s	Najkraće ukupno vrijeme spajanja jedne strane baterijskog paketa
$t_{ruč_k}$	s	Najdulje ukupno vrijeme spajanja jedne strane baterijskog paketa
t_{slob}	s	Neiskorišteno dostupno vrijeme
t_{smj}	h	Raspoloživo vrijeme u jednoj smjeni
t_{t_CNC}	s	Vrijeme trajanja jednog ciklusa spajanja kod unaprijeđenog procesa
t_{t1}	s	Vrijeme spajanja prve strane paketa
t_{t2}	s	Vrijeme spajanja druge strane paketa
t_{z1}	s	Vrijeme trajanja pomaka po z-osi CNC stroja
$t_{ušt_rad}$	s	Uštedeno vrijeme trajanja proizvodnje jednog baterijskog paketa
$t_{ušt_CNC}$	s	Slobodno vrijeme CNC operatera za trajanja CNC ciklusa
\bar{x}	s	Aritmetička sredina uzorkovanih vremena
z	-	Tablična vrijednost za 95% interval povjerenja
μ	-	Očekivanje lognormalne razdiobe
μ_{donji}	-	Donja granica intervala povjerenja osnovne populacije
μ_{gornji}	-	Gornja granica intervala povjerenja osnovne populacije

SAŽETAK

Analiza povrata investicije i njene isplativosti generalno bitan je dio zadataka koje pokriva današnje industrijsko inženjerstvo. Ukoliko se radi o investiciji koja je značajan izdatak za tvrtku, u slučaju neuspjeha te investicije može se dovesti u pitanje poslovanje cijele tvrtke te se stoga velika pozornost pridaje analizama investicija. U ovom radu prikazana je analiza isplativosti investicije u automatizaciju dijela proizvodnog procesa u malom razvojnom poduzeću koje se bavi proizvodnjom komponenata za mala električna vozila, najčešće električne bicikle, te modifikacijom klasičnih bicikala u električne. Kako bi se kvalitetno analizirala mogućnost poboljšanja proizvodnog sustava potrebno je detaljno snimiti postojeće stanje primjenom studije rada i vremena. Fokusiranjem na ključni dio proizvodnog procesa i snimanjem vremena aktivnosti i kvalitete daje se prijedlog unaprjeđenja. Nakon razrade poboljšanja usporedbom s postojećim stanjem generiraju se ključni pokazatelji koji opravdavaju buduću investiciju prvenstveno uzimajući u obzir produktivnost, vodeće vrijeme i takt proizvodnje. Daljnjom analizom tržišta opravdava se investicija, a uzimajući u obzir vremena postojećeg stanja i budućeg automatiziranog rješenja dolazi se do računice uštede i u konačnici vremenske točke povrata investicije.

Ključne riječi: studij rada i vremena, povrat investicije, analiza tržišta, automatizacija procesa, električni bicikl

SUMMARY

Return on investment (ROI) analysis and a case-study of each investment present a vital part of modern-day Industrial Engineering, as well as business planning in general. If an investment requires significant funds, in case of failure entire company could suffer long-term consequences or even face going out of business. Therefore, significant importance is placed upon a quality investment study. This paper presents a return on investment analysis for a case of an investment into a CNC automation of a part of production process in a start-up company that manufactures components for small electric vehicles, mostly e-bikes, and assembles them or retrofits them onto bikes of customers, thus turning them into e-bikes. In order to conduct a quality analysis of possible production improvement, current state is analyzed using time and motion study. Focusing on a key production process part and measuring production time and quality levels, enhancement plan is proposed. A comparison is drawn by calculating the difference in production time and quality between current and the possible improved state. Key performance indicators are compiled, justifying the investment by taking into account productivity, lead time and production cycle. Market analysis explains the business opportunity behind the investment, while the comparison of production times between the current state of the process and the possible future automated process leads to a calculation of possible savings, from which the final break-even point is found.

Key words: time and motion study, return on investment, market analysis, process automation, electric bicycle

1. UVOD

U ovom diplomskom radu razradit će se isplativost uvođenja automatiziranog rješenja u proizvodni postupak za slučaj proizvodnje električnih bicikala u malom razvojnom poduzeću. Postupak izrade baterijskog paketa za električni bicikl ustaljen je proces čiji se tehnološki dio koji stvara dodatnu vrijednost trenutno radi ručno, a postoji mogućnost automatizacije primjenom CNC stroja. Uvođenjem CNC stroja trenutni ručni postupak tvrdog spajanja ćelija u baterijski paket može se značajno ubrzati i učiniti preciznijim, što također dovodi do konzistentnosti kvalitete.

Kroz iduća poglavlja ponajprije slijedi analiza europskog tržišta električnih bicikala na koju se oslanja cijela investicija. Zatim slijedi pregled trenutne tehnologije i tehnologije koju se razmatra za implementaciju i njene primjene na realne proizvode. Nadalje, prikazat će se način prikupljanja potrebnih podataka i vremena obrade potrebnih za analizu proizvodnog postupka. Navest će se na koji su način mjerena navedena vremena uz detaljan opis radnog mjesta i proizvodnog postupka. Također, opisat će se i svi statistički postupci upotrjebljeni u obradi i analizi prikupljenih vremena te na koji su način ti podaci iskorišteni u izradi studije isplativosti uvođenja robotskog rješenja.

Detaljno će biti opisano i predloženo automatizirano rješenje te još jednom u kontekstu stanja tržišta na koje se oslanja investicija.

2. PERSPEKTIVA KORIŠTENJA ELETRIČNIH VOZILA

Današnji se svijet sve više okreće alternativnim izvorima energije, a porastom cijena nafte i sve većom ekološkom osviještenosti, taj je zaokret posebice vidljiv u svim granama transporta. Čovjek 21. stoljeća sve je mobilniji i fleksibilniji, ali je istovremeno voljan odvojiti sve manje vremena i novca na mobilnost. S porastom gradova i urbanizacijom globalnog stanovništva, klasična transportna rješenja osobnog prijevoza u gradovima, a ponajprije se tu misli na osobna vozila i ostala vozila s motorima s unutarnjim izgaranjem, postaju sve neprikladnija zbog zakrčenosti gradskih prometnica i zagađenja. I dok je razvoj električnih automobila u punom zamahu, a danas gotovo da nema automobilskog proizvođača koji ne ulaže značajna sredstva u istraživanje i razvoj istih, valja napomenuti da električna vozila na 4 kotača rješavaju problem zagađenja, ali ne rješavaju problem gužvi na prometnicama.

Rješenje gradskih gužvi s jedne je strane u velikim investicijama u javni prijevoz velikog obujma, a s druge strane u lakom i čistom osobnom prijevoznom sredstvu malih gabarita. Možda se u budućnosti optimalno rješenje pronade u kombinaciji obaju rješenja kroz korištenje javnog prijevoza i kratkoročni najam manjih prijevoznih sredstava poput e-bicikala, e-romobila i slično za potrebe osobnog prijevoza „zadnje milje.“ Pod tim terminom misli se na prijevoz ljudi u svakodnevnim aktivnostima od masovnog javnog prijevoza (primjerice podzemna željeznica) do njihovog konačnog odredišta, koje vrlo često nije blizu same stanice javnog prijevoza.

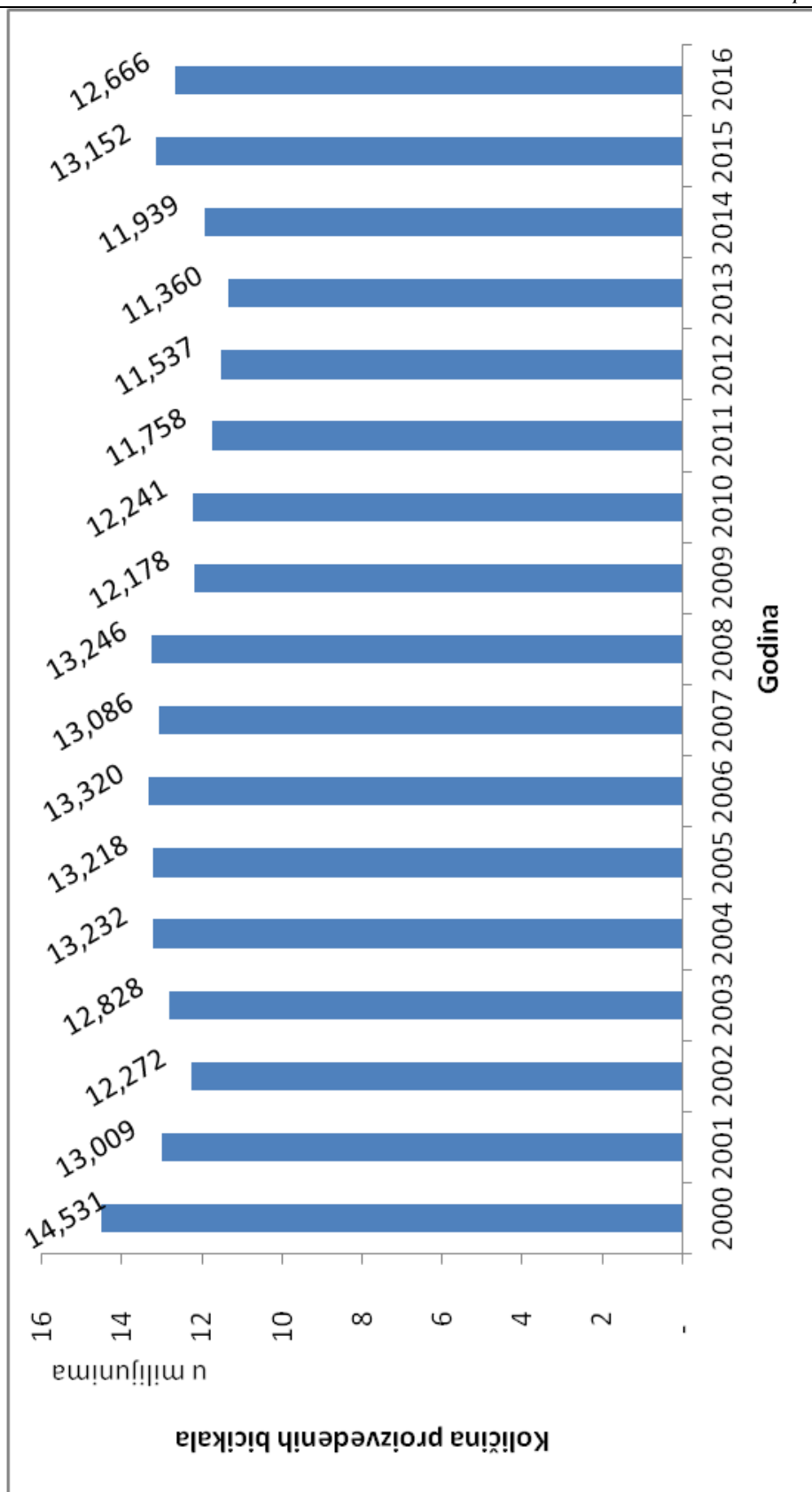
U svakom slučaju, dolazi do značajnog napretka u tehnologiji električnih prijevoznih sredstava svih veličina i namjena, a taj napredak ne bi bio moguć da ponajprije tehnologija pohrane i prijenosa energije nije toliko napredovala. Razvojem kvalitetnijih baterija omogućena je sigurnija i dugotrajnija pohrana energije dobivena iz obnovljivih izvora energije.

Također, bitno je napomenuti da je električni pogon kompaktniji i daje više snage po jedinici mase, a istovremeno je i tiši i čišći, što ga čini najpogodnijim za široku primjenu u osobnom prijevozu u područjima guste naseljenosti. Iz navedenih razloga trend rasta popularnosti električnih bicikala prisutan je u Europi već preko desetljeća, što će se potkrijepiti podacima o stanju na tržištu u nadolazećem potpoglavlju.

2.1. Trend rasta tržišta električnih bicikala u Europskoj uniji

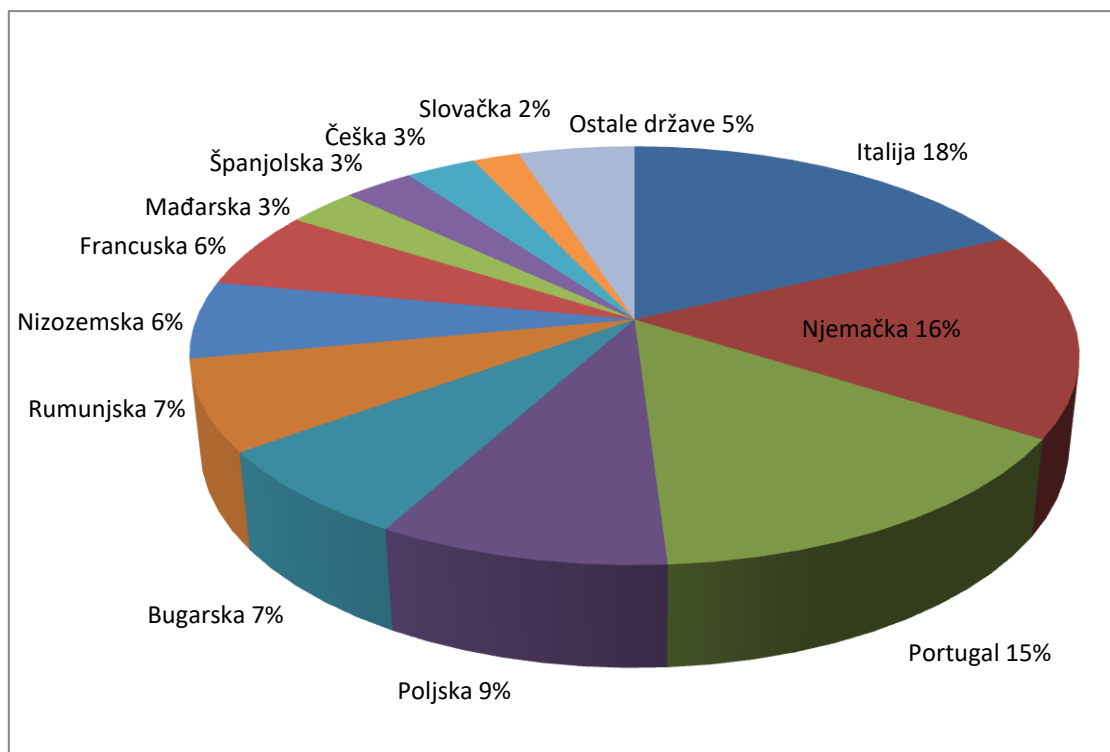
Tržište bicikala, a samim time i električnih bicikala, te pripadajućih dijelova i popratne opreme u Europskoj uniji regulirano je direktivom 2002/24/EC. U navedenoj direktivi od tehničkog nadzora, homologacije, potrebe za dozvolama i osiguranjem izuzeta su sva vozila na dva kotača potpomognuta vanjskim električnim motorom snage do 0,25 kW koja se progresivno smanjuje prilikom ubrzavanja te gasi pri brzini od 25 km/h i više. U stručnoj javnosti još uvijek ne postoji krajnji konsenzus oko naziva ovih vozila prema klasama. Često se koristi kratica EPAC (*electrically powered assisted cycle*), no u ovom radu koristit ćemo općeniti naziv električni bicikl[1]. Shodno tome, najveći dio električnih bicikala danas na tržištu dolazi s elektromotorom takvih specifikacija. Valja napomenuti da se mnoge europske udruge proizvođača i korisnika bicikala i električnih bicikala zalažu za promjenu regulative, točnije podizanje granice snage na 0,50 kW, pod argumentom da u mnogim područjima neravnog terena i za ljude veće tjelesne mase 0,25 kW vrlo često nije dostatna snaga. Povećanjem snage došlo bi do podizanja sigurnosti i komfora korisnika [2]. U nastavku su prikazani i interpretirani podaci o tržištu bicikala i električnih bicikala iz javno dostupne studije „European Bicycle Market – 2017 edition“ s podacima za 2016. godinu. Studiju je provela Konfederacija europske biciklističke industrije – CONEBI (*Confederation of the European Bicycle Industry*).

