

# Digitalizacija procesiranja u procesu proizvodnje piva sa svrhom povećanja dostupnosti i učinkovitosti proizvodne opreme

---

**Brcko, Juraj**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2021**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Food Technology and Biotechnology / Sveučilište u Zagrebu, Prehrambeno-biotehnološki fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:159:065530>

*Rights / Prava:* [Attribution-NoDerivatives 4.0 International/Imenovanje-Bez prerada 4.0 međunarodna](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-08**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Food Technology and Biotechnology](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
PREHRAMBENO-BIOTEHNOLOŠKI FAKULTET

# DIPLOMSKI RAD

Zagreb, rujan, 2021.

Juraj Breko

1343/PI

DIGITALIZACIJA PROCESIRANJA  
U PROCESU PROIZVODNJE PIVA  
SA SVRHOM POVEĆANJA  
DOSTUPNOSTI I UČINKOVITOSTI  
PROIZVODNE OPREME

Rad je izrađen u Laboratoriju za održivi razvoj na Zavodu za opće programe Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu pod mentorstvom prof.dr.sc. Anet Režek Jambrak.

## **ZAHVALA**

Neizmjerno sam zahvalan svojoj mentorici prof.dr.sc. Anet Režek Jambrak na iskazanom razumijevanju, strpljenju, pomoći i pristupačnosti koju mi je ukazala tijekom izrade diplomskog rada. Velika hvala mojoj obitelji na podršci tijekom svih ovih godina mojeg studiranja.

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Diplomski rad

Sveučilište u Zagrebu  
Prehrambeno-biotehnološki fakultet  
Zavod za opće programe  
Laboratorij za održivi razvoj

**Znanstveno područje:** Biotehničke znanosti

**Znanstveno polje:** Prehrambena tehnologija

### DIGITALIZACIJA PROCESIRANJA U PROCESU PROIZVODNJE PIVA SA SVRHOM POVEĆANJA DOSTUPNOSTI I UČINKOVITOSTI PROIZVODNE OPREME

*Juraj Brcko, 1343/PI*

**Sažetak:** *U modernoj proizvodnji velika se važnost posvećuje zaštiti okoliša i održivosti u poslovanju. Napredak tehnologije i četvrta industrijska revolucija napravile su iskorak u praćenju proizvodnih procesa i time omogućile da se velik broj podataka objedini i pohrani, a iz njih se dobiju informacije o učinkovitosti proizvodnje. U prehrambenoj industriji održivost je od velike važnosti kao način borbe protiv velikih proizvodnih gubitaka, koji osim ekonomskog, čine i ekološki problem. Ovaj rad se bavi uvođenjem digitalizacije u proizvodnju hrane, točnije u proizvodnju piva, s ciljem da se utvrdi na koji način se korištenjem novih tehnologija i nusproizvoda proizvodnje može povećati učinkovitost proizvodnje te smanjiti proizvodni troškovi i negativan učinak na okoliš.*

**Ključne riječi:** *učinkovitost, industrija 4.0, održivost, gubici u proizvodnji*

**Rad sadrži:** 49 stranica, 4 slike, 7 tablica, 43 literaturnih navoda

**Jezik izvornika:** hrvatski

**Rad je u tiskanom i elektroničkom (pdf format) obliku pohranjen u:** Knjižnica Prehrambeno biotehnološkog fakulteta, Kačićeva 23, Zagreb

**Mentor:** prof.dr.sc. Anet Režek Jambrak

**Pomoć pri izradi:**

**Stručno povjerenstvo za ocjenu i obranu:**

Prof. dr. sc. Jasenka Gajdoš Kljusurić

Prof. dr. sc. Anet Režek Jambrak

Prof. dr. sc. Jasna Mrvčić

doc. dr. sc. Davor Valinger (zamjena)

**Datum obrane:** Rujan, 2021.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

Graduate thesis

**University of Zagreb**  
**Faculty of Food Technology and Biotechnology**  
**Department of general programmes**  
**Laboratory for Sustainable development**

**Scientific area:** Biotechnical Sciences

**Scientific field:** Food Technology

### **DIGITALIZATION OF PROCESSING IN PROCESS OF BEER BREWING WITH PURPOSE OF INCREASING THE AVAILABILITY AND EFFICIENCY OF PRODUCTION EQUIPMENT**

*Juraj Brcko 1343/PI*

**Abstract:** *In modern production, great importance is given to environmental protection and sustainability in business. Advances in technology and the fourth industrial revolution, have made a breakthrough in the monitoring and managing of production processes. Thus, it enabled a large amount of data to be combined and stored, and from that information on production efficiency is obtained. In the food industry, sustainability is of great importance to deal with large production losses, which, in addition to economic, also contribute to environmental problems. This thesis deals with the introduction of digitalization in food production, more precisely in beer brewing, with the aim of determining how the use of new technologies and reuse of by-products, can increase production efficiency, reduce production costs, and negative impact on the environment.*

**Keywords:** efficiency, industry 4.0, sustainability, production losses

**Thesis contains:** 49 pages, 4 pictures, 7 tables, 43 references

**Original in:** Croatian

**Graduate Thesis in printed and electronic (pdf format) version is deposited in:** Library of the Faculty of Food Technology and Biotechnology, Kačićeva 23, Zagreb

**Mentor:** PhD. Anet Režek Jambrak

**Technical support and assistance:**

**Reviewers:**

PhD. Jasenka Gajdoš Kljusurić, *Full professor*

PhD. Anet Režek Jambrak, *Full professor*

PhD. Jasna Mrvčić, *Full professor*

PhD. Davor Valinger, *Assistant professor* (substitute)

**Thesis defended:** September 2021.

# SADRŽAJ

1.	UVOD.....	1
2.	TEORIJSKI DIO.....	3
2.1.	INDUSTRIJA 4.0 I DIGITALIZACIJA.....	3
2.1.1.	Internet stvari – ( <i>Internet of things</i> ) .....	3
2.1.2.	Analiza skupova velikih podataka ( <i>Big Data analysis</i> ) .....	4
2.1.3.	Proizvodnja u oblaku ( <i>Cloud manufacturing</i> ) .....	5
2.1.4.	Pametna tvornica ( <i>Smart Factory</i> ).....	5
2.1.5.	Četvrta industrijska revolucija u prehrambenoj industriji .....	6
2.1.6.	Održivost u proizvodnji hrane.....	7
2.2.	TEHNOLOŠKI PROCES PROIZVODNJE PIVA.....	8
2.3.	ODRŽIVOST I ODRŽIVI RAZVOJ .....	13
3.	EKSPERIMENTALNI DIO .....	14
3.1.	PROJEKTNI ZADATAK.....	14
3.1.1.	Materijalna bilanca .....	14
3.1.2.	Energetska bilanca .....	15
3.2.	IZRAČUN OEE, EU, TEEP .....	17
3.2.1.	Ukupna učinkovitost opreme (engl. <i>Overall Equipment Effectivnes- OEE</i> ).....	17
3.3.	SOFTWARE -sko PRAĆENJE .....	17
3.3.1.	UKUPNO PRODUKTIVNO ODRŽAVANJE (engl. <i>Total Productive Maintenance- TPM</i> )..	18
3.3.2.	VITKA PROIZVODNJA (engl. <i>Lean manufacturing- LEAN</i> ).....	18
4.	REZULTATI I DISKUSIJA.....	26
4.1.	LOGIČKE SHEME PROIZVODNJE PIVA.....	27
4.2.	REZULTATI .....	29
4.3.	GUBICI U PROIZVODNJI.....	34
4.4.	NUSPROIZVODI PROIZVODNJE PIVA .....	37
4.4.1.	Proizvodnja bioplina iz pivskog tropa .....	39
4.4.2.	Integracija solarnog sustava.....	40
4.4.3.	Načini izbjegavanja gubitaka u proizvodnji.....	41
5.	ZAKLJUČCI .....	43
6.	LITERATURA .....	45



# 1. UVOD

U 21. stoljeću zbog rastuće svijesti o klimatskim promjenama dolazi do promjena u poslovanju mnogih društveno odgovornih tvrtki. Nastojanje da se utjecaj na klimatske promjene svede na najmanju moguću mjeru dovodi do uvođenja novih tehnologija i pristupa u poslovanju. Održiva proizvodnja i održivi razvoj su tako pronašli svoje mjesto u filozofiji mnogih tvrtki i organizacija. Ujedinjeni narodi su 2015. godine donijeli rezoluciju o ciljevima održivog razvoja te 2030 agendu koja se fokusira na 169 ciljeva održivosti u budućnosti. Agenda 2030 nastoji usporiti klimatske promjene, smanjiti ispuštanje stakleničkih plinova, odnosno smanjiti "ugljični otisak", smanjiti eksploataciju i potrošnju fosilnih goriva te ostalih prirodnih resursa, smanjiti bacanje hrane za koju se procjenjuje da se godišnje baci čak 30 % (Arora i Mishra, 2019).

Pojam industrije 4.0 označava četvrtu industrijsku revoluciju, koja se definira kao nova razina organizacije i kontrole cijelog proizvodnog lanca (Vaidya i sur., 2018). Industrija 4.0 je pojam koji se generalno odnosi na novu generaciju industrijskih vrijednosti temeljenih na sveobuhvatnu upotrebu Interneta stvari (engl. *Internet of Things*-IoT), tehnologije i kibernetičko- fizički sustavi (engl. *cyber-physical system*- CPS) (Gröger, 2018). Industrija 4.0 zasniva se na automatiziranoj tehnologiji koja je umrežena putem senzora i komunikacijskih elemenata te putem CPS-a povezuje realni i virtualni svijet (Hrbić i Grebenar, 2021). Temeljni ciljevi industrije 4.0 su ispunjavanje individualnih potreba tržišta koje utječu na područja poput upravljanja narudžbama, istraživanja i razvoja, puštanja u rad proizvodnih pogona te reciklaže (Vaidya i sur., 2018). Pojam Internet stvari, odnosno "*Internet of Things*" (IoT) nastao je 1999 u Velikoj Britaniji, a opisivao je sustav u kojem bi fizički objekti mogli biti povezani Internetom putem senzora. Taj naziv se koristio za opisivanje sustava koji se koristio u sustavima nabave nekih korporacija koje su koristile Internet za praćenje stanja dobara bez potrebe za ljudskom radom na tim procesima.

Kako bi se osigurala sigurnost hrane, podrijetlo namirnica je od ključne važnosti. U sustavu u kojem je mnogo sudionika koji fizički sudjeluju u procesu proizvodnje nekog proizvoda, od farme do prerađivanja i prodaje, svaki sudionik ima svoj sustav vođenja i praćenja podataka. Zbog toga je vrlo teško uspostaviti centralni sustav praćenja podataka. Danas se zbog toga razvijaju sustavi bazirani na IoT-u, u kojem svi sudionici u lancu proizvodnje mogu pomoću mobilnih uređaja i aplikacija unositi potrebne podatke u sustav, koji također može podatke sakupljati

automatski, bez potrebe za intervencije čovjeka (Khan i sur., 2020). Prvenstveno, sustavi se zasnivaju na digitalizaciji, koja uključuje tehnološki iskorak povezan sa velikim podacima (*engl. big data*) i računarstvo u oblaku (*engl. cloud computing*), virtualizaciju i kibernetičku sigurnost. Budućnost industrijske proizvodnje i samih tvornica je u tehnološkom razvoj koji se bazira na automatizaciji i novim sustavima kontrole te robotizaciji (Demir i Dincer, 2020).

Svrha rada je utvrditi dostupnost uređaja u tehnološkom procesu proizvodnje piva te utvrditi gubitke i mjesta poboljšanja učinkovitosti proizvodne opreme. Rad je fokusiran na maksimiziranje učinkovitosti i održivosti proizvodnje na primjeru rada pivovare. Podaci za izračune su prikupljeni kontaktom u proizvodnom pogonu industrijskog postrojenja u Hrvatskoj.

## 2. TEORIJSKI DIO

### 2.1. INDUSTRIJA 4.0 I DIGITALIZACIJA

Industrija 4.0 se može definirati kao proces koji teži potpuno automatskoj i umreženoj industrijskoj proizvodnji. Neki tehnološki fenomeni vezani uz Industriju 4.0, poput IoT te analiza velikog broja podataka, od ključne su važnosti kao sila koja vodi ka transformaciji industrije. U eri četvrte industrijske revolucije, uporaba digitalnih tehnologija, zahvaljujući integraciji podataka te povezivanju resursa, doći će do nastanka učinkovitog i održivog sustava poslovanja (Corallo i sur., 2018). Industrija 4.0 je kompleksan, ali fleksibilan sustav te predstavlja viziju budućnosti. Također, predstavlja mnogo različitih vrsta izazova te mogućnosti, primjerice, uvođenje novih tehnologija u svrhu poboljšanja kvalitete, učinkovitosti i konkurentnosti tvrtke. Ovi izazovi i mogućnosti, posebice u prehrambenoj industriji od velike su važnosti, pogotovo u pogledu globalno povećane proizvodnje, potražnje i ponude. Kako bi se prevladali ti globalni izazovi, potrebno je koristiti nove informacijske tehnologije i znanja, na kojima se temelji industrija 4.0 (Demartini i sur., 2018). Nakon što su se kroz prve tri industrijske revolucije uveli mehanizacija, elektrifikacija i informatizacija, u ovoj se revoluciji nastoji uvesti međusobno digitalno povezivanje svih procesa i objekata u nekom lancu proizvodnje. Nastoji se postići optimiranje procesa proizvodnje kako bi se ostvarila značajna poboljšanja u proizvodnji i produktivnosti, kao i razvoju novih proizvoda i usluga. Intenzivna uporaba IoT te CPS kroz lanac proizvodnje dovodi do sakupljanja velikog broja heterogenih podataka dobivenih primjerice iz senzora na strojevima ili proizvodnim linijama. Zbog toga velikog broja podataka, važno je prepoznati one bitne za kvalitativne analize, što je jedan od izazova industrije 4.0 (Gröger, 2018).

#### 2.1.1. Internet stvari – (*Internet of things*)

Danas se izraz *Internet of Things* koristi za opisivanje scenarija u kojima se Internetom povezuju i vode procesi koji se odvijaju u proizvodnji (Rose i sur., 2015). IoT tehnologija za skupljanje podataka te tehnike za njihovu analizu daju informacije bitne za povećanje učinkovitosti kompanije te konkurentnosti na tržištu. Sve prikupljene informacije mogu biti prikazane pomoću informatičkih rješenja i mobilnih aplikacija te su dostupne tvrtki, čime ona može svojim kupcima garantirati transparentnost i kvalitetu (Corallo i sur., 2018). Gledano iz

šire perspektive, sjecište nekoliko tehnologija i tržišnih trendova omogućava međusobno povezivanje više uređaja, koji su ujedno i manji te jednostavniji za održavanje i jeftiniji. Tako gledano, IoT predstavlja konvergenciju raznovrsnih trendova računarstva i povezivanja. Trenutno, širok spektar industrija, uključujući automobilsku, industriju lijekova i medicinskih proizvoda, kućne elektronike i još mnoge, uviđaju potencijalne benefite uvođenja IoT tehnologije u njihovu proizvodnju i servise (Rose i sur., 2015). Došlo je do razvoja takozvanog industrijskog interneta stvari (*engl. Industrial Internet of Things -IIoT*). Ta industrijska varijanta IoT može biti percipirana kao sustavno proširenje automatizacije i napredovanje u načinu komunikacije između strojeva u proizvodnim pogonima. IIoT se uglavnom povezuje sa međudjelovanjem stroja i čovjeka. IIoT pomaže praćenju događaja i aktivnosti u realnom vremenu te korisnicima omogućava praćenje rada te upravljanje strojevima iz daljine (Demartini i sur., 2018). IIoT se smatra važnim dijelom Industrije 4.0, on prikuplja podatke o procesima proizvodnje, učinku opreme, zalihama, narudžbama, od dobavljača do mušterija (Khan i sur., 2020).

#### 2.1.2. Analiza skupova velikih podataka (*Big Data analysis*)

Veliki podaci (*engl. Big data*) je pojam koji obuhvaća velike skupove podataka i alate za njihovo dohvaćanje, pretraživanje i djelomično i obradu. Kako bi Industrija 4.0 mogla funkcionirati potrebno je imati sustav za obradu velikog broja podataka koji se prikupljaju, odnosno "Big Data". Cijeli koncept takozvanih velikih podataka je omogućio lakši pristup i pohranu podataka. Podaci se učitavaju na "oblak" (*engl. Cloud*) te im se može pristupiti u bilo kojem trenutku, pod uvjetom da postoji internetska veza (Demir i Dincer, 2020). *Big Data* predstavlja kombinaciju starih i novih tehnologija, s ciljem da se kompanijama omogući uvid u velike količine podataka koje prikupljaju. Cilj je postići uvid u te podatke u realnom vremenu kako bi se mogla odraditi pravovremena analiza i reakcija. Big Data se može opisati pomoću takozvanih "3 V", a to su :

- Obujam (*engl. Volume*) predstavlja količinu podataka.
- Brzina (*engl. Velocity*) govori kako brzo se podaci obrađuju.
- Raznovrsnost (*engl. Variety*) daje uvid koliko vrsta podataka ima (Trnka, 2014).

### 2.1.3. Proizvodnja u oblaku (*Cloud manufacturing*)

Proizvodnja u oblaku (*engl. Cloud manufacturing- CM*) se pojavila kao rješenje za izazove koji guše tradicionalnu industrijsku proizvodnju. CM je verzija *Cloud computing*-a koja se koristi u proizvodnji (Hao i Helo, 2015). To je sustav koji pomaže pohranjivanje velike količine podataka. Zahvaljujući toj tehnologiji za pohranu podataka nisu potrebni fizički tvrdi diskovi, nego se pohranjivanje vrši pomoću interneta (Demir i Dincer, 2020). Korištenjem CM-a omogućava prikaz i organizaciju proizvodnih resursa u "bazenu resursa" (*engl. resource pool*), čime se u stvarnom vremenu mogu obavljati zadaci u proizvodnji. U ovoj fazi digitalne proizvodnje, koordinacija resursa i usluga korištenjem infrastrukture CM-a potrebu za ljudskim intervencijama svodi na minimum. Mnogi e-servisi su razvijeni kako bi bili kontrolirani i upravljani na daljinu. Unatoč tim prednostima, ljudske intervencije i rad su neizbježni, poput nadogradnji sustava i održavanja sustava i strojeva (Hao i Helo, 2015). CM je proizvodni model koji iskorištava pristup raznim proizvodnim resursima kako bi se povećala produktivnost i iskoristivost proizvodnih linija, smanjila cijena te optimizirala potrošnja resursa (Demartini i sur., 2018). Kako bi se *cloud computing* mogao koristiti, potrebno je direktno internetom povezati uređaje s "oblakom". Uglavnom, povezivanje se vrši putem kablova ili Wi-Fi povezivanjem (Rose i sur., 2015).