U 2016. godini u Europi je prodano gotovo 20 milijuna bicikala i električnih bicikala, a od toga je 13 milijuna proizvedeno u Europskoj uniji[2].



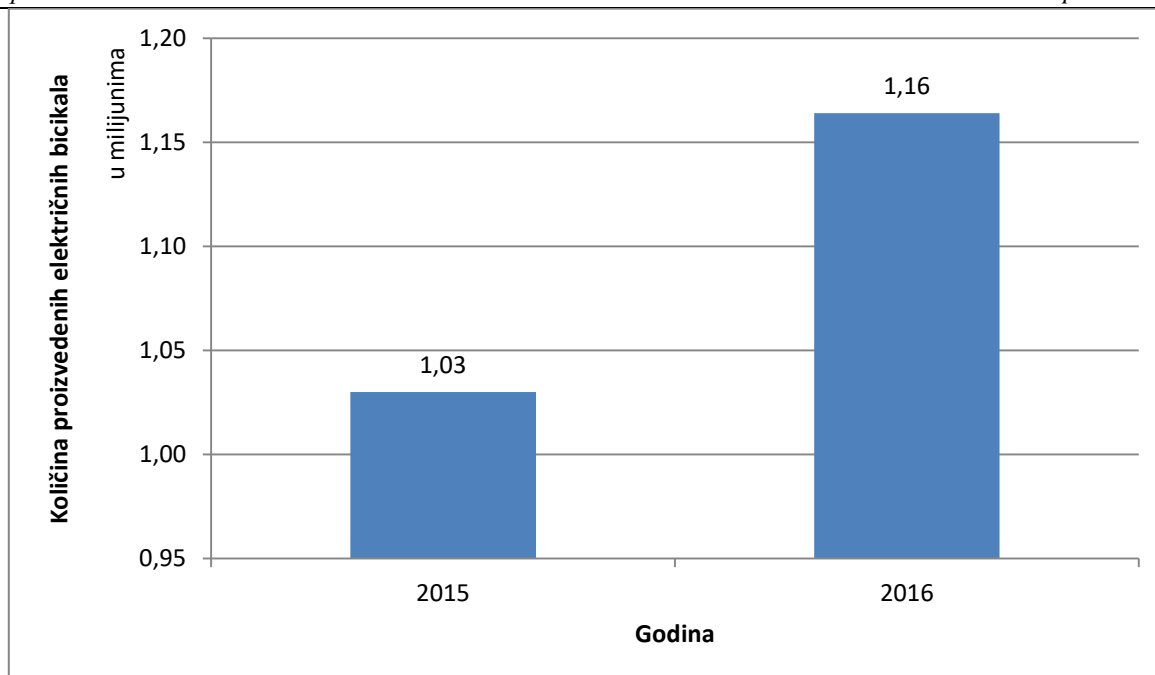
Slika 1. Prikaz količine proizvedenih bicikala u državama EU [2]

U nastavku je prikazano koje su države najveći proizvođači svih bicikala (uključujući električne) u Europskoj uniji.

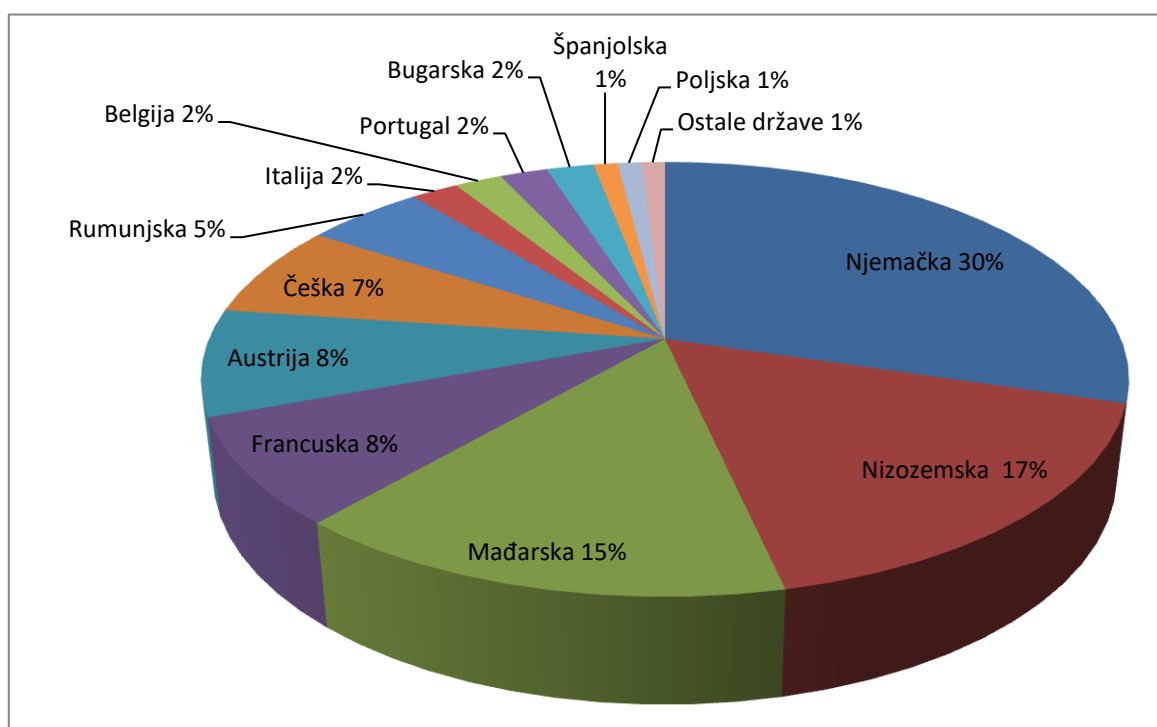


Slika 2. Udio po državama u količini proizvedenih bicikala u EU u 2016. [2]

Iako je ukupna proizvodnja bicikala u Europskoj uniji od 2000. do 2016. godine u padu, proizvodnja električnih bicikala (EPAC-ova) je u zadnje dvije analizirane godine u dvoznamenkastom porastu od gotovo 13% na godišnjoj razini.

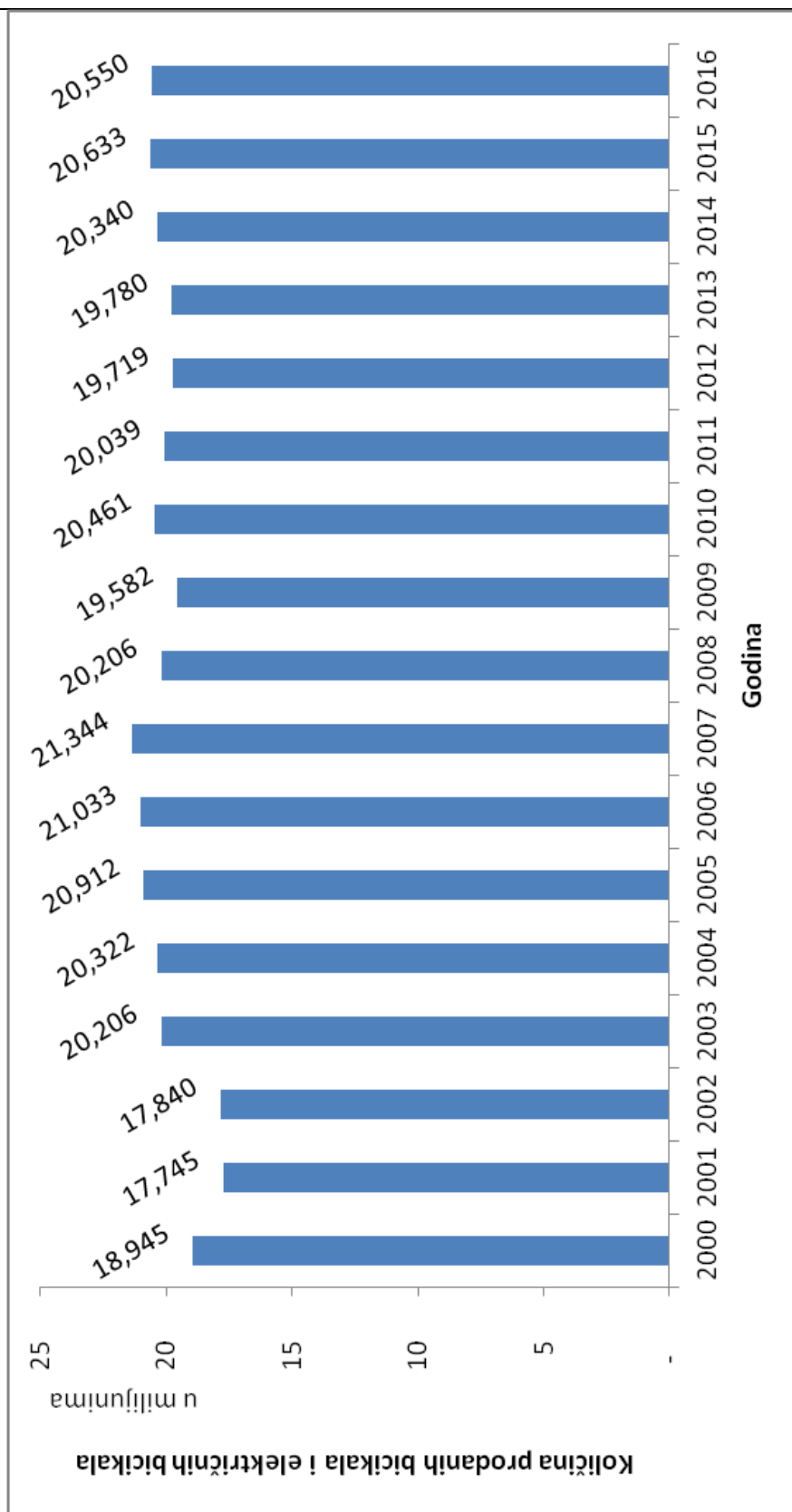


Slika 3. Proizvodnja električnih bicikala u EU[2]



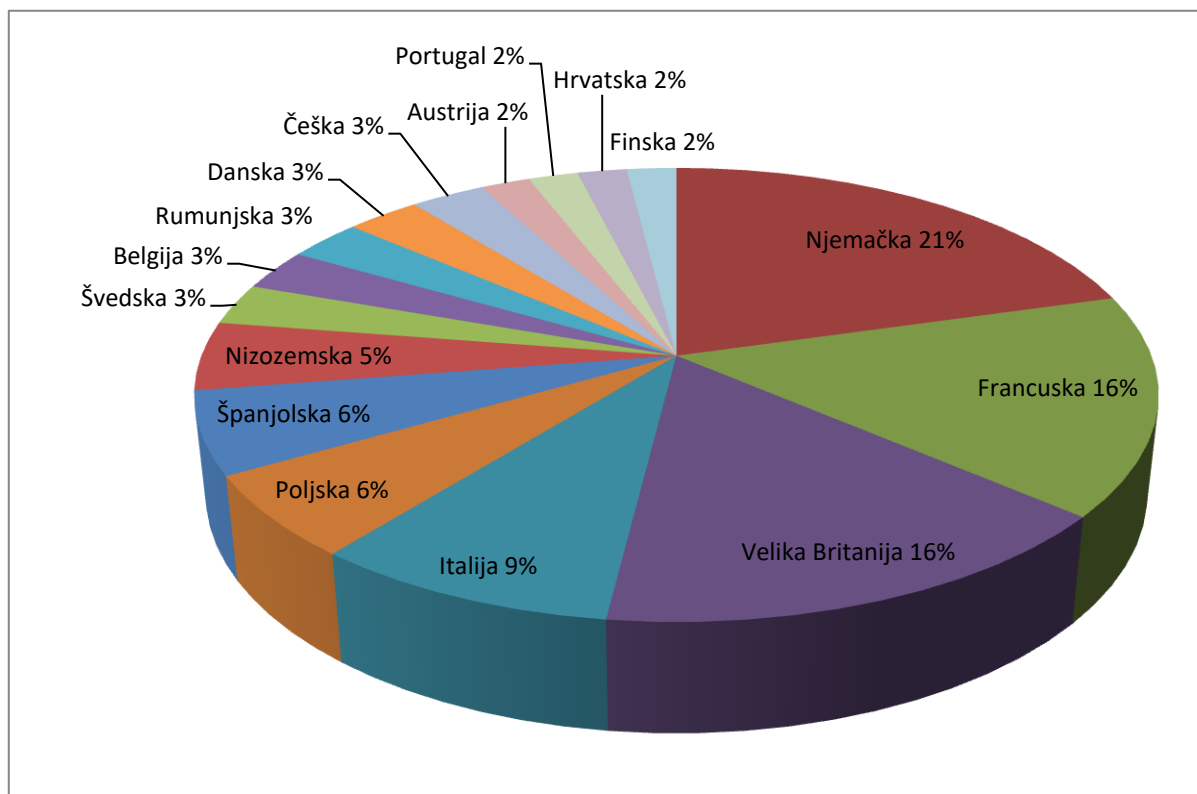
Slika 4. Udio proizvodnje električnih bicikala prema državama EU u 2016. [2]

Njemačka je kao industrijska predvodnica Europske unije najveći proizvođač električnih bicikala s 30% proizvedenih, a slijedi ju Nizozemska sa 17% unatoč puno manjoj populaciji, ali s vrlo razvijenom industrijom i kulturom biciklizma.