### 2.1.4. Pametna tvornica (*Smart Factory*)

Pametna tvornica (*engl. smart factory*) je je veliki tehnološki napredak od tradicionalne automatizacije prema kompletno umreženom i fleksibilnom sustavu koji je sposoban koristiti konstantan dotok podataka u svrhu učenja i prilagodbe na sve nove zahtjeve. Takav sustav koristi prikupljene podatke kako bi vodio proizvodnju, održavanje, nabavu, skladištenje i ostale procese pomoću umreženih sustava. Rezultat toga je povećanje učinkovitosti, agilnosti te sposobnosti prilagodbe promjenama, smanjenje zastoja u proizvodnji.

Prednosti koje pametna tvornica ima ispred "klasičnih" tvornica su:

- Povećana učinkovitost, zbog konstantnog praćenja i analiziranja podataka, na temelju kojih se donose korektivne mjere kojima se smanjuje vrijeme zastoja proizvodnje, optimizira kapacitet proizvodnje te se reducira vrijeme prijelaza na druge proizvode.
- Povećanje u kvaliteti do kojeg dolazi zbog bržeg primjećivanja defekata u proizvodnji, bilo da su zbog ljudske greške ili greške na strojevima.
- Manji troškovi proizvodnje zbog optimiranja proizvodnje te predviđanja potreba za sirovinama te zbog manjih troškova održavanja.
- Povećana sigurnost i održivost do čega dolazi zbog veće autonomije vođenja procesa pri čemu je manja potreba za ljudskim radom te je manja vjerojatnost ljudske pogreške (Burke i sur., 2017).

Pametna tvornica je proizvodno rješenje koje na fleksibilan i učinkovit način zadovoljava potrebe tržišta. Termin "pametna tvornica" nema službene definicije, ali može se opisati nekim drugim izrazima poput: sveprisutna tvornica, odnosno U-factory (engl. *ubiquitous factory*), tvornica stvari (engl. *the factory of things*), tvornica u stvarnom vremenu (engl. *the factory in real time*) te inteligentna tvornica budućnosti (engl. *intelligent factory of the future*). U pametnoj se tvornici integriraju fizičke komponente poput strojeva i proizvodnih linija sa digitalnim, apstraktnim i virtualnim sustavima u jedan sustav zvan *cyber-physical production system*- CPS. Takav sustav je okosnica pametne tvornice. CPS je zamišljen tako da reagira na promjene koje se događaju u takvim tvornicama, ali moguće i zvan njih (Hozdić, 2015).

#### 2.1.5. Četvrta industrijska revolucija u prehrambenoj industriji

Održivost u lancu proizvodnje hrane je ugrožena zbog velikih količina otpada u lancu nabave, samoj proizvodnji, distribuciji i povratu proizvoda. Zbog tih gubitaka, koji predstavljaju ekonomske gubitke, neophodno je okrenuti se novim tehnologijama koje bi pomogle osigurati što je moguće manje gubitaka i što je moguće veću učinkovitost sustava. Mogućnosti da se automatski prate procesi i iz njih dobivaju podaci kroz cijeli lanac proizvodnje su temeljna načela Industrije 4.0. Rezultat implementacije takvih sustava praćenja je povećanje u fleksibilnosti, kvaliteti i brzine proizvodnje te smanjenje grešaka u proizvodnji te troškova same proizvodnje. Također, sustav se prilagođava potrebama korisnika (Oltra- Mestre i sur., 2020).

Uvođenje principa Industrije 4.0 je velik korak ka nastanku "tvornica budućnosti". Kako bi se uspješno uveli ti principi, potrebno je osigurati određene uvjete:

- Dostupnost mreže širokopojasnog interneta dovoljne koji može podnijeti velik broj podataka, te koji će omogućiti njihovo prikupljanje u realnom vremenu. Također, potrebno je omogućiti procesiranje tih podataka i njihovu pohranu.
- Osigurati integraciju svih procesa kroz cijeli lanac nabave i proizvodnje.
- Analitičke metode obradu podataka, prikaz rezultata u realnom vremenu kako bi se na temelju njih mogle donijeti odluke.

Uvođenjem sustava Industrije 4.0, čime se vrši praćenje od sirovine do prodaje gotovog proizvoda pa i povrata istog, ostvaruje se sustav "menadžerskog kišobrana" koji povezuje svaki korak u proizvodnji hrane. Uporabom takvog sustava uvode se velike promjene u industriji hrane i pića, uključujući povećanje učinkovitosti proizvodnje, brže stavljanje proizvoda na tržište, povećanje kvalitete proizvoda te se smanjuju troškovi proizvodnje (Lachance, 2020).

#### 2.1.6. Održivost u proizvodnji hrane

Pojam održivog razvoja obuhvaća ekonomsku uspješnost te društvenu odgovornost pri čemu se moraju štiti ljudski i prirodni resursi. Održivi razvoj podrazumijeva ravnotežu. Održivost se može podijeliti na:

- Slabu održivost, koja narušava postojeće stanje okoliša te ugrožava naredne generacije
- Umjerenu održivost, koja zagovara zaštitu okoliša kao preduvjet gospodarskom razvoju
- Jaka održivost, koja zagovara jake društvene promjene te okretanje ka prirodi. Odlikuje ga stav da se u ekološki sustav ulaže onoliko koliko se uzima iz njega.

Povećanje profita je jedan od temelja poslovanja na globalnoj, regionalnoj i nacionalnoj razini, no koncept održivog razvoja se nastoji ugraditi u filozofiju poslovanja (Drljača, 2021).

U proizvodnji hrane se uporabom pametnih sustava koji preko umreženih strojeva i proizvodnih linija samostalno prikupljaju podatke kojima se olakšava praćenje u proizvodnom lancu, a uz to je omogućeno praćenje potrošnje energije u proizvodnji čime se olakšava

optimiranje potrošnje i proizvodnje. Trendovi u industriji se okreću ka uporabi pametnih sustava koji donose dobrobiti poput povećanja učinkovitosti, kvalitete te prilagođavanja, dok se smanjuje količina otpada i potrošnja energije (Thomas i sur., 2018).

## 2.2. TEHNOLOŠKI PROCES PROIZVODNJE PIVA

- Doprema slada

Slad se u pivovaru doprema u tegljačima s kiper silosima, tipično kapaciteta 30 tona ječmenog slada. Slad se gravitacijski ispušta iz kiper silosa preko gumenog crijeva te se pomoću elevatora transportira u silos za slad. Na ovaj se način doprema bazni slad, odnosno slad koji je najkorišteniji u proizvodnji piva, a to je pilsner slad, dok se ostali tipovi slada kao što su: minhenski, bečki, pšenični, karamel, pale ale dopremaju u vrećama od 25 kg, 50 kg ili u "big bag" vrećama koje imaju zapremninu do 1 tone slada.

- Vaganje i mljevenje slada

Ovisno o recepturi i tipu piva koriste se različite vrste slada u različitim omjerima. Slad se iz silosa preko pužnice doprema u prihvatni koš s ugrađenom vagom. Nakon što se izvaže bazni slad, prema recepturi se dodaju ostali tipovi slada. Pužnim prijenosom se slad transportira u mlin gdje se slad usitnjava kako bi se enzimima omogućilo djelovanje na škrobu i dobivanje fermentabilnih šećera. Prilikom mljevenja potrebno je usitnjavanje pljevice svesti na minimum jer ona pomaže kod cijedenja komine. Nakon meljave, usitnjeni slad se transportira u kotao za ukomljavanje. Slad se može mljeti suhom meljavom na mlinovima s valjcima, najčešće sa 6 parova valjaka ili na mlinovima čekičarima. Osim suhe meljave postoji i mokra meljava, gdje se slad namače u omekšanoj vodi temperature 30-50 °C. Mokrom meljavom se omogućuje bolje cijedenje jer pljevica bubri te postaje elastičnija i olakšava cijedenje (Šakić, 2005).



- Ukomljavanje

Prilikom ukomljavanja u kotao za ukomljavanje se dodaje mljeveni slad te voda uz miješanje kako bi se smjesa homogenizirala. Ukomljavanje je postupak dobivanja sladovine, odnosno vodenog ekstrakta ječmenog slada koji je hranjiva podloga za rast kvasca. Za uspješno djelovanje enzima potrebno je održavati određene temperature kroz određeno vrijeme pa je tako za 45-50 °C optimalno za proteolitičke enzime i  $\beta$ -glukanazu, 62-65 °C za  $\beta$ -amilazu, 70-75 °C za  $\alpha$ -amilazu. Završna temperatura ukomljavanja je 78 °C. Ukomljavanje se odvija infuzijskim postupkom, što znači da se kompletna komina stupnjevito zagrijava i drži na određenoj temperaturi određeno vrijeme. Po završetku ukomljavanja, komina se pumpa u kadu za cijedenje sa perforiranim dnom.

- Cijedenje

Postupak cijedenja služi za odvajanje krutog dijela, odnosno tropa od tekućeg dijela, odnosno sladovine. Komina cijedi u bistreniku preko perforiranog dna te se ostavlja kratko vrijeme dok se ravnomjerno ne slegne po perforiranom dnu kade za cijedenje. Dio sladovine se dobiva filtriranjem preko tropa i taj se dio naziva prvom sladovinom, odnosno prvijencem, koja sadržava 13-16 % ekstrakta. Potom se trop ispiru vrućom vodom kako bi se ekstrahiralo što više fermentabilnih šećera. Trop mora konstantno biti potopljen, kako ne bi u njega ušao zrak, što bi usporilo ispiranje tropa. Po završetku cijedenja, trop se izdvaja u silos za trop dok se sladovina pumpa u kotao za kuhanje. Trop se iz silosa odvozi za ishranu stoke ili se deponira (Šakić, 2005).

- Kuhanje

Ocijedena sladovina se pumpa u kotao za kuhanje. Cilj kuhanja je : isparavanje sladovine, povećanje koncentracije hmeljne sladovine, sterilizacija sladovine, inaktivacija enzima te isparavanje neželjenih hlapivih komponenti. Ovim procesom se regulira sadržaj ekstrakta te dolazi do koagulacije proteina koji se istalože i izdvajaju iz sladovine. Prilikom kuhanja sladovine se dodaje hmelj. Količina i vrsta te vrijeme dodavanja tijekom kuhanja ovise o tipu piva, no obično se kreće između 200 do 500 grama po hektolitr piva. Prilikom hmeljenja dolazi do otpuštanja gorkih komponenti iz hmelja, hmeljnih ulja te tanina. Sladovina se kuha 1,5 do 2 sata, a temperature se kreću između 100 i 106 °C. Korištenjem moderne opreme

kuhanje je moguće obaviti za 60-70 minuta. Kraj kuhanja se određuje prema ekstraktu sladovine (Šakić, 2005).

- Bistrenje sladovine

Nakon završetka kuhanja sladovine potrebno ju je izbistriti i iz nje ukloniti istaložene bjelančevine i ostale krute čestice te hmelj. Izdvajanje toplog taloga se odvija u vrtložnom taložniku koji se još naziva i whirlpool. U njemu se sladovina pod pritiskom pumpe kreće uz rub i zbog kružnog kretanja uz stijenku dolazi do formiranja taloga u centru posude, dok se sladovina prebacuje u tank na hlađenje. Brzina protoka sladovine ne smije prelaziti  $3,5 \text{ ms}^{-1}$ . Ovisno o zahmeljenosti, sladovina se u whirlpoolu može zadržavati od 15 do 25 minuta (Kunze, 2010).

- Hlađenje i aeriranje

Sladovina se nakon kuhanja mora brzo ohladiti na  $5-10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , što se postiže pomoću pločastog hladnjaka, a hlađenje se vrši tijekom pumpanja sladovine u tankove za vrenje. Važno je da se nakon hlađenja izdvoji talog, jer se on može vezati za stijenke kvasca te smanjuje dodirnu površinu kvasca i sladovine što smanjuje učinkovitost glavnog vrenja (Šakić, 2005). Da bi se mogla provesti fermentacija potrebno je aerirati sladovinu kako bi se omogućio rast kvasca. Aeracija se provodi upuhivanjem sterilnog zraka u tank sa sladovinom preko raspršivača kako bi se povećala dodirna površina zraka i sladovine. Sladovina za nacjepljivanje kvasca mora sadržavati  $8-10 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$  sladovine.

- Inokulacija

Kada je sladovina ohlađena i aerirana u nju se dodaje pivski kvasac kako bi počela fermentacija šećera oslobođenih prilikom ukomljavanja i kuhanja. Inokulacija se provodi pumpanjem homogeniziranog kvašćevog mlijeka u tank sa sladovinom pri čemu treba paziti da ne dođe do kontaminacije čiste kulture kvasca drugim mikroorganizmima ili divljim kvascima koji bi utjecali na tijek fermentacije. Na 1 hl sladovine stavlja se 0.7-1 litra kvašćevog mlijeka. Tijekom vrenja dolazi do rasta kvašćeve biomase te se ona do kraja vrenja utrostruči.

- Glavno vrenje

Tijekom glavnog vrenja ili alkoholne fermentacije pivski kvasac, najčešće *Saccharomyces cerevisiae* te *Saccharomyces uvaruum*, ali ovisno o vrsti piva moguće je korištenje i drugih kvasaca, a u iznimnim slučajevima gdje je moguća čak i spontana fermentacija, dolazi do nastanka etanola i ugljikovog dioksida iz fermentabilnih šećera dobivenih iz škroba postupcima ukomljavanja te kuhanja. Ovisno o tipu piva koriste se kvasci gornjeg, odnosno donjeg vrenja te o tome ovise uvjeti fermentacije. Za piva tipa lager koristi se *Saccharomyces uvaruum*, odnosno kvasac donjeg vrenja. Nakon završene fermentacije on se istaloži na dno koničnog tanka te se ispušta. Vrenje provođeno sa *Saccharomyces uvaruum* započinje na nižim temperaturama, između 6 i 8 °C, a završava na 9 do 18 °C te se naziva hladno vrenje.

Kod fermentacije piva tipa ale koriste se kvasci gornjeg vrenja, najčešće *Saccharomyces cerevisiae*. Vrenje započinje na temperaturi od 10 °C, a završava na 25 °C te se naziva toplo vrenje. Nakon završetka fermentacije kvasac ispliva na površinu te se odvaja, a pivo ide na odležavanje. Glavno vrenje obično traje 4-5 dana. Tijekom fermentacije nastaje alkohol te ugljikov dioksid i to oko 4 kg hL<sup>-1</sup> piva (Šakić, 2005) .

- Odležavanje

Odležavanjem piva se ostatak neprevrelog ekstrakta prevodi u etanol i ugljikov dioksid zbog čega dolazi do povećanja tlaka unutar tanka. Tlak se održava na 1 bar, a temperatura oko 0 °C. Tijekom odležavanja dolazi do nastanka spojeva arome piva, ali i do bistrenja zbog snižene temperature zbog čega dolazi do taloženja koloida i tvari čija se topljivost smanjila zbog snižene temperature. Trajanje procesa odležavanja traje 14 do 21 dan.

- Separacija na centrifugi/filtracija

Po završetku odležavanja, odnosno hladne stabilizacije iz piva je potrebno ukloniti stanice kvasca koje se nisu istaložile ili flokulirale te preostale koloidne čestice poput smola iz hmelja i proteina koje čine pivo mutnim. Mutnoća se iz piva može ukloniti na centrifugalnom separatoru ili pomoću filtra, najčešće naplavnih. Uklanjanjem kvasca i čestica mutnoće se smanjuje opasnost od kvarenja piva, osobito ukoliko se ono ne pasteurizira.

- Stabilizacija

Po završetku filtriranja ili separiranja piva potrebno je ostaviti pivo u tanku da odleži kako bi se korigirala koncentracija ugljikovog dioksida i kako se pivo prilikom punjenja ne bi previše penjalo jer to donosi velike gubitke zbog velikog broja loše napunjenih boca. Za punjenje piva u boce optimalno je 4-5 g L<sup>-1</sup> ugljikova dioksida.

- Pasterizacija

Pasterizacija piva se može odvijati prije punjenja u cijevnim pasterizatorima ili nakon punjenja u boce u šaržnim ili tunelskim pasterizatorima. Pasterizacijom se inaktiviraju ili uništavaju prisutni mikroorganizmi u vegetativnom obliku te produžuje rok trajanja piva, a ne mijenjaju se bitno nutritivna i organoleptička svojstva. Uobičajeno se pasterizacija provodi pri temperaturi 60-65 °C u trajanju od 20 do 30 minuta ukoliko se provodi u šaržnom pasterizatoru, a ukoliko se provodi u tunelskom ili protočnom pasterizatoru, onda se odvija na 68-72 °C kroz 1-2 minute.

- Punjenje

Nakon što je pivo prošlo sve potrebne procese spremno je za punjenje u boce, limenke ili kegove. Linije za punjenje se peru nakon svake uporabe i to: vrućom lužinom u trajanju 30 minuta pa 30 minuta vrućom vodom, a zatim 30 minuta kiselinom te se ispiru vodom, odnosno koristi se CIP (engl. *cleaning in place*) sustav.

Prilikom punjenja, mora se spriječiti kontakt piva sa kisikom, a kako bi se što je moguće više istisnuo kisik iz boce, prije čepjenja se u bocu ubrizga tanki mlaz vruće vode koji izaziva dizanje pjene koja istiskuje zrak iz boce. Brzina punjenja ovisi o liniji i o potrebama tvrtke, a u ovom slučaju optimalni kapacitet linije je 10000 boca h<sup>-1</sup>. Nakon završetka punjenja, moguća je pasterizacija piva u bocama, nakon čega slijedi skladištenje i distribucija. Nakon punjenja pivo se skladišti na 14 °C.