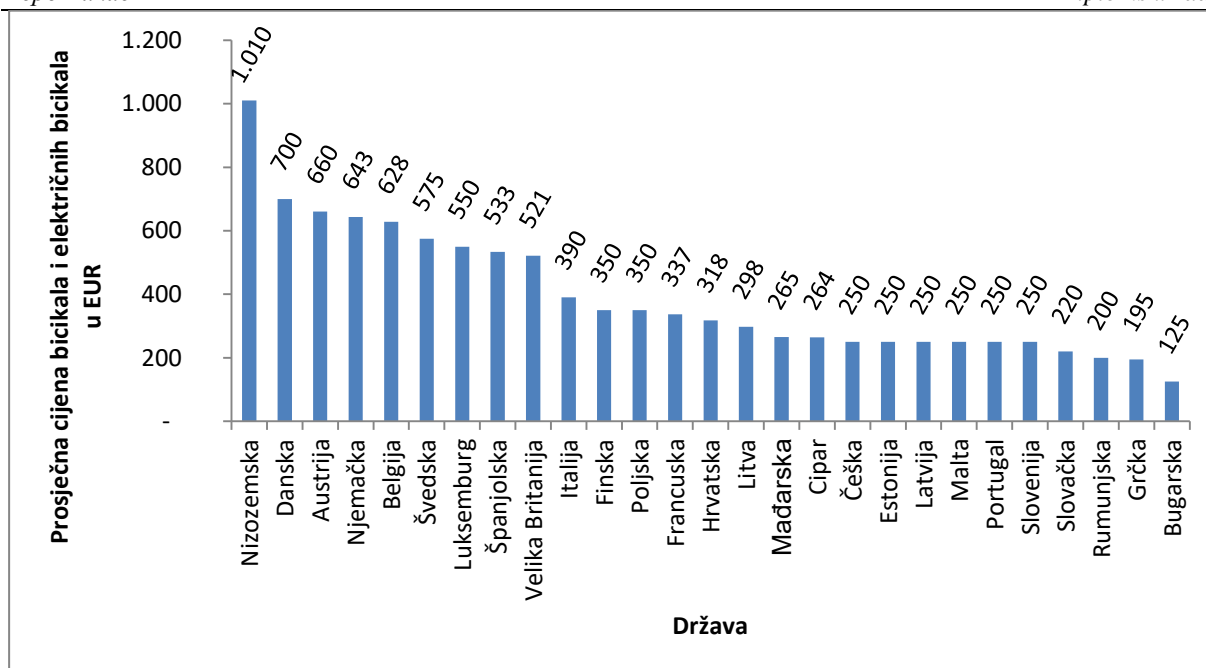
Slika 5. Povijesni podaci o prodaji bicikala i električnih bicikala u EU [2]

Ukupna prodaja bicikala i električnih bicikala u laganom je uzlaznom trendu s rastom od 8,5% u razdoblju od 2000. do 2016. godine. Kao što pokazuje Slika 6, Njemačka je ponovno na vrhu u Europskoj uniji kao najveće tržište s 21% ukupne prodaje bicikala i električnih bicikala u EU.



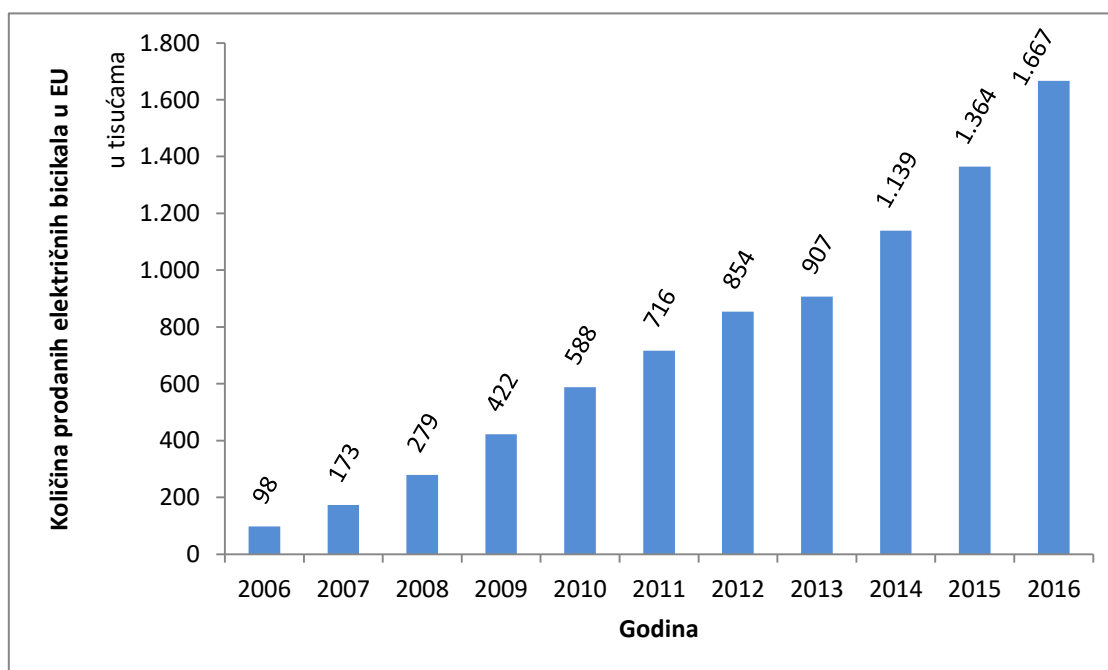
Slika 6. Udio prodaje bicikala i električnih bicikala po državama EU u 2016. [2]

Sljedeći graf prikazuje prosječnu cijenu bicikala i električnih bicikala po državama u Europskoj uniji i daje dobar uvid u razvijenost tržišta. Naravno, treba uzeti i visinu standarda u pojedinoj zemlji, ali je vidljivo da su u Nizozemskoj, državi koja je svjetski sinonim za kulturu biciklizma i korištenja bicikla ne samo za rekreaciju nego kao i prijevoznog sredstva, kupci spremni u prosjeku potrošiti 44% više od druge države na listi, relativno jednako razvijene Danske.



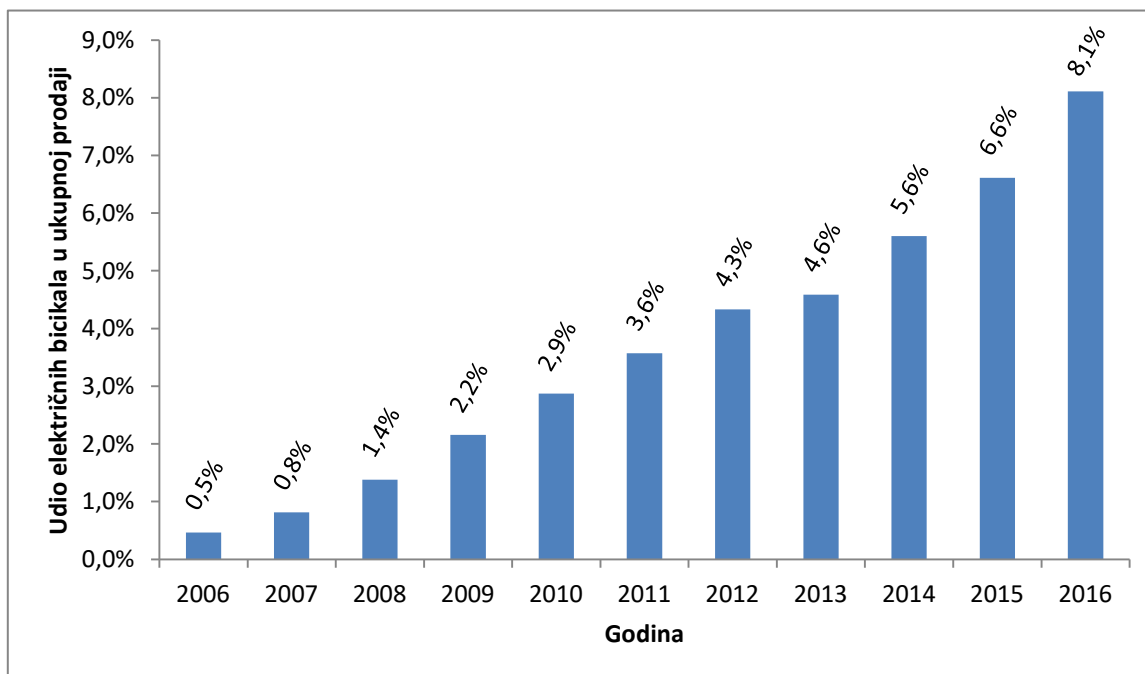
Slika 7. Prosječna cijena bicikala i električnih bicikala po državama EU u 2016. [2]

Uzevši u obzir podatke koje prikazuje Slika 5. i sljedeći prikaz, može se vidjeti da sve veći udio u prodaji bicikala i električnih bicikala čine upravo električni bicikli. Dakle, ukupno je tržište stabilno i u blagom rastu, ali električni segment tržišta bicikala je od 2006. do 2016. godine u ubrzanom dvoznamenkastom rastu. U apsolutnim brojkama radi se o rastu prodaje električnih bicikala sa 98.000 u 2006. na 1.667.000 u 2016. godini [2]. Ovaj podatak izrazito je bitan za poslovne odluke vezane za investicije u proizvodnju električnih bicikala.



Slika 8. Povijesni podaci o prodaji električnih bicikala u EU [2]

Dakle, u 2016. je udio električnih bicikala u ukupnoj prodaji svih bicikala i električnih bicikala iznosio 8,1%, dok je samo godinu ranije iznosio tek 6,6%, što predstavlja rast od 23% u udjelu prodaje električnih bicikala. Na sljedećem prikazu vidljiv je trend rasta popularnosti električnog bicikla.



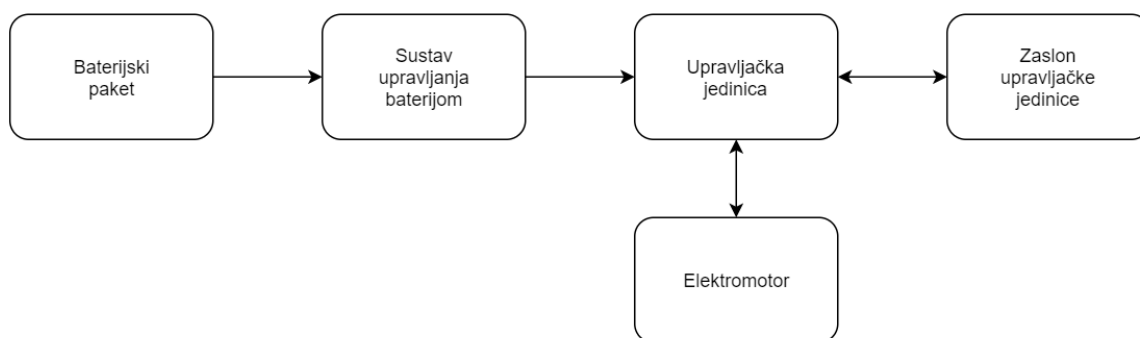
Slika 9. Povijesni podaci o udjelu prodaje električnih bicikala u ukupnoj prodaji bicikala i električnih bicikala u EU [2]

Iz svih priloženih podataka vidljivo je da tržište električnih bicikala postoji i u trendu je intenzivnog rasta, što opravdava poslovno planiranje u smjeru daljnjih investicija za unaprjeđenje proizvodnje.

3. OPIS POGONSKOG SUSTAVA ELEKTRIČNOG BICIKLA

Navedeni problem razmatra se u kontekstu malog razvojnog poduzeća osnovanog u gradu Zagrebu s ciljem pružanja usluge postavljanja električnog pogona na rabljene i nove bicikle[3] od klijenata. Dakle, komponente se postavljaju na širok spektar različitih bicikala što zahtijeva modularnost i fleksibilnost pri postavljanju električnog pogona. Iako se ovaj diplomski rad fokusira na povećanje produktivnosti samo u segmentu proizvodnje baterija za sklop, u nastavku slijedi kratki opis cijelog sustava električnog pogona sa slikama za dobivanje šireg konteksta.

Pogonski sustav električnog bicikla sastoji se od nekoliko ključnih komponenti: baterijskog paketa (baterije), sustava upravljanja baterijom (*eng. BMS – battery management system*), upravljačke jedinice (kontrolera) te zaslona sa sučeljem za korisnika te elektromotora. Slika 10. prikazuje logičku vezu komponenata u električnom sklopu.