Tijekom proizvodnje piva dolazi do nastanka gubitaka koji se iskazuju u postocima u odnosu na proizvedenu vruću hmeljnu sladovinu. Taj parametar pokazuje uspješnost rada tijekom proizvodnje. gubici se prikazuju kao razlika između proizvedene vruće hmeljne sladovine i količine prodajnog piva, a granična vrijednost je 10% (Šakić, 2005).

### 2.3. ODRŽIVOST I ODRŽIVI RAZVOJ

Kako bi se natjeralo organizacije da smanje korištenje fosilnih goriva uvode se takozvani porezi na ugljik, čime se nastoji smanjiti negativan utjecaj na okoliš. Najveći udio ugljičnog otiska otpada na proizvodnju hrane, transport i korištenje energije, odnosno fosilnih goriva (Arora i Mishra, 2019). Ugljični otisak u proizvodnji hrane mjeri se u kilogramima ekvivalenta ugljikovog dioksida (kg CO<sub>2</sub>) korištenjem ocjene životnog ciklusa (engl. *Life Cycle Assessments- LCA*). LCA je alat koji se koristi za vrednovanje učinka na okoliš koji se odvija prilikom proizvodnje nekog proizvoda ili kroz njegovo korištenje. Rastući trend održivosti u proizvodnji hrane i njenoj konzumaciji stvorio je potrebu za razvojem novih metoda istraživanja vezanih za proizvodnju i distribuciju hrane te poljoprivrednu proizvodnju (Roy i sur., 2009).

Konkretno u slučaju pivarske industrije, ugljični otisak je teško procijeniti zbog velikog broja pivskih stilova i načina pakiranja piva. Proizvodnja piva uključuje mnogo procesa poput grijanja, hlađenja, transporta piva, a svi ti procesi zahtijevaju energiju. Emisija ugljikovog dioksida u pivovari se može pratiti kroz potrošnju električne energije i plina te emisija ugljikovog dioksida kroz zbrinjavanje otpada. Primjer belgijske pivovare "New Belgium" pokazuje kako se samo na račun potrošnje električne energije za pakiranje od 6 staklenih boca piva ispusti 250 g ugljikovog dioksida. Veće pivovare za istu količinu piva ispuštaju veće količine ugljikovog dioksida zbog većih objekata i strojeva (Francis, 2017).

Smanjenje utjecaja na okoliš i manji ugljični otisak u proizvodnji hrane mogu se postići na razne načine, kao što su korištenje obnovljivih izvora energije poput bioplina od otpada iz proizvodnje, korištenje recikliranih materijala za pakiranje proizvoda ili povratne ambalaže. Velik faktor u emisiji ugljikovog dioksida je transport, što sirovina, što gotovog proizvoda. Iz toga razloga važno je racionalizirati taj segment poslovanja, a to se može postići korištenjem lakših materijala za pakiranje, te pakiranje u oblicima koji zauzimaju najmanji prostor. Osim količine sirovina ili proizvoda koje se prevoze, vrlo važne u i udaljenosti pa je tako u cilju smanjenja ugljičnog otiska smanjiti udaljenosti koje prelaze sirovine do tvornice, što osim ekoloških ima i ekonomske benefite. Smanjenje udjela hrane koja se baca također uvelike utječe na ugljični otisak (Roy i sur., 2009, Wakeland i sur., 2011).

### 3. EKSPERIMENTALNI DIO

Podaci za eksperimentalni dio ovog rada su prikupljeni kontaktom u proizvodnom pogonu industrijskog postrojenja u Hrvatskoj.

#### 3.1. PROJEKTNI ZADATAK

##### 3.1.1. Materijalna bilanca

Materijalna bilanca će biti prikazana (Tablica 1) na jednoj šarži od 1000 hL gotovog piva. Kao primjer će se koristiti pivo lager stila, koje je najčešće proizvedeno i konzumirano pivo.

Tablica 1. materijalna bilanca proizvodnje piva

<b>PROCES</b>	<b>ULAZ</b>	<b>IZLAZ</b>
<b>Ukomljavanje</b>	17 000 kg slada 68000 kg vode	-
<b>Cijeđenje</b>	50000 kg vode	20000 kg tropa
<b>Kuhanje</b>	500 kg hmelja	5000-7000 kg vode
<b>Bistrenje u whirlpoolu</b>	-	100 kg taloga bjelančevina i grubih čestica 430 kg hmeljnog taloga
<b>Inokulacija kvascem</b>	1000 kg kvašćevog mlijeka	-
<b>Fermentacija</b>	-	4000 kg ugljikovog dioksida
<b>Separacija/ filtracija</b>	-	3000 kg kvašćevog mlijeka
<b>Punjenje u ambalažu</b>	-	Gotov proizvod 98500 kg Defektan proizvod (loše punjenje) 1500 kg
<b>Iskorištenje</b>		98,6 %
<b>UKUPNO</b>	<b>136500 kg</b>	<b>134530 kg</b>

### 3.1.2. Energetska bilanca

Osim strojeva koji se koriste u proizvodnji piva, važni su i tankovi u kojima se odvija vrenje, odnosno fermentori. Industrijske komercijalne pivovare zahtijevaju fermentore velike zapremnine, stoga ćemo u ovom slučaju uzeti da se koriste fermentori bruto volumena 2,700 hL, dok im je radni, odnosno neto volumen 2100 hL (Tablica 2). Nakon fermentacije pivo se pretače u ležne tankove radnog volumena 2100 hL, iz kojih se pivo nakon odležavanja i filtracije prebacuje u tlačne tankove gdje se stabilizira i zasićuje s ugljikovim dioksidom te je spremno za točenje u ambalažu. Zapremnine tih tankova su 500 hL.

Tablica 2. Energetska bilanca glavnih strojeva u pivovari

UREĐAJ	INSTALIRANA SNAGA (kW)	KAPACITET	INSTALIRANA SNAGA ZEMNOG PLINA (kW)	VRIJEME RADA STROJA (h)	POTROŠNJA ENERGIJE (kWh)
Elevatori slada	3	10 t h <sup>-1</sup>		1,7	5,1
Protočna vaga za mjerenje rasutog tereta	5	12,5 t h <sup>-1</sup>		1,4	7
Mlin čekićar	15	10 t h <sup>-1</sup>		1,7	25,5
Distribucija obrađene vode-pumpe	5	220 hL h <sup>-1</sup>		4,6	23
Parni kotao	/	1 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>	700	24	16800 (plin)
Komovnjak	5	700 hL h <sup>-1</sup>		≈ 3,5-4	20
Kotao sladovine	5	700 hL h <sup>-1</sup>		≈ 3,5-4	20
Whirpool	5	400 hL h <sup>-1</sup>		2,5	12,5
Pomoćne pumpe	1,5	100 hL h <sup>-1</sup>		≈ 5-6	9
Elevatori otpadnog tropa	10	15 t h <sup>-1</sup>		1,5	15
Hladnjak mladog piva	300	200 hL h <sup>-1</sup>		5	1500
Pumpe za pivo	20	230 hL h <sup>-1</sup>		4,4	88
Pumpe za kvasac	1,1	8 hL h <sup>-1</sup>		1,3	1,4
Kvaščara-biopropagator, propagator	15	10 hL		24	360
Hladnjak sladovine	25	350 hL h <sup>-1</sup>		2,9	72,5
Centrifuga kvasca	15	120 hL h <sup>-1</sup>		8,4	126
Hladnjak kvasca	3			24	72
Otplinjavanje vode	6	30 hL h <sup>-1</sup>		24	144
Protočni pasterizator	70	20 hl h <sup>-1</sup>		5	350
Linija za punjenje boca	9	70 hL h <sup>-1</sup> max. 50 hLh <sup>-1</sup> (optimalno)		≈20	180
Rashlada	100	/		24	2400
<b>Ukupna snaga u kW</b>	<b>618,6</b>	/	<b>700 kW</b>	/	<b>5370,4 struja + 16800 plin</b>



## 3.2. IZRAČUN OEE, EU, TEEP

### 3.2.1. Ukupna učinkovitost opreme (engl. *Overall Equipment Effectivnes- OEE*)

Ukupna učinkovitost opreme (engl. *Overall Equipment Effectivnes- OEE*), je pojam koji se koristi kao pokazatelj iskorištenosti uređaja. OEE pokazuje je li oprema premalo iskorištena ili pre iskorištena (Tablica 3). OEE se može koristiti na razini pojedinog stroja ili na razini svih strojeva, te se može uspoređivati iskorištenje između pojedinih strojeva unutar tvornice (Singh i sur., 2013). U današnje vrijeme s napretkom proizvodnih mogućnosti i razvojem Industrije 4.0 potrebno je u poslovanje uvesti fleksibilnost i inovaciju kako bi se ostalo konkurentnim na tržištu. Uklapanjem kompjuterizacije i automatizacije te stremljenja ka što većoj kvaliteti proizvodnje koja podrazumijeva što je moguće manje otpada, proizvođači su prisiljeni pronaći nove načine praćenja kvalitete, smanjenja otpada te povećanja profita.