Slika 10. Prikaz interakcije električnog pogonskog sustava

Baterijski paket sastoji se od nekoliko desetaka 18650 Li-Ion baterijskih ćelija povezanih postupkom tvrdog spajanja u serije i paralele, a ovisno o zahtjevima pogonskog sustava. Mogućnost povećanja produktivnosti prilikom izrade baterijskog paketa kasnije će se detaljno analizirati kao središnji dio ovog rada.

Sustav upravljanja baterijom mjeri napon, jakost struje i temperaturu baterije te na temelju tih podataka upravlja radom baterije održavajući je u području sigurnog rada [3].

Upravljačka jedinica (kontroler) nadzire rad elektromotora i upravlja količinom struje koja će ići u bateriju, a samim time i snage elektromotora, s obzirom na postavke koje korisnik odabere na sučelju.

Zaslon upravljačke jedinice (monitor) sa sučeljem predstavlja točku komunikacije između sustava i korisnika. U većini standardnih izvedbi korisnik može birati između nekoliko razina snage koju će dobiti iz motora, odnosno stupanj potpore biciklistu. Također se mogu regulirati i neke druge postavke, kao primjerice maksimalna brzina potpore (*eng. cut-off speed*) ili maksimalna struja.



Slika 11. Zaslon upravljačke jedinice

Elektromotor ima maksimalnu snagu od 250 W kako bi se vozilo i dalje moglo klasificirati kao bicikl prema Zakonu o sigurnosti prometa na cestama Republike Hrvatske [4].

Prijenos može biti izravan, tako da je elektromotor smješten na osovini jednog od kotača, ili preko lanca sa smještajem elektromotora na okvir bicikla u blizini pedala. Na sljedećoj slici vidimo pregled svih komponenti na e-biciklu s napravljenim prijenosom u odabranom malom

razvojnem poduzeću. E-bicikl na slici ima direktan prijenos, to jest elektromotor je smješten unutar zadnjeg kotača na osovini.



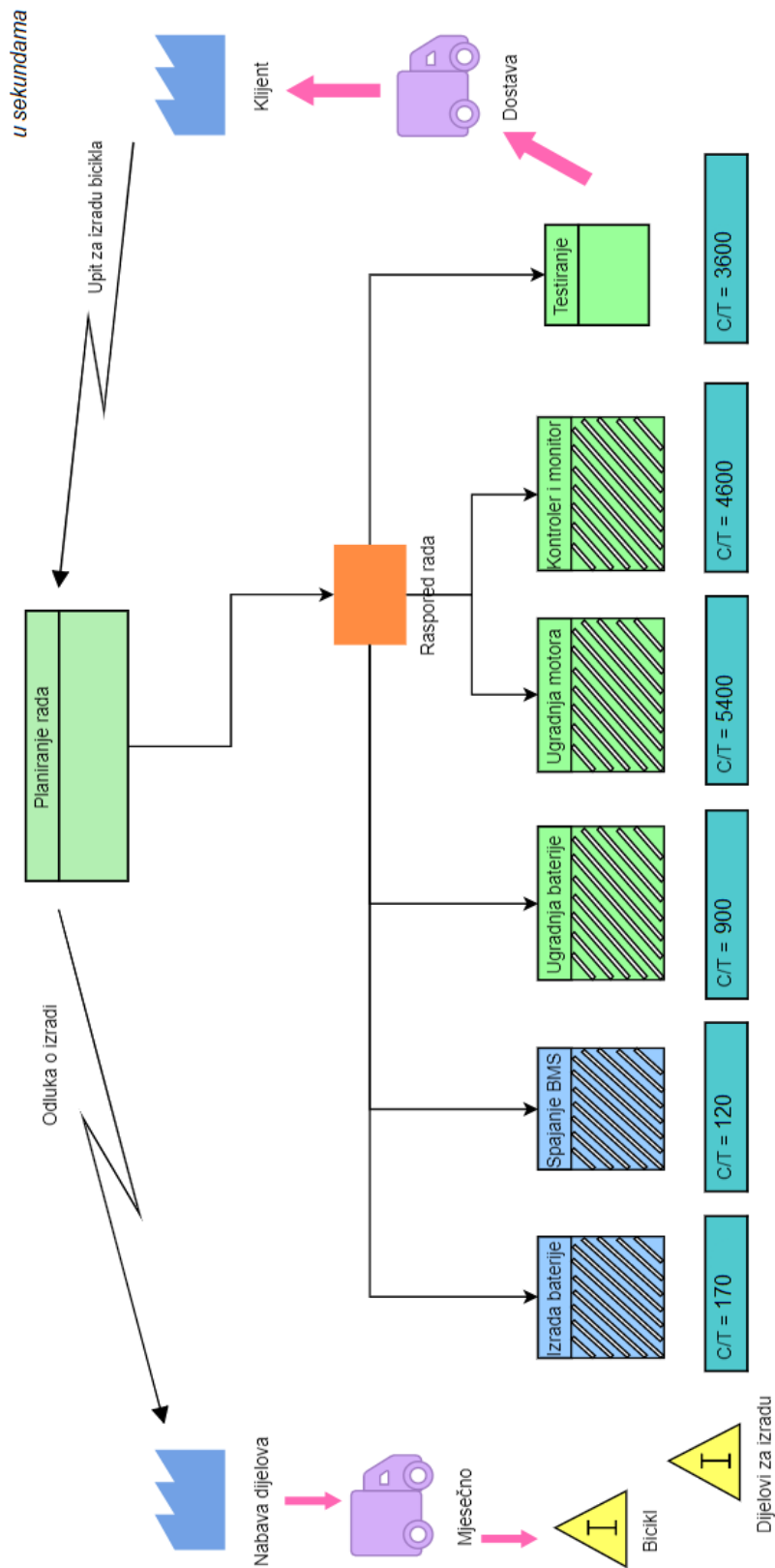
Slika 12. E-bicikl s komponentama električnog sklopa

4. OPIS PROCESA IZRADA ELEKTRIČNOG BIKIKLA

Proces izrade električnog bicikla u ovom se malom razvojnom poduzeću još uvijek planira po primitku narudžbe. Vlasnik zaprimi upit i razmotri izvedivost projekta nakon čega napravi ponudu. Daljnjim dogovorom s kupcem dogovori se i točna veličina baterijskog paketa i snaga motora. Za potrebe jednostavne, ali precizne analize u ovom radu uzimat će se u obzir samo jedna veličina i raspored baterijskog paketa, 10S3P, to jest po tri paralelne ćelije povezane u 10 serija.

Nakon definiranja točnih specifikacija bicikla vlasnik pregledava što od potrebnih dijelova ima na skladištu, te u rijetkim slučajevima naručuje potrebne dijelove koje nema. Razumno je očekivati da se s povećanjem kapaciteta proizvodnje očekuje i formiranje inventara koji će moći kontinuirano pratiti zahtjeve proizvodnje, uzevši u obzir potražnju.

Slika 13. prikazuje dijagram toka vrijednosti slaganja cijelog bicikla. Prva stavka u dijelu koji stvara dodatnu vrijednost je svakako izrada baterijskog paketa, što je već navedeno u tekstu gore i bit će detaljno objašnjeno u nastavku. Nakon toga slijedi spajanje BMS-a, koji, ovisno o izvedbi, uglavnom ide u kućište s ćelijama. Ove dvije stavke izvode se na radnom mjestu 1 – radnom stolu. Radna mjesta za izradu baterija detaljno su opisana kasnije u poglavlju 4 „OPIS PROCESA IZRADA“. Na drugom radnom mjestu bicikl se podiže na držač kako bi se rad obavljao na ergonomski povoljnoj visini za radnika koji stoji. Ugrađuje se motor i prilagođavaju žbice kotača, ako se radi o izvedbi gdje je motor na osovini kotača. Ugrađuje se i upravljačka jedinica i zaslon te se provlače žice i cijeli sustav spaja. Nakon što je bicikl gotov slijedi testiranje.



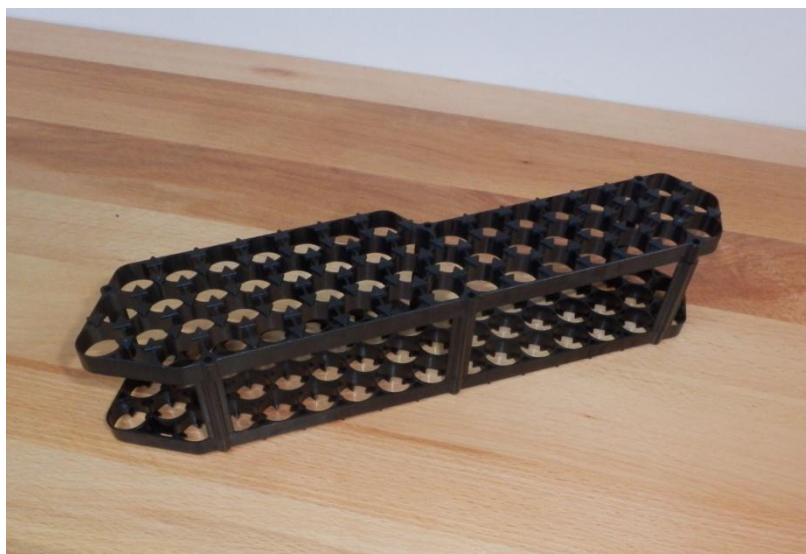
Slika 13. VSM mapa trenutnog ručnog procesa

Velika većina današnjih baterija u električnim automobilima, biciklima itd., izrađena je spajanjem velikog broja standardiziranih 18650 litij-ionskih ćelija u paralelu, a zatim su ti veći spojevi zajedno spajani ponovo u paralelu ili seriju, ovisno o zahtjevima, te tako čine ukupnu bateriju nekog sustava električnog pogona.



Slika 14. Litij-ionske ćelije i traka za spajanje

Kod obaju načina izrade ćelije će se slagati u okvire koji su također naručeni od vanjskog dobavljača. Ovi okviri se kasnije zajedno sa sustavom upravljanja baterijom stavljaju u kućište koje se učvršćuje na okvir bicikla.



Slika 15. Okvir za ćelije

Također nema razlike u daljnjim radnjama koje prethode spajanju. Nakon što se željeni broj ćelija postavi u kućište, trenutnim načinom rada reže se traka za spajanje i stavlja na predodređena mjesta u okviru tako da se formiraju paralele među ćelijama.

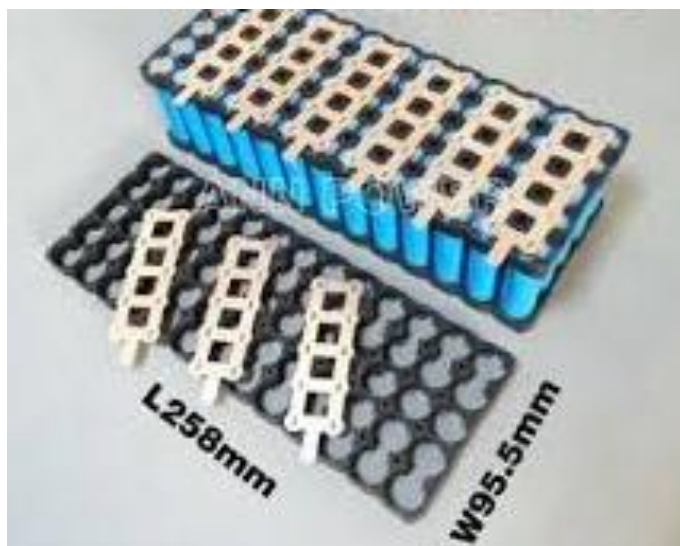


Slika 16. Posložene ćelije sa trakama

U budućće će se prilikom slaganja baterija koristiti mrežica za spajanje ćelija koja će istovremeno povezivati po tri ćelije u paralelu i sve te paralele u seriju. Također, pridonijeti će uštedi u vremenu zbog jednostavnijeg slaganja te eliminacije potrebe za rezanjem trake i slaganjem zasebnih komada. Na sljedeće dvije slike može se vidjeti primjer mrežice u roli kakva je dostupna na tržištu te primjer postavljanja na ćelije.

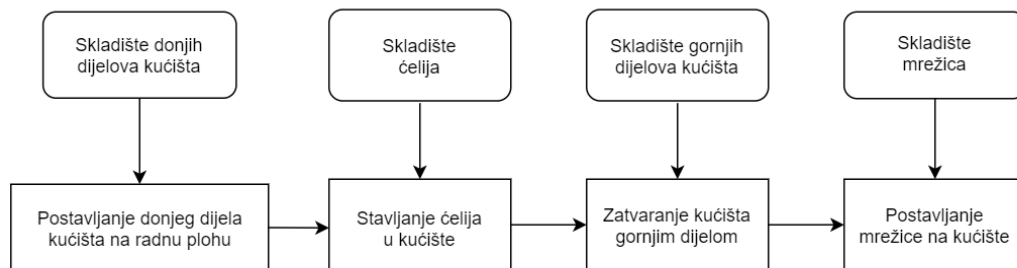


Slika 17. Rola mrežice za povezivanje ćelija [5]



Slika 18. Postavljena mrežica [6]

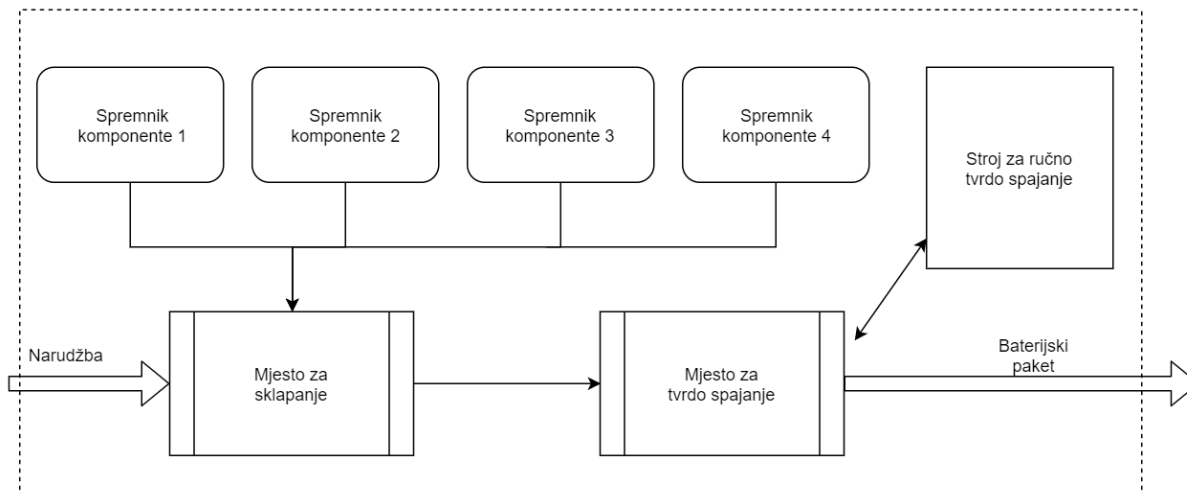
Konačni slijed radnji za slaganje baterijskog paketa stoga je prikazan u sljedećem dijagramu toka.



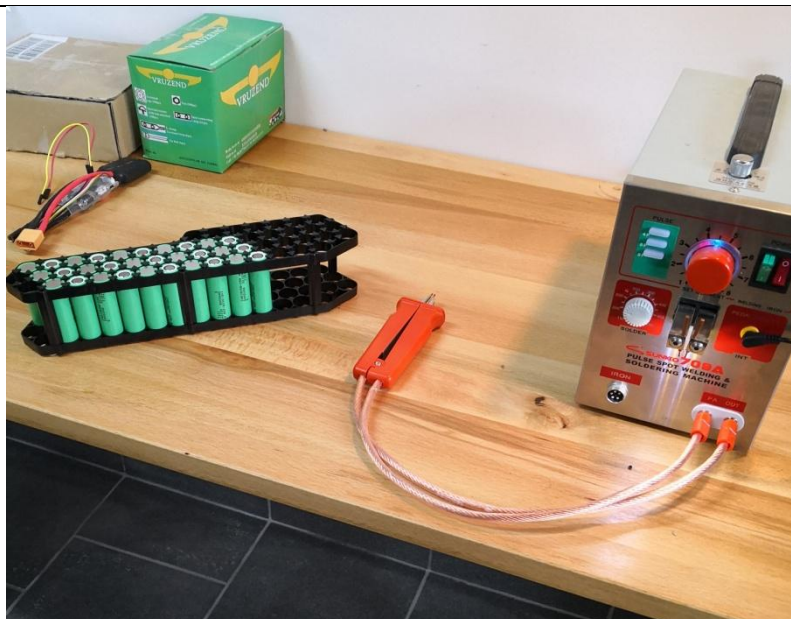
Slika 19. Dijagram toka slaganja baterijskog paketa

4.1. Tehnologija ručnog spajanja baterijskih paketa

Tek prilikom samog tvrdog spajanja dolazi do značajnijih razlika u postupku i to je dio koji se pomno analizira i uzima u obzir pri analizi isplativosti. Prilikom ručne izrade tehnolog koristi stroj za tvrdo spajanje i lemljenje Sunkko 709a. Slika 20. prikazuje radno mjesto za ručno tvrdo spajanje baterijskih paketa. Prikazani su spremnici u kojima se nalaze potrebni dijelovi za sklapanje paketa. Sklapanje se odvija na lijevom dijelu radnog mjesta te se nakon sklapanja paket primiče desno na mjesto za tvrdo spajanje, bliže aparatu za tvrdo spajanje.



Slika 20. Dijagram toka ručnog radnog mjesta



Slika 21. Uređaj za tvrdo spajanje „Sunkko 709a“

Tehnolog ručno prolazi svako mjesto dodira čela ćelije i trake te pritiskom na nožnu pedal aktivira struju i dolazi do spajanja. Koristi se struja od 350 A. Postupak se može ponavljati koliko je potrebno puta kako bi se osigurao trajni spoj, s tim da se pokušava izbjeći identična pozicija tvrdog spajanja. U slučaju proizvodnje u danom poduzeću tvrdo spajanje se radi tri puta po svakoj točki, odnosno po svakoj strani ćelije. Na sljedećoj je slici vidljiv detalj spajanja nakon dva prolaska.



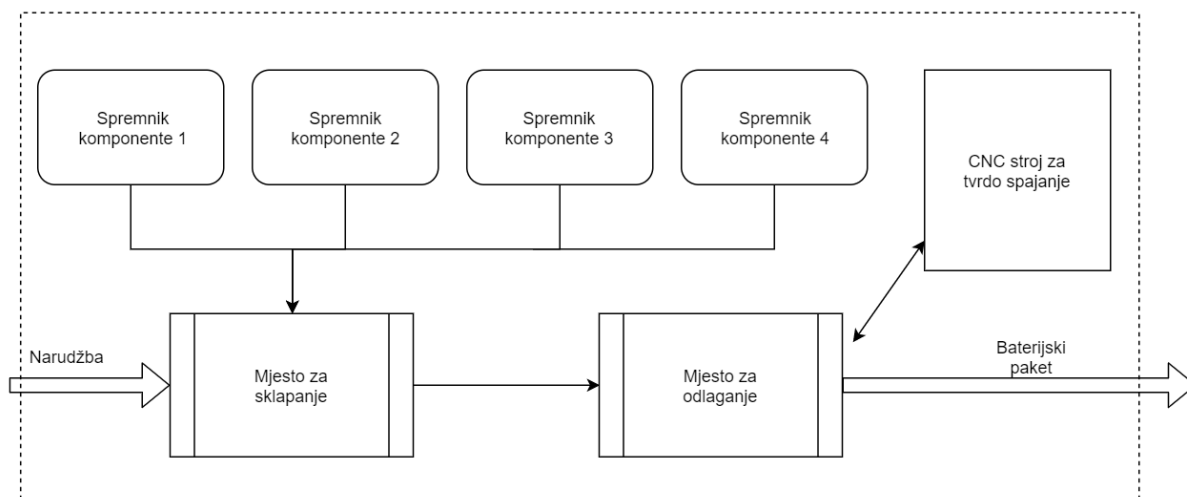
Slika 22. Detalj tvrdog spajanja mrežice i ćelija

4.2. Tehnologija spajanja baterijskog paketa pomoću CNC stroja

Za poluautomatizirano rješenje odabran je stroj specifikacija potrebnih da odradi tvrdo spajanje na baterijskim paketima istih gabarita. Detaljan opis samog CNC stroja slijedi u poglavlju 6 „PROJEKCIJA UNAPRIJEĐENOG CIKLUSA.“

Operater stroja i dalje mora napraviti sve potrebne predradnje kao i kod ručnog postupka, budući da se radi o automatizaciji isključivo dijela postupka prilikom samog spajanja ćelija i mrežice. Prema tome, operater stavlja pripremljeni obradak kao na slici 3., te pušta CNC stroj u rad. Stroj se prema programu pozicionira na svaku točku i spaja. Očekuje se veća kvaliteta i konzistentnost razine kvalitete, kao i veća produktivnost, a sve to pridonosi uštedi i razvoju proizvoda.

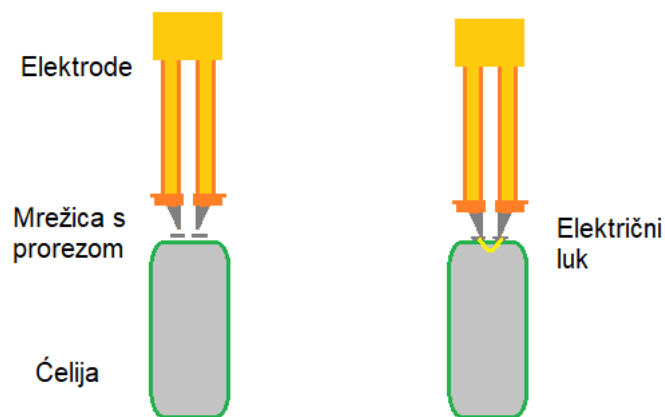
Radno mjesto s CNC strojem izgledat će vrlo slično ručnom radnom mjestu. Sve su predradnje iste, tako da će se na radnom mjestu također nalaziti mali spremnici s dijelovima kućišta, ćelijama i mrežicama. Blizina radnog mjesta sklapanja i CNC stroja omogućavat će jednom operateru da radi na stroju i istovremeno slaže nove pakete dok je stroj u pogonu, što stvara mogućnost za dodatnu uštedu vremena, a samim time i troška rada, što će također biti uzeto u obzir.



Slika 23. Plan CNC radnog mjesta

CNC spajanje omogućuje veliku preciznost, što posljedično omogućava korištenje nikal mrežica s prorezom, kao na Slika 17. Ovakve mrežice ne isplati se koristiti kod ručne izrade zato što zahtijevaju izrazito precizno pozicioniranje elektroda sa svake od strana proreza. Kod ručnog spajanja takva preciznost iziskuje previše vremena te je jednostavnije i brže napraviti

tri prolaza na nikal traci bez proreza. Učvršćivanjem mrežice za paket baterija i spajanjem na CNC stroju ta preciznost se lako postiže.



Slika 24. Tehnologija tvrdog spajanja mrežice s prorezom

Prednosti rada s mrežicom s prorezom su sljedeće. Prorez usmjerava električni luk da prolazi kroz samu ćeliju, što pospješuje spajanje mrežice i ćelije. Zbog kvalitetnijeg zavora nije potrebno raditi tri spajanja po ćeliji, nego su dovoljna dva koja se mogu raditi i jedan za drugim, s određenim razmakom, što značajno ubrzava proces kao što će se i pokazati u sljedećim poglavljima.

5. MJERENJE TRENUTNOG STANJA

U ovom poglavlju definiran je način mjerenja trenutnog stanja uz definiciju samih vremena obrade za ovaj proizvodni proces.

Za vrijeme redovnog odvijanja trenutnog proizvodnog procesa mjere se proizvodna vremena pomoću štoperice. Samo vrijeme proizvodne faze može se raščlaniti na sljedeća procesna vremena:

t_{pz} - pripremno-završno vrijeme, obuhvaća sve radnje pripreme radnog mjesta, materijala i radnika prije početka rada, te sve završne radnje nakon rada, za svaku seriju rada

t_t – tehnološko vrijeme, vrijeme potrebno za izvršavanje korisnog rada za svaki pojedini ciklus rada

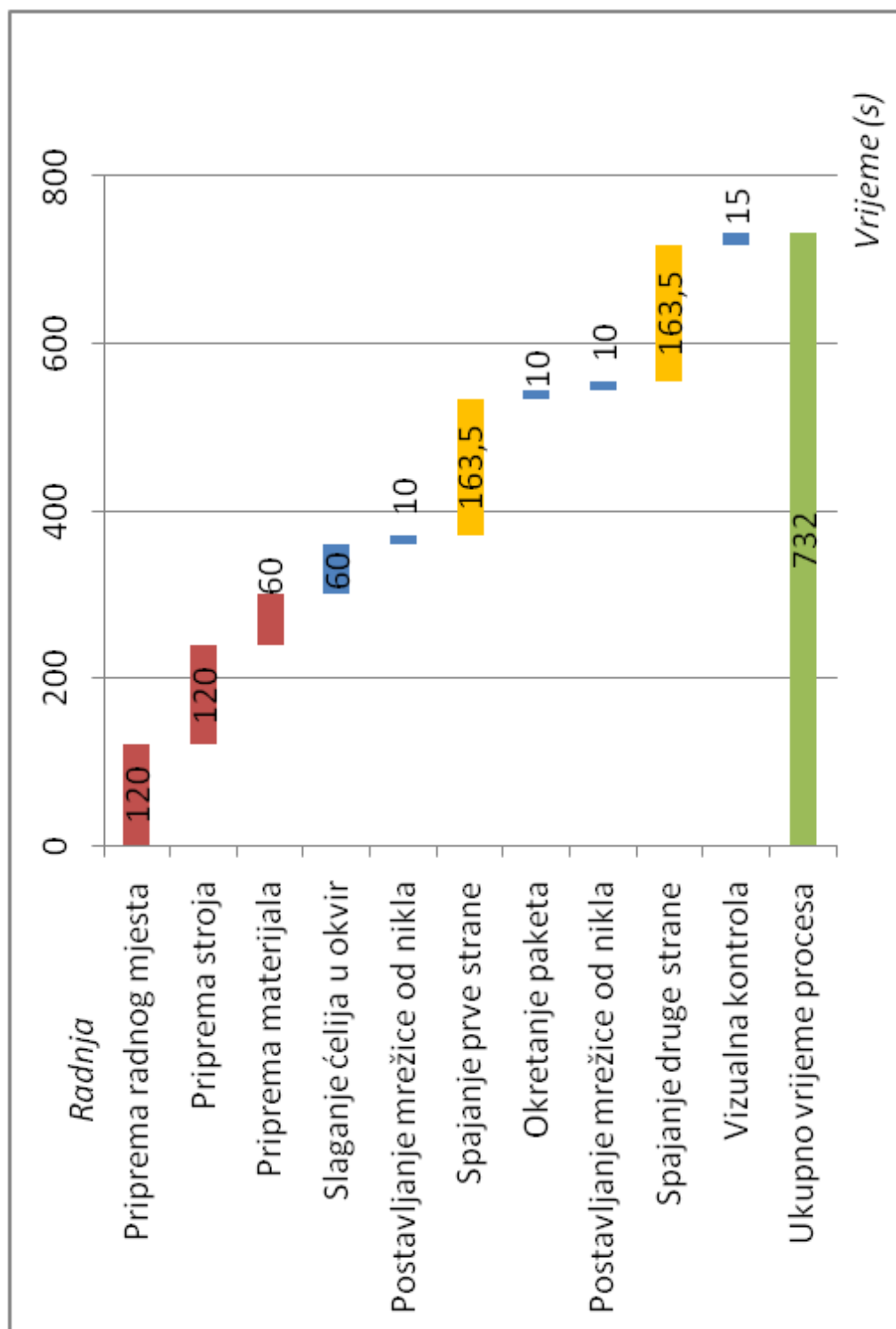
t_p – pomoćno vrijeme, sve nužne predradnje za svaki proizvodni ciklus, kao na primjer pozicioniranje baterija, kontrola kvalitete, izmjena elektroda i slično

Tablica 1. Podjela procesnih vremena

Radnja	Vrsta procesnog vremena	Oznaka
Priprema radnog mjesta	Pripremno-završno	t_{pz1}
Priprema stroja	Pripremno-završno	t_{pz2}
Priprema materijala	Pripremno-završno	t_{pz3}
Slaganje ćelija u okvir	Pomoćno	t_{p1}
Postavljanje mrežice od nikla	Pomoćno	t_{p2}
Spajanje prve strane	Tehnološko	t_{i1}
Okretanje paketa	Pomoćno	t_{p3}
Postavljanje mrežice od nikla	Pomoćno	t_{p4}
Spajanje druge strane	Tehnološko	t_{i2}
Vizualna kontrola	Pomoćno	t_{p5}

Slika 25. u nastavku prikazuje gantogram procesa, redoslijed i vremensko trajanje pojedinih radnji u odnosu na ukupni proces. Pripremno-završna vremena označena su

smeđom, pomoćna vremena plavom, a prosječna izmjerena tehnološka vremena žutom bojom.