### 3.3.SOFTWARE -sko PRAĆENJE

Koraci koji su uključeni u izračun ukupnu učinkovitost opreme (engl. *overall equipment effectiveness -OEE*) su:

- Unos ukupnog vremena trajanja smjene
- Unos planiranih zastoja
- Izračunavanje vremena pripreme= (ukupno vrijeme - planirani zastoji)
- Unos svih vremena zastoja i pauza
- Izračun operativnog vremena= vrijeme pripreme (ukupno vrijeme zastoja + vrijeme pauze)
- Korisnost (A)= operativno vrijeme/ vrijeme pripreme
- Unos podataka o stvarnom trajanju ciklusa i teoretskom trajanju ciklusa
- Izračun omjera operativne brzine= (teoretsko trajanje ciklusa/ stvarno trajanje ciklusa)
- Unos vremena trajanja proizvodnje i totalne proizvedene količine
- Izračun neto operativnog omjera= (stvarno operativno vrijeme/ operativno vrijeme)
- Izračun učinkovitosti izvedbe (PE)= (neto operativni omjer\* omjer operativne brzine)
- Unos količine defektnih proizvoda

- Izračun stope kvalitete (QR)= (ukupno proizvedene količine- količine defektnih proizvoda)/ ukupno proizvedeni proizvod
- Ukupna učinkovitost opreme (OEE)= korisnost\* učinkovitost izvedbe\* stopa kvalitete

Software koji se koristi u izračunu OEE razvijen je u programu Visual Basic 2010. Svrha razvoja ovog software-a je ušteda vremena i truda potrebnog za izračunavanje OEE ručno. U ovom software-u podaci mogu biti unošeni ručno ili pomoću kontrolora koji sakuplja podatke (Singh i sur., 2013).

### 3.3.1. UKUPNO PRODUKTIVNO ODRŽAVANJE (*engl. Total Productive Maintenance- TPM*)

Ukupno produktivno održavanje (*engl. Total Productive Maintenance- TPM*) kao koncept je uveden i razvijen kao odgovor na probleme u održavanju u uvjetima proizvodnje. Ova metoda je usmjerena na eliminaciju kvarova na opremi i strojevima, uklanjanju defektnih proizvoda te povećanju sigurnosti pri radu. TPM predstavlja mogućnost povećanja produktivnosti i profitabilnosti, smanjenja troškova i kvarova, povećanja kvalitete radnih uvjeta i motivacije radnika. Zahtijeva timski rad, predanost djelatnika, uključivanje menadžmenta i edukaciju radnika. Učinkovit TPM ovisi o proizvodnji kao i o aktivnostima u održavanju (Branska i sur., 2016).

### 3.3.2. VITKA PROIZVODNJA (*engl. Lean manufacturing- LEAN*)

LEAN, odnosno "vitka" proizvodnja je skup alata i metoda kojima je zajednički cilj eliminacija otpada i defektnih proizvoda u proizvodnim procesima. LEAN proizvodnja se pokazala kao dobar primjer inovacija u procesima proizvodnje jer konstantno uvodi poboljšanja. Unatoč tome, LEAN proizvodnja nije široko prihvaćena od strane tvrtki koje imaju proizvodnju sačinjenu od velikih serija, kao što je slučaj u prehrambenoj industriji, čemu je najvjerojatniji razlog taj što se percipira da se načela LEAN proizvodnje teško uklapaju u proizvodnju hrane. Cilj LEAN strategije je da educiraju menadžere i radnike da iskoriste otpad od proizvodnje kako bi gubitke sveli na najmanju moguću mjeru i time povećali profit tvrtke. Unatoč sporij

implementaciji u prehrambenu industriju, alati LEAN proizvodnje se mogu implementirati u proizvodnju hrane kako bi povećali učinkovitost, kvalitetu proizvoda, smanjili troškove proizvodnje i povećali dobit tvrtke zbog smanjenja otpada i njegovog korištenja kao sirovine za nove proizvode s dodanom vrijednošću (Kezia i sur., 2017). Poboljšanja koja donosi implementacija LEAN proizvodnje znatno ovise o tome mijenjaju li se samo uvjeti proizvodnje modifikacijama strojeva ili se mijenja cjelokupna struktura tvrtke kako bi prihvatila nove tehnike u proizvodnji. Alati koji se primjenjuju u uvođenju LEAN proizvodnje mogu se podijeliti u 3 skupine, a to su:

- Alati za organizaciju proizvodnje, koji podrazumijevaju tehnike organiziranja osoblja koje sudjeluje u proizvodnim procesima, s ciljem da svi uključeni u proizvodnju mogu nesmetano komunicirati kako bi se ostvarili zacrtani ciljevi. Kako bi se to omogućilo koriste se 5S metodologija, tehnika zasnovana na dobrim radnim navikama, urednosti i redu, promoviraju se timski rad, izmjena ideja, povećanje autonomije radnih timova i stjecanje novih vještina. Također se uvode i dnevni te tjedni sastanci kako bi si izmijenile informacije o svim aspektima radnog dana.
- Alati za unaprjeđenje kvalitete proizvodnje, kojima je cilj uspostava sustavima efikasnosti u kvaliteti. To je sustav koji se oslanja na doprinos radnika koji olakšava kontrolu i poboljšanja u nastojanju da se dostignu željene razine kvalitete u proizvodnji. Cilj je uspostaviti proizvodnju u kojoj nema defektnih proizvoda te mogućnost da se što brže reagira u slučaju bilo kakvih problema u proizvodnji.
- Alati za učinkovitost proizvodnje uključuju OEE kao indikator učinkovitosti proizvodne opreme. Izvještaji o gubitcima i uskim grlima u proizvodnji omogućuju vodstvu da odluči o mjerama kojima će se nastojati povećati učinkovitost u proizvodnji. OEE indikatori su: dostupnost, koja uključuje gubitke nastale zbog zastoja na proizvodnim linijama, izlaz proizvoda koji uključuje gubitke nastale zbog kratkih zastoja na liniji te zbog smanjenja brzine rada, kvaliteta, koja uključuje proizvode odbačene zbog nezadovoljavajuće kvalitete (Aragón i McDonnell, 2015).

Jedan od najvažnijih aspekata LEAN proizvodnje je ukupno produktivno održavanje, odnosno TPM (engl. *Total Productive Maintenance*). TPM se koncentrira na ključne aspekte proizvodne opreme: dostupnost, pouzdanost i učinkovitost. Glavni pokazatelj TPM-a je ukupna učinkovitost opreme (OEE). Kad se izračuna, može nam pokazati koliko je proizvodna oprema pouzdana i učinkovita. Što je OEE viši to je proizvodnja učinkovitija. Tvrtke se moraju pobrinuti da se podaci potrebni za izračunavanje OEE, ključnog pokazatelja uspješnosti TPM-a, prikupljaju što jednostavnije i što točnije. To održava visoku motivaciju radnika što rezultira povećanom kvalitetom i stvarnim stanjem trenutne razine proizvodne učinkovitosti (Slavina, 2017).

Tablica 3. Prikaz tipova podataka potrebnih za izračun OEE (Slavina, 2017)

	Vrsta podataka	Opis
1.	OEE vremenski okvir	Vremenski okvir unutar kojeg se skupljaju podaci, obično traje 3 do 8 tjedana. Čim je taj period duži, veća je preciznost.
2.	Informacije o radnom mjestu	Odgovara na pitanje provodi li se analiza na jednom ili više strojeva. Ukoliko analiza obuhvaća stroj s više samostalnih jedinica, analiza se provodi na svakoj zasebno.
3.	Informacije o radnom mjestu	Hoće li se nadgledanje i prikupljanje podataka odvijati na jednom tipu radnog mjesta ili će varirati?
4.	Broj smjena	Važno je za izračun jer bitno utječe na točnost.
5.	Broj radnih sati u smjeni	Potrebno je definirati broj radnih sati u smjeni, moguće su varijacije od tvrtke do tvrtke.
6.	Brzina rada stroja ili linije	Informacija na kojoj se temelji izračun je brzina rada stroja. Vrlo je važna preciznost pri skupljanju podataka.
7.	Zastoji	Potrebno je voditi evidenciju o vremenima kada se događaju zastoji te o njihovom trajanju, razlogu nastanka, vrsti( planiran/neplaniran).
8.	Količine	Koliko jedinica proizvoda je proizvedeno u svakoj smjeni te koliko ima nastalog otpada.

Za izračun OEE potrebno je prikupiti podatke koji su prikazani u tablici 3., a te podatke najčešće moraju prikupljati sami radnici, jer u najvećem broju slučajeva nema osobe koja je za to educirana i koja bi obavljala taj zadatak. Zbog toga što je to radnicima samo dodatna obaveza, formulari s tim podacima su često površno ispunjeni, što komplicira obradu podataka. Zbog te problematike se kao rješenje za prikupljanje podataka uvodi IoT, gdje se na strojeve spajaju umrežene naprave za prikupljanje podataka, čime se podaci prikupljaju automatski. Tako se za prikupljanje podataka za OEE na strojeve mogu staviti senzori koji prate vrijeme rada stroja, broj stanki, kvarovi, defektni proizvodi, ukupne količine proizvoda i slično. Pomoću tih podataka prikupljenih u realnom vremenu, softver može u roku od nekoliko minuta izračunati OEE (Slavina, 2017).