Slika 25. Gantogram procesa

Uvođenjem CNC rješenja izravno će biti unaprijeđena aktivnost spajanja mrežice na ćelije te se stoga ta aktivnost mjerila i na tome se bazira ušteda iz koje će se dalje računati povrat investicije. Tablica 2. prikazuje dio izmjerenih vremena ručnog procesa.

Tablica 2. Primjer neobrađenih podataka mjerenja

Redni broj mjerenja	Broj baterije u paraleli	Vrijeme kumulativno
1.	1	0,00 s
2.	3	3,46 s
3.	1	5,32 s
4.	3	8,52 s
5.	1	10,74 s
6.	3	14,12 s
7.	1	16,32 s
8.	3	19,47 s
9.	1	21,52 s
10.	3	24,69 s
11.	1	27,06 s
12.	3	30,44 s
13.	1	32,51 s

Ukupno je na ovaj način mjereno 6 ciklusa ručnog tvrdog spajanja. U nastavku su obrađena sva vremena prolaska jedne paralele (od 3 ćelije) i dolaska na početnu poziciju za sljedeću paralelu. Dakle, za neobrađene podatke gledaju se vremena prolaza (broj baterije u paraleli) 1 - 1, a ne 1 -3, tj. od prve ćelije u jednoj paraleli do prve ćelije u sljedećoj paraleli, uključujući i pomoćno vrijeme dolaska od treće ćelije prve paralele na prvu ćeliju druge paralele. Tablica 3. prikazuje obradu i dobivanje vremena paralela.

Tablica 3. Primjer obrade vremena paralela

R.br.	# baterije u paraleli	Vrijeme kumulativno	Vrijeme paralele
1.	1	0,00	-
2.	3	3,46	-
3.	1	5,32	5,32 s
4.	3	8,52	-
5.	1	10,74	5,42 s
6.	3	14,12	-
7.	1	16,32	5,58 s
9.	1	21,52	5,20 s
10.	3	24,69	-
11.	1	27,06	5,54 s
12.	3	30,44	-
13.	1	32,51	5,45 s

5.1. Statistička obrada mjerenja

Nakon statističke obrade ovih podataka i pripisivanja funkcije rasipanja za vrijeme prolaza jedne paralele, gledat će se vrijeme za najbolji i najgori slučaj s 95% sigurnosti pripisanog rasipanja osnovne populacije na temelju statističkog uzorka (izmjerenih vremena). Radi pojednostavljenja daljnjeg proračuna pomoćno vrijeme između ciklusa i na kraju trećeg ciklusa poistovjetit će se s pomoćnim vremenom između svake od paralela, koje je već ubrojeno u mjerena vremena. Dakle, statistički dobiveno najbolje i najgore vrijeme pomnožit će se s brojem paralela, koji iznosi 10, kako bi se dobilo najbolje i najgore vrijeme ciklusa. Podaci su obrađeni u programu „Microsoft Excel.“

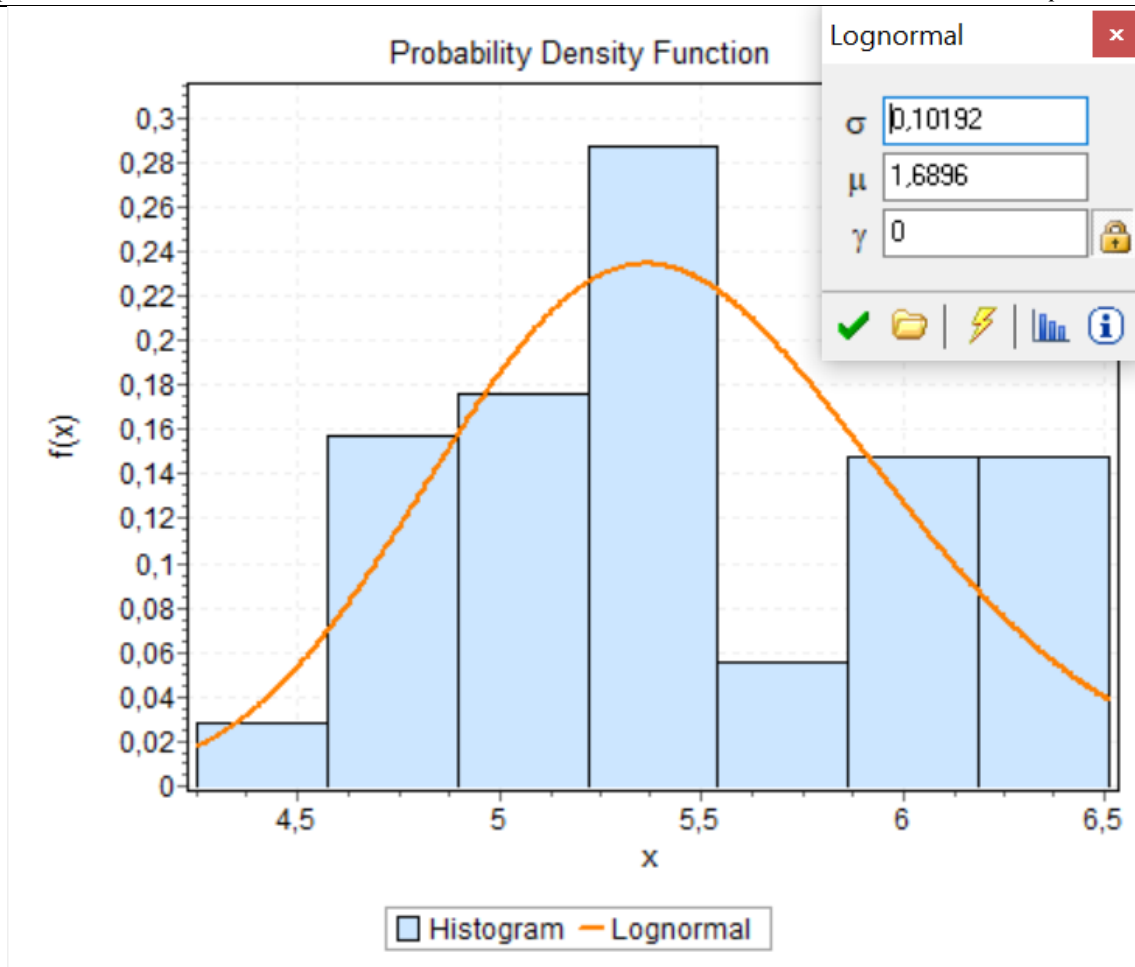
Tablica 4. Podaci za izračun intervalne procjene očekivanja vremena

Veličina	Oznaka	Iznos
Veličina uzorka	n	108
Aritmetička sredina	\bar{x}	5,45 s
Standardna devijacija	s	0,55 s
z-vrijednost za 95% povjerenje	z	1,96
Interval povjerenja (95%) (1)	IP	$\pm 0,11$

$$IP = \bar{x} \pm z \cdot \frac{s}{\sqrt{n}} = 5,45 \pm 0,11 \quad (1)$$

Uz povjerenje od 95% prosječno vrijeme prolaska jedne paralele osnovne populacije iznosi između 5,34 i 5,56 sekundi.

Pomoću programskog paketa „EasyFit“ testirano je pripisivanje određenih distribucijskih funkcija na podatke dobivene mjerenjem. Pokazalo se da se rasipanje podataka može opisati lognormalnom distribucijom podataka.



Slika 26. Histogram i funkcija razdiobe za mjerene podatke

Za lognormalnu razdiobu dobiveno je očekivanje (2) i standardna devijacija (3) uzorka podataka:

$$\mu = 1,6896, \quad (2)$$

$$s_{\mu} = 0,10192. \quad (3)$$

Provedeni su testovi dobrote prilagodbe funkcije rasipanja Kolmogorov-Smirnov i Anderson-Darling. Ovi testovi potvrđuju dobru prilagodbu teorijskih raspodjela uzorku, a navedeni su u prikazu u nastavku.

Tablica 5. Test dobrote prilagodbe lognormalne funkcije

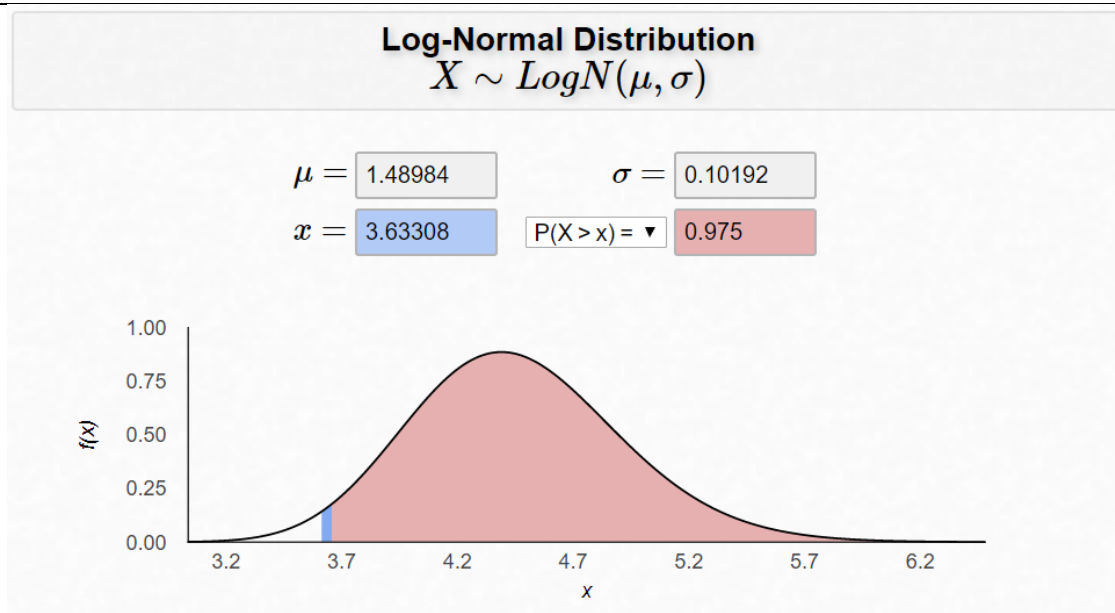
Kolmogorov-Smirnov					
Sample Size	108				
Statistic	0,10891				
P-Value	0,14321				
Rank	17				
α	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Critical Value	0,10325	0,11768	0,13067	0,14607	0,15675
Reject?	Yes	No	No	No	No
Anderson-Darling					
Sample Size	108				
Statistic	1,3244				
Rank	19				
α	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Critical Value	1,3749	1,9286	2,5018	3,2892	3,9074
Reject?	No	No	No	No	No

Iz pripasane funkcije rasipanja dobiva se interval povjerenja vremena trajanja ciklusa tvrdog spajanja. Ponajprije se izračuna interval povjerenja za očekivanja populacije pripasane lognormalne funkcije:

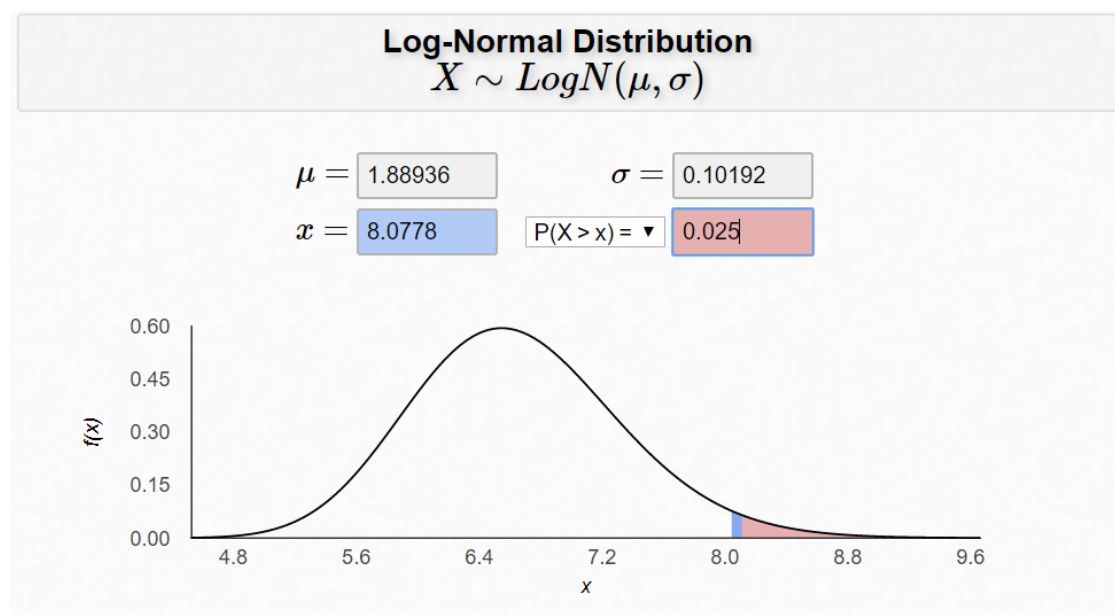
$$\mu_{donji} = \mu - s_{\mu} \cdot z = 1,48984, \quad (4)$$

$$\mu_{gornji} = \mu + s_{\mu} \cdot z = 1,88936. \quad (5)$$

Iz ovih se granica dobivaju „najbolji“ i „najgori“ slučaj očekivanja trajanja prolaska jedne paralele za cijelu populaciju. Izračunat je interval s 95% pouzdanošću za seriju krivulja koje opisuju osnovnu populaciju danog problema. Za izračun je korišten online kalkulator Sveučilišta u Iowi [7]. Napomena, na slikama 27. i 28. korištena je decimalna točka umjesto decimalnog zareza zato što je korišteni kalkulator na Engleskom jeziku, s kojega su slike preuzete.



Slika 27. Prikaz najboljeg slučaja očekivanja trajanja prolaska jedne serije [7]



Slika 28. Prikaz najgoreg slučaja očekivanja trajanja prolaska jedne serije [7]

Dakle, dobivena su optimistična i pesimistična vremena trajanja prolaska jedne paralele za osnovnu populaciju sa 95% povjerenjem:

$$t_{osn} = (3,63, 8,08) \text{ s.} \quad (6)$$

5.2. Vrijeme ciklusa ručnog spajanja

Kada je poznat interval vremena trajanja tvrdog spajanja jedne paralele za osnovnu populaciju može se izračunati najkraće i najdulje ukupno vrijeme tvrdog spajanja jedne strane jednog baterijskog paketa, s tri prolaza, bez pripremno-završnih vremena:

$$t_{ruč_k} = 3 \cdot 10 \cdot 3,63 = 108,9 \text{ s} \quad (7)$$

$$t_{ruč_d} = 3 \cdot 10 \cdot 8,08 = 242,4 \text{ s} \quad (8)$$

Za daljnji izračun koristit će se aritmetička sredina uzorka odnosno mjerenja. U slučaju velikog povećanja potražnje i posljedičnog velikog povećanja kapaciteta proizvodnje, moguće je računati i uštedu za najkraće i najdulje očekivano vrijeme te tako dobiti najkraći i najdulji rok isplativosti investicije. U slučaju relativno velikih i značajnih investicija u kapacitet proizvodnje takav izračun može biti koristan za plansko alociranje sredstava poduzeća prema budućim troškovima.

6. PROJEKCIJA UNAPRIJEĐENOG CIKLUSA

6.1. Odabrano rješenje

Pregledavanjem ponude CNC strojeva prikladnih za problematiku pronađen je CNC stroj za tvrdo spajanje „TMAX-DH-400“ kineskog proizvođača „T-MAX Battery Equipments.“ Radi se o 2,5-osnom stroju radnog prostora 400 mm po X i po Y-osi.

Dobivena je ponuda od proizvođača koji prodaje stroj po cijeni od 7 800 Američkih Dolara bez troška carine i prijevoza. Za ukupni trošak investicije u konačnom je proračunu pretpostavljena cijena od 10 000 EUR. Stroj dolazi s kompletnom opremom koja uključuje korisničko sučelje, zaštitne okvire i punu korisničku podršku. Radi se o stroju koji je po Z-osi pogonjen električnim step-servo motorom, dok postoji i isti stroj s pneumatskim rješenjem na Z-osi.



Slika 29. CNC stroj „TMAX-DH-400“ [8]

6.2. Vrijeme trajanja unaprijedenog ciklusa

Proizvođač rješenja je uz ponudu poslao i upute za uporabu koje su, zajedno s podacima s internetske stranice, korištene pri računanju vremena za određivanje trajanja ciklusa. Važno je napomenuti da su za referentne vrijednosti dane u intervalima uzeta najdulja vremena iz intervala.

Tablica 6. Korišteni podaci za izračun vremena trajanja unaprijedenog ciklusa [8,9]

Podatak	Iznos	Referentni koeficijent
Maksimalna brzina pogona po X i Y-osi	300 mm/s	0,8
Vrijeme spajanja	0,3 ÷ 0,5 s	1
Pomak po Z-osi	0,05 s	1

Pomoću podataka iz gornje tablice proračunata su tehnološka vremena korištena za računanje ukupnih ciklusa za dva slučaja:

1. Jedno spajanje po prolazu – koristi se ista mrežica kao za ručni postupak (Slika 22.), kao i isti broj od 3 prolaza.
2. Dva spajanja po prolazu – koristi se mrežica s prorezom (Slika 17.) te se u jednom prolazu odmah rade 2 spajanja s odmakom od 3 mm.

6.2.1. Jedno spajanje po prolazu

Slika 30. prikazuje putanju spajanja CNC stroja po baterijskom paketu. Putanja je prikazana s početkom u gornjem lijevom kutu, a strelice prikazuju smjer kretanja po ćelijama. Zadnji razmak među ćelijama prikazan je iscrtano zato što se on događa samo između ponavljanja ciklusa. Primjerice, nakon zadnjeg ciklusa spajanja ovaj pomak se neće dogoditi, nego se elektrode odmiču od obratka po z-osi, što spada u pripremno-završno vrijeme jednog baterijskog paketa.

Iz toga proizlazi ukupno vrijeme jednog ciklusa spajanja, dakle jedan prolaz po svim mjestima spajanja na jednoj strani baterijskog paketa optimalnom putanjom:

$$t_{cik1} = 30 \cdot t_{t_CNC} + 60 \cdot t_{z1} + 29 \cdot t_d = 20,175 \text{ s.} \quad (9)$$

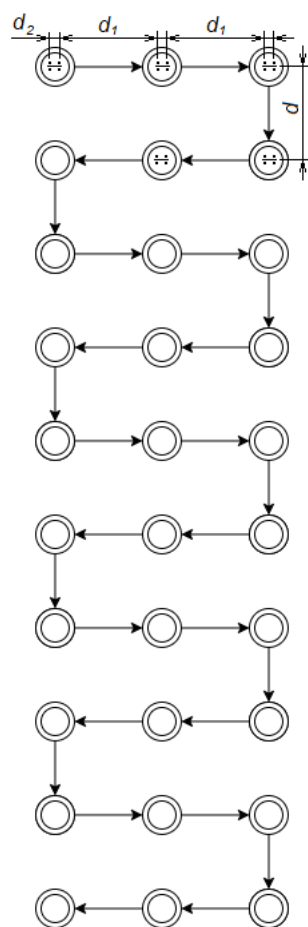
Dakle, da bi se postigao isti konačni izradak kao i kod ručnog procesa potrebno je 3 puta odraditi ovaj ciklus pa se dobije ukupno vrijeme za jednu stranu jednog baterijskog paketa, bez pripremno-završnih vremena:

$$t_{bat1} = 3 \cdot t_{cik1} + 2 \cdot t_d = 3 \cdot 20,175 + 2 \cdot 0,075 = 60,675 \text{ s.} \quad (10)$$

6.2.2. Dva spajanja po prolazu

Ciklus s dva spajanja može se smatrati standardom u današnjem tvrdom spajanju ćelija u baterijski paket te se stoga mora razmotriti prilikom ove optimizacije. S tehnološkog aspekta ne postoje prepreke za uvođenje ovog rješenja na isto odabrano strojno rješenje. Kao što je već navedeno, u tom se slučaju koristi mrežica od nikla s prorezom koji pospješuje tvrdo spajanje tako što je sama struja električnog luka usmjerena kroz čelo baterije budući da mora zaobići prorez. Sama putanja stroja je drugačija. Potrebna su samo dva spajanja po ćeliji, koja se mogu odraditi odmah jedan za drugim na istoj ćeliji s određenim odmakom te je jedan ciklus, dakle samo dva spajanja po jednoj strani ćelije. Drugim riječima, nakon jednog ovakvog ciklusa baterijski paket je gotov.

Putanja počinje i završava na različitim krajevima baterijskog paketa jer je to optimalna ruta, a vrijeme povrata stroja u nul-točku ide u pripremno-završno vrijeme ciklusa.



Slika 31. Putanja za dva spajanja po prolazu

U sljedećoj tablici prikazana su vremena za takav ciklus.

Tablica 8. Vremena trajanja unaprijedenog ciklusa s dva spajanja po prolazu

Oznaka	Opis	Vrsta vremena	Trajanje radnje	Broj ponavljanja	Ukupno vrijeme
t_{t_CNC}	Vrijeme spajanja	tehnološko	0,5 s	60	30 s
t_{z1}	Pomak po z-osi	pomoćno	0,05 s	120	6 s
t_{d1}	Pomak d_1 među ćelijama	pomoćno	0,0625 s	20	1,25 s
t_{d2}	Pomak d_2 među ćelijama	pomoćno	0,0125 s	30	0,375 s
t_d	Pomak d među ćelijama	pomoćno	0,075 s	9	0,675 s

Dobije se ukupno vrijeme jednog ciklusa:

$$t_{CNC} = 60 \cdot t_{t_{CNC}} + 120 \cdot t_{z1} + 20 \cdot t_{d1} + 30 \cdot t_{d2} + 9 \cdot t_d = 38,3 \text{ s.} \quad (11)$$

koje je u ovom slučaju jednako najbržem vremenu izrade jedne strane jednog baterijskog paketa pomoću CNC rješenja t_{CNC} , bez pripremno-završnih vremena.

7. IZRAČUN UŠTEDE

Promatrana procesna vremena već su opisana u prethodnom poglavlju ovog rada. U nastavku je objašnjena njihova primjena u računu kapaciteta proizvodnje. Uz procijenjenu potražnju računat će se potreban broj smjena, to jest radnika ili operatera te njihova iskorištenost (utilizacija). Daljnjim računom troškova i ušteda rada, uzimajući u obzir i troškove održavanja te zanemarujući ostale troškove proizvodnje, dolazi se do uštede na godišnjoj razini. Iz ove se brojke, oduzimajući od početne investicije, lako dođe do točke povrata (isplativosti) investicije.

Kao što je već navedeno, za očekivati je korist na više načina. Postići će se viša kvaliteta proizvoda kao i konzistentnost samog tvrdog spoja. Ovaj rad u sklopu *cost-benefit* analize razmotrit će potencijalnu uštedu u vidu radnih sata operatera potrebnih za oba načina rada. Uzet će se u obzir raspoloživost radnika za vrijeme rada na jedan način i na drugi. To jest, pretpostavka je da će radnik koji radi na CNC stroju za vrijeme rada stroja biti slobodan odrađivati druge aktivnosti, kao primjerice pripremu daljnjih obradaka, odnosno paketa ćelija.

Razlika u operativnim troškovima ručnog stroja i CNC rješenja, koji bi se ponajprije manifestirali kroz potrošnju električne energije, u ovom se radu zanemaruju.

7.1. Iskorištenje kapaciteta proizvodnje

Prikaz proračuna kapaciteta proizvodnje, za trenutni i unaprijeđeni proces. Proračun je izrađen u Microsoft Excelu. U samom programu moguće je mijenjati varijable troška rada, godišnje potražnje i stope rasta troškova, kao i broj radnih sati u smjeni i broj radnih dana, što čini proračun primjenjivim u slučaju promjena na tržištu.

Pretpostavke:

- Pripremno-završna vremena i pomoćna vremena ručnog stroja i radnog mjesta su ista kao i ona od CNC stroja i radnog mjesta.
- Godišnja potražnja je stalna za vrijeme izračuna povrata investicije.
- Cijena radnika u obadva ciklusa je jednaka.
- Stopa rasta troška je stalna i iznosi kolika je unesena procijenjena vrijednost.

Sljedeće formule primjenjuju se i za ručni ciklus i za ciklus s automatiziranim CNC rješenjem. Iz dobivene razlike u slobodnom vremenu dalje će se računati ušteda produktivnosti i dodatna ušteda ostvarena preko dobivenog vremena kada je CNC operater slobodan raditi druge radnje.

Izračun:

- U sljedeće dvije tablice prikazana su konačna vremena korištena za izračun, u sekundama.

Tablica 9. Vremena izrade baterijskog paketa ručnim postupkom

Ručni postupak	
Vrijeme tehnološko za obje strane	327 s
Vrijeme pomoćno	105 s
Pripremno-završno	300 s
Ukupno	732 s

Tablica 10. Vremena izrade baterijskog paketa CNC postupkom

CNC postupak	
Vrijeme tehnološko za obje strane	77 s
Vrijeme pomoćno	105 s
Pripremno-završno	300 s
Ukupno	482 s

- Potrebno vrijeme za zadovoljenje godišnje potrebe:

$$t_{potr} = n_{potr} \cdot t_{bat} \quad (12)$$

- Dostupno vrijeme s obzirom na broj smjena:

$$t_{dost} = n_{smj} \cdot t_{smj} \cdot n_{dana} \cdot 3600 \quad (13)$$

- Neiskorišteno dostupno vrijeme:

$$t_{slob} = t_{dost} - t_{potr} \quad (14)$$

7.2. Cijena rada

- Cijena radnika/operatora godišnje (pretpostavljeno jednaka):

$$c_{radnik} = c_{operator} \quad (15)$$

7.3. Ušteda rada

Ušteda rada mora se uzeti u obzir s dvije strane: povećanjem produktivnosti dolazi do smanjenja broja radnika, primjerice ako nije potreban dvosmjenski rad pa se evidentira ušteda na godišnjoj cijeni rada.