Kako bi se dobili rezultati OEE analize, potrebno je stvoriti bazu podataka. Mnoge tvrtke su u tu svrhu u svoje poslovanje implementirale LEAN alate, koji uključuju TPM. Kako bi su uspješno obavila OEE analiza, potrebno je prikupiti podatke navedene u tablici 3. Nakon prikupljanja i interpretacije podataka OEE analize, rezultati se prikazuju pomoću:

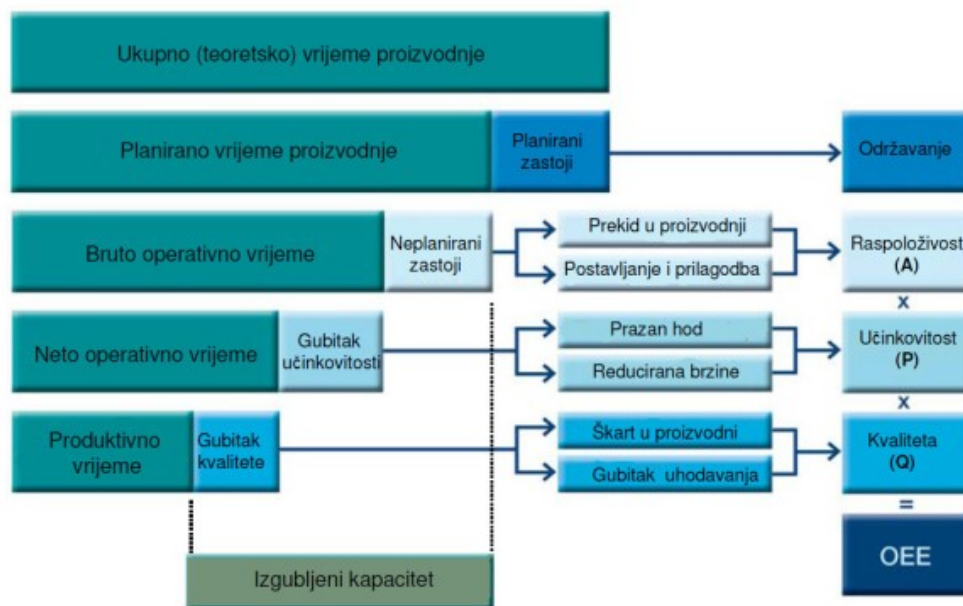
- Ukupnog efektivnog broja produktivnosti opreme (*engl. Total Effective Equipment Productivity-TEEP*) koji se kreće između 0 % i 100 %
- Korištenja opreme (*engl. Equipment Utilisation-EU*) koji se kreće između 0 % i 100 %
- OEE vrijednosti (*engl. Overall Equipment Efficiency*) koji se kreće između 0 % i 100 %

$$TEEP = EU \cdot OEE \quad [1]$$

TEEP vrijednost označava koliko je vremena u odnosu na raspoloživo vrijeme proizvodnje stroj proizvodio dobre proizvode. Pod raspoloživo vrijeme se podrazumijeva 24 sata na dan, 365 dana u godini.

EU vrijednost u obzir uzima planirane zastoje, vikende, bolovanja radnika, pauze, godišnje odmore, edukacije zaposlenika te sve ostale planske razloge zbog kojih se oprema ne koristi. EU vrijednost se obično kreće oko 80 %.

OEE vrijednost se odnosi na maksimalno potencijalno vrijeme proizvodnje, bez računanja vremena koje nije planirano. OEE kao postotak prikazuje samo vrijeme koje je uistinu provedeno produktivno. OEE vrijednost od 100 % bi prema tome značila da su proizvedeni samo proizvodi zadovoljavajuće kvalitete, pri najvećoj mogućoj brzini, bez zastoja (Slika 1.). Ukoliko vrijednost OEE dosegne 100 %, to može značiti da se dogodila greška u izračunu ili prikupljanju podataka ili da je podcijenjen kapacitet proizvodnje (Slavina, 2017).



Slika 1. Shematski prikaz OEE (Anonimno 1)

Ukupni efektivni broj produktivnosti opreme (TEEP) pokazuje koliko je vremena ukupno raspoloživih sati u danu određena oprema proizvodila dobre dijelove. Smatra se maksimalnim vremenom svo raspoloživo vrijeme, a to je 24 sata, 365 dana u godini.

Korištenje opreme - EU uzima u obzir sve planirane zastoje, kao i vikende, bolovanja, treninge, pauze za ručak, edukacije i sve razloge zbog kojih oprema nije radila zbog planiranih razloga.

Ukupna učinkovitost opreme (OEE) na potencijalno vrijeme proizvodnje gleda kao na maksimum, bez izračunavanja vremena koje nije zakazano. Identificira postotak proizvodnog vremena koje je uistinu produktivno. OEE od 100 % znači da proizvodite samo dobre dijelove, što je brže moguće, bez zastoja. Pojam "dobre dijelovi" označavaju dijelove koji zadovoljavaju potrebe za kvalitetom i mogu se prodati. Ako OEE dosegne preko 100 %, to znači da su predviđanja o proizvodnom taktu pogrešna. To također znači da su proizvodne mogućnosti podcijenjene i da se dijelovi proizvode brže nego što se predviđalo.

Za usporedbu proizvodnih strojeva, uređaja ili linija, najbolje je:

$$OEE = \frac{T_o}{T} \cdot \frac{T_{no}}{T_o} \cdot \frac{T_o}{T_{no}} \cdot \frac{T_p}{T_u} \quad [2]$$

$$OEE = \frac{\frac{\text{operativno vrijeme}}{\text{vrijeme proizvodnje}} \cdot \frac{\text{neto operativno vrijeme}}{\text{operativno vrijeme}} \cdot \frac{\text{iskoristivo operativno vrijeme}}{\text{neto operativno vrijeme}}}{\frac{\text{produktivno vrijeme}}{\text{iskoristivo vrijeme proizvodnje}}} \quad [3]$$

$$OEE = \frac{\text{produktivno vrijeme}}{\text{vrijeme proizvodnje}} = \frac{T_p}{T} = \frac{T-L_1-L_2-L_3-L_4}{T} = \frac{T-\Sigma L_N}{T} = 1 - \frac{\Sigma L_N}{T} \quad [4]$$

L<sub>1</sub> su planirani gubici vremena uzrokovani pauzama, podešavanjima opreme, testiranjima opreme, uzimanjem uzoraka i slično. L<sub>2</sub> su neplanirani gubici vremena u trajanju više od 10 minuta zbog kvarova, grešaka, nedostatka sirovina i materijala. L<sub>3</sub> su gubici vremena zbog trajanja nekog ciklusa proizvodnje, reakcija radnika na zastoje, nakupljanja proizvoda, smetnji koje traju kraće od 10 minuta. L<sub>4</sub> je vrijeme koje se gubi zbog defektnih proizvoda i njihovog mogućeg popravljanja (Slavina, 2017).

U istraživanju koje su proveli Ihueze i U-Dominic 2018. godine, mjera za OEE su bila uska grla u proizvodnji, odnosno oprema koja je smanjivala brzinu proizvodnje. TPM program su uveli za strojeve i opremu te su prema dobivenim podacima utvrditi da je došlo do poboljšanja u radu. Svi parametri koji su bili potrebni za izračun OEE su dobiveni putem upitnika, izravnih opažanja te mjerenja.

$$\text{Raspoloživost (A)} = \frac{\text{aktivno vrijeme} - \text{vrijeme zastoja}}{\text{aktivno vrijeme}} = \frac{\text{operativno vrijeme}}{\text{aktivno vrijeme}} \quad [5]$$

Operativno vrijeme predstavlja razliku između ukupnog aktivnog vremena proizvodnje i vremena koje oduzimaju zastoji u proizvodnji. OEE gubici u vidu raspoloživosti se

kategoriziraju kao zastoji poput zastoja uzrokovanih kvarovima opreme, zastoja zbog neplaniranih popravaka ili održavanja, nedostatka materijala i slično.

$$\text{Operativno vrijeme} = \text{aktivno vrijeme} - \text{vrijeme zastoja} \quad [6]$$

Operativno vrijeme predstavlja razliku između ukupnog aktivnog vremena proizvodnje i vremena koje oduzimaju zastoji u proizvodnji. Zastoji u proizvodnji ne bi smjeli biti veći od 1 sata po danu.

$$\text{Stvarni proizvodni učinak} = \frac{\text{operativno vrijeme}}{\text{vrijeme proizvodnog ciklusa}} \quad [7]$$

$$\text{Učinkovitost (P)} = \text{koeficijent operativne brzine} \times \text{neto operativni tempo} \quad [8]$$

OEE gubici vezan uz učinkovitost se kategoriziraju kao gubici zbog smanjenja brzine proizvodnje. Uzrok tim gubicima je uglavnom zaglavljivanje proizvoda ili sirovine unutar stroja, primjerice zbog krivog stavljanja materijala u stroj. Do toga dolazi zbog stanja opreme ili slabije obučenosti operatera.