- Dakle, računa se zbroj vremena razlika slobodnog i dostupnog vremena za ručni i CNC proces te ušteda u broju smjena i to na sljedeći način:
 - Ako je potreban isti broj smjena računa se razlika neiskorištenog vremena u obadva slučajeva, pod pretpostavkom da će biti više neiskorištenog vremena u CNC ciklusu, zato što se ušteda tumači kao dodatan slobodni kapacitet radnika koji u svakom slučaju mora biti zaposlen da bi proizveo količinu potražnje baterijskih paketa, a u slobodno vrijeme može raditi ostale poslove sastavljanja električnog bicikla.

$$t_{ušt_rad} = t_{slob_CNC} - t_{slob_r} \quad (16)$$

- Ako je potreban različit broj smjena računa se razlika u broju smjena, pod pretpostavkom da je potreban manji broj smjena za CNC ciklus, te se tome pridodaje neiskorišteno vrijeme CNC ciklusa.

$$t_{ušt_rad} = (n_{smjr} - n_{smjCNC}) \cdot t_{smj} \cdot n_{dana} + t_{slob_CNC} \quad (17)$$

- Množenjem uštedenog vremena po radniku (tj. operateru) s cijenom rada dobije se vrijednost uštede.

$$c_{ušt_rad} = t_{ušt_rad} \cdot \left(\frac{c_{operator}}{t_{smj} \cdot n_{dana} \cdot 3600} \right) \quad (18)$$

Također je potrebno uzeti u obzir slobodno vrijeme za vrijeme trajanja CNC ciklusa.

- Kada su slobodni, radnici se prebacuju nazad na sklapanje baterija koje će onda biti spremne za stavljanje u CNC stroj ili neki drugi posao.

$$t_{ušt_CNC} = t_{t_CNC} \cdot n_{potr} \quad (19)$$

- Množenjem slobodnog vremena operatora za vrijeme rada CNC stroja s cijenom rada dobije se vrijednost uštede.

$$c_{ušt_CNC} = t_{ušt_CNC} \cdot \left(\frac{c_{operator}}{t_{smj} \cdot n_{dana} \cdot 3600} \right) \quad (20)$$

- U sljedeće dvije tablice prikazane su vrijednosti ispunjenja kapaciteta za godišnju potražnju od 3 000 komada za ručni postupak i CNC postupak, u sekundama.

Tablica 11. Iznosi smjenskih vremena za ručni postupak

Ručni postupak	
Broj smjena	1
Broj sati rada po smjeni	8
Broj radnih dana godišnje	250
Potrebno vrijeme	2 196 000 s
Dostupno vrijeme	7 200 000 s
Neiskorišteno vrijeme	5 004 000 s
Zadovoljen kapacitet	Da

Tablica 12. Iznosi smjenskih vremena za CNC postupak

CNC postupak	
Broj smjena	1
Broj sati rada po smjeni	8
Broj radnih dana godišnje	250
Potrebno vrijeme	1 444 800 s
Dostupno vrijeme	7 200 000 s
Neiskorišteno vrijeme	5 755 200 s
Zadovoljen kapacitet	Da

- Sljedeća tablica prikazuje ukupne vremenske i novčane uštede na godišnjoj razini za istu količinu potražnje od 3 000 komada godišnje.

Tablica 13. Uštede na godišnjoj razini za potražnju od 3 000 komada godišnje

Uštede godišnje	
Razlika u broju smjena	0
Ušteda vremena po radniku	751 200 s
Ušteda vremena CNC postupka	229 800 s
Novčana ušteda vremena po radniku	1 252 €
Novčana ušteda CNC postupka	383 €

7.4. Trošak održavanja

U konačni izračun povrata investicije uzima se u obzir i trošak održavanja stroja. Prema web-stranici Robotics.org, a za predloženo CNC rješenje procijenjeni su iznosi troška prikazani u sljedećoj tablici. Troškovi su prikazani za cikluse od 5 godina.

Tablica 14. Troškovi održavanja CNC stroja

Godina	Trošak održavanja	Opis
1. do 4. godine	500 €	Preventivno održavanje
5. godina	1 500 €	Zamjena potrošnih komponenti

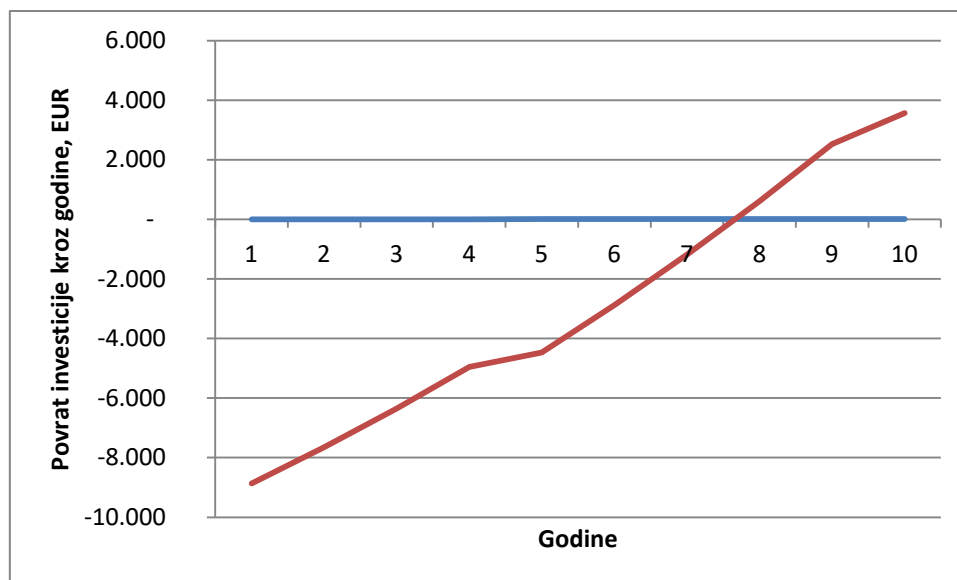
7.5. Vrijeme povrata investicije

Poznavanjem svih potrebnih varijabli dolazi se do konačnog proračuna. Proračun je koncipiran tako da je početna investicija prikazana negativno, kao i troškovi održavanja. Uštede su prikazane pozitivno te se kroz godine dolazi do točke povrata investicije. Prilikom računanja ušteda kroz godine uzet je u obzir i rast cijene rada te inflacija. Iskazani su kroz zajedničku stopu rasta troška koja je postavljena na 5%, a također je promjenjiva s obzirom na zahtjeve budućih izračuna. Vidljivo je da je za potražnju od 3 000 komada godišnje moguće investiciju povratiti u osmoj godini rada.

Tablica 15. Konačni izračun povrata investicije, u EUR

Investicija	Godina	Održavanje	Ušteda produktivnosti	Ušteda CNC	Ukupno
-10.000,00 €	1	-500,00 €	1.252,00 €	383,00 €	-8.865,00 €
	2	-500,00 €	1.314,60 €	402,15 €	-7.648,25 €
	3	-500,00 €	1.380,33 €	422,26 €	-6.345,66 €
	4	-500,00 €	1.449,35 €	443,37 €	-4.952,95 €
	5	-1.500,00 €	1.521,81 €	465,54 €	-4.465,59 €
	6	-500,00 €	1.597,90 €	488,82 €	-2.878,87 €
	7	-500,00 €	1.677,80 €	513,26 €	-1.187,82 €
	8	-500,00 €	1.761,69 €	538,92 €	612,79 €
	9	-500,00 €	1.849,77 €	565,87 €	2.528,43 €
	10	-1.500,00 €	1.942,26 €	594,16 €	3.564,85 €

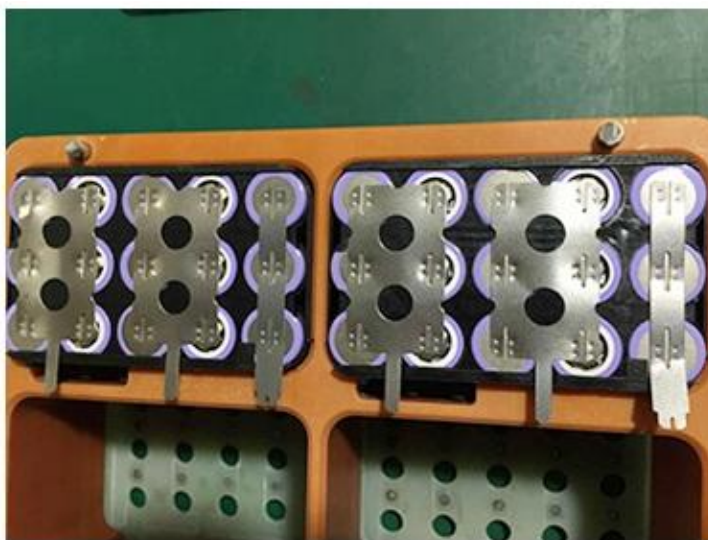
Slika 32 grafički prikazuje tijek povrata investicije kroz godine. Vidljivo je da je točka povrata (*eng. break-even point*) u osmoj godini rada za procijenjenu potražnju.

**Slika 32. Grafički prikaz povrata investicije, u EUR**

8. UNAPRJEĐENJE KVALITETE

Kao što je već spomenuto u uvodu, osim na uštedi u trajanju proizvodnje, uvođenjem CNC rješenja postići će se i bolja konzistentnost kvalitete. Ručnim procesom konačna kvaliteta tvrdog spajanja je zadovoljavajuća, no bez velikog broja proizvoda koje bi se trebalo uništiti u svrhu testiranja, teško ju je kvantificirati. Iz sigurnosnih razloga kod ručnog se procesa rade tri prolaza, to jest, u konačnici svaki spoj mrežice i ćelije spojen je triput, što osigurava visoku razinu pouzdanosti čvrstoće zavora i kvalitetan protok struje. Slika 22. prikazuje detalj tvrdog spajanja nakon dva prolaza. Na toj slici također je vidljiva nepreciznost ručnog rada. Nepreciznost uvjetuje nemogućnost korištenja mrežice s prorezom i potrebu za tri spajanja po ćeliji.

Uvođenjem CNC rješenja preciznost omogućava korištenje mrežice s prorezom. Slika 17. prikazuje takvu mrežicu, dok je na Slika 33. vidljiv tvrdi spoj mrežice s prorezom i ćelija. Elektrode se mogu precizno pozicionirati sa svake strane proreza, a sam prorez osigurava protok električnog luka kroz ćeliju te tako pospješuje vezu između mrežice i ćelije. Zbog bolje kvalitete zavora omogućeno je prolaženje samo dva puta i to čak i u istom ciklusu, što uvelike ubrzava proizvodnju.



Slika 33. Primjer tvrdog spajanja korištenjem mrežice s prorezom [8]

9. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazana je isplativost ulaganja u proizvodni proces za odabrani slučaj proizvodnje baterijskih paketa za električne bicikle. Uvidom u stanje na tržištu investicija je ponajprije opravdana jasnim trendom rasta potražnje električnih bicikala. Kao što je vidljivo iz studije Konfederacije europske biciklističke industrije (*CONEBI*), svake godine električni bicikli zauzimaju sve veći dio tržišta bicikala u Europskoj uniji te se stoga ulaganje u proizvodnju visokokvalitetnih dijelova na području EU isplati.

Primjenom studija rada i vremena dobiven je uvid u trenutnu tehnologiju i postojeće stanje proizvodnje. Moguće automatizirano rješenje analizirano je pomoću podataka dobivenih od proizvođača i preuzetih s interneta te su i za taj slučaj dobiveni precizni pokazatelji potencijalne buduće proizvodnje. Usporedbom trenutnog i budućeg stanja dijela proizvodnog postupka gdje se ćelije spajaju u baterijski paket dolazi se do zaključka da je taj dio moguće značajno unaprijediti te ga učiniti efikasnijim s istovremenim porastom konzistentnosti kvalitete.

U konačnom proračunu uspoređena su vremena trajanja ciklusa proizvodnje pojedinog baterijskog paketa te je dobivena količina uštedenog vremena, kao i količina vremena koja je dodatno oslobođena kod CNC operatera uvođenjem automatiziranog rješenja. Množenjem cijene rada sa ušteđenim vremenom dobiva se novčana vrijednost uštede, koja se zatim prikazuje kao vrijednost koja će isplatiti investiciju te nakon isplate investicije stvarati uštedu i omogućavati bolje poslovanje.

Iz izračuna povrata investicije vidljivo je da je, uz porast kvalitete, ova investicija financijski isplativa u slučaju ostvarenja određene potražnje. Primjerice, za procijenjenu potražnju od 3 000 komada godišnje, točka pokrića investicije dostiže se u osmoj godini rada unaprijeđenog proizvodnog procesa.

U današnje vrijeme jedino ulaganjem u znanje i opremu moguće je ostati konkurentan na globalnom tržištu. Tržište bicikala Europske unije je u porastu i kupci su okrenuti kvaliteti te je stoga ova investicija najbolji put daljnjeg razvoja ovog malog razvojnog poduzeća.

LITERATURA

- [1] EUR-Lex, web preglednik EU zakona, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A32013R0168> (pristupljeno 27.12.2019.)
- [2] CONEBI, "European Bicycle Market - 2017 edition," CONEBI, 2017.
- [3] Y. Barsukov and J. Gian, "Battery Power Management for Portable Devices," *Artech House*, 2013.
- [4] Zakon Republike Hrvatske, "Zakon.hr," <https://www.zakon.hr/z/78/Zakon-o-sigurnosti-prometa-na-cestama> (pristupljeno 07.11.2019.)
- [5] Slika preuzeta sa web-stranice Pinterest, <https://www.pinterest.com/pin/855543260433497902/?lp=true> (pristupljeno 17.11.2019.)
- [6] Slika preuzeta sa web-stranice Pinterest, <https://www.pinterest.co.uk/pin/728246202217412074/?lp=true> (pristupljeno 17.11.2019.)
- [7] Sveučilište u Iowi, "LogNormal distribution applet," <https://homepage.divms.uiowa.edu/~mbognar/applets/lognormal.html> (pristupljeno 11.12.2019.)
- [8] TMAX Battery Equipments, "Automatic Single Side Battery Spot Welding Machine For 18650 Cells," https://www.tmaxcn.com/automatic-single-side-battery-spot-welding-machine-for-18650-cells_p1499.html (pristupljeno 30.11.2019.)
- [9] Ponuda proizvođača "TMAX Battery Equipments," 2019.
- [10] Cajner, H. Predavanja iz kolegija Inženjerska statistika. Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje; 2015.
- [11] Singpurwalla, D. A Handbook of Statistics. Bookboon.com; 2013.

PRILOZI

1. CD-R disc