$$\text{koeficijent operativne brzine} = \frac{\text{idealno vrijeme proizvodnog ciklusa}}{\text{stvarno vrijeme proizvodnog ciklusa}} \quad [9]$$

$$\text{neto operativni tempo} = \frac{\text{idealno vrijeme proizvodnog ciklusa}}{\text{stvarno vrijeme proizvodnog ciklusa}} \cdot 100 \quad [10]$$

$$\text{Kvaliteta (Q)} = \frac{\text{idealno vrijeme proizvodnog procesa}}{\text{stvarno vrijeme proizvodnog procesa}} \cdot 100 \quad [11]$$

OEE gubici koji spadaju u kategoriju kvalitete mogu biti rezultat tolerancije kod podešavanja opreme za proizvodnju, zagrijavanja opreme za proizvodnju, izdvajanja i prerade izdvojenih proizvoda.



$$OEE = A \cdot P \cdot Q \quad [12]$$

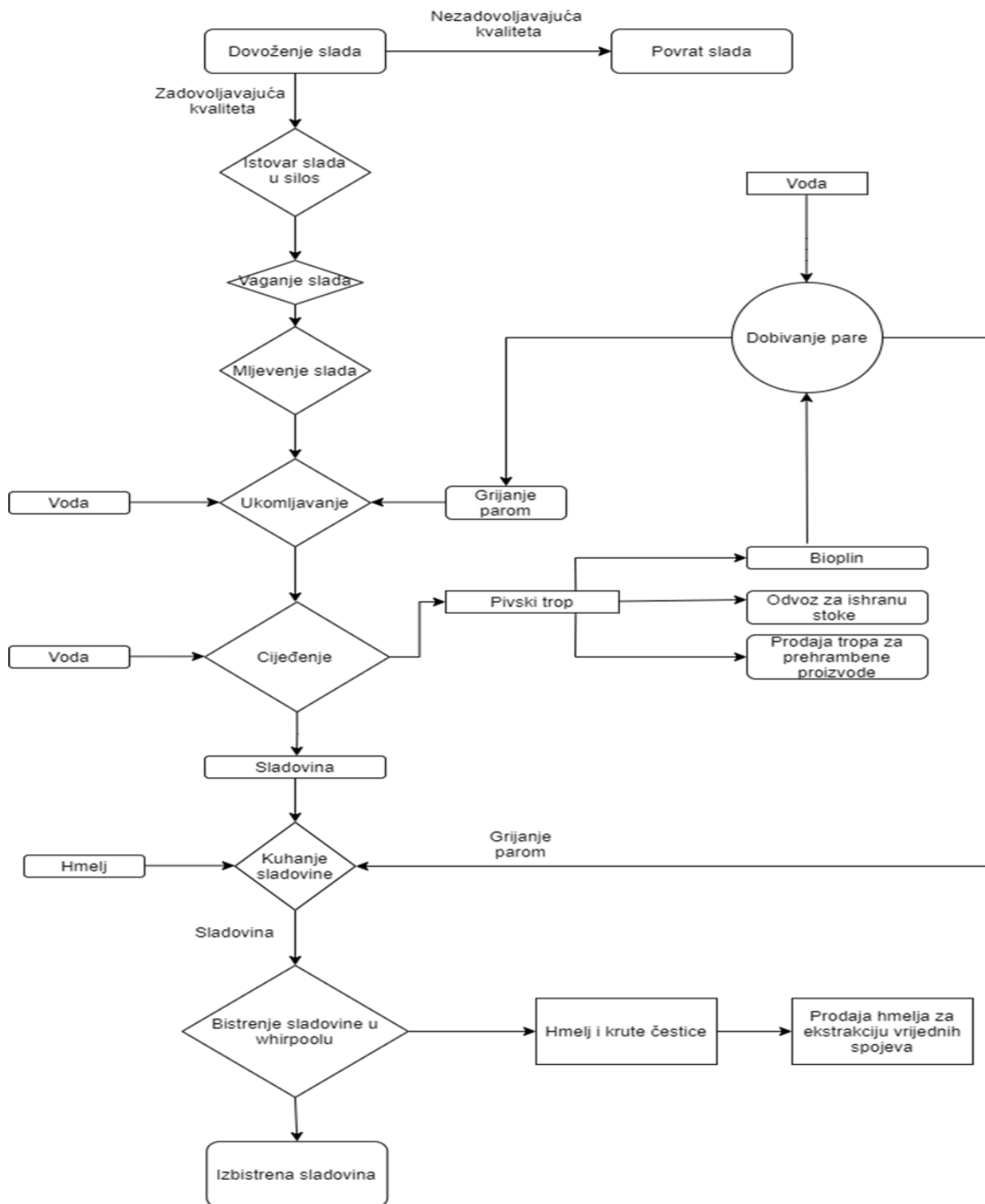
$$MTBR \text{ (mean time between repair)} = \frac{\text{ukupno operativno vrijeme}}{\text{broj kvarova}} \quad [13]$$

Kako bi se postigla ciljana vrijednost OEE od 85%, učinkovitost (P) mora iznositi barem 95%, dostupnost (A) također mora biti barem 95% te kvaliteta (Q) mora biti 99% (Lazim i sur., 2013).

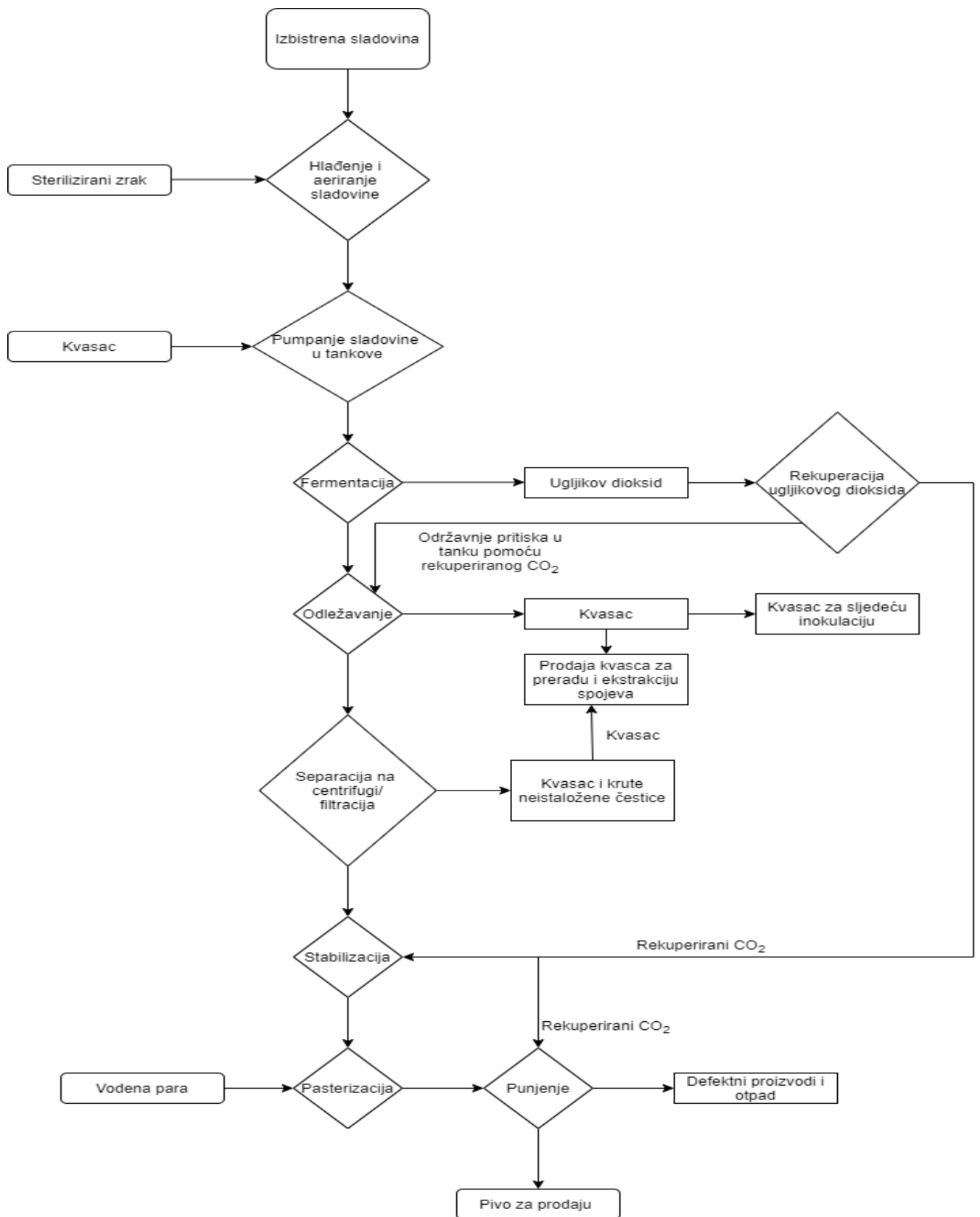
## **4. REZULTATI I DISKUSIJA**

U ovom poglavlju biti će prikazani podaci potrebni za izračun OEE vrijednosti linije za punjenje piva u boce te rezultati OEE vrijednosti linije za punjenje piva u boce. Potrebni podaci i rezultati će biti prikazani u obliku tablica. Uz prikaz vrijednosti OEE linije za punjenje piva biti će prikazane i logičke sheme cjelokupne proizvodnje piva.

#### 4.1. LOGIČKE SCHEME PROIZVODNJE PIVA



Slika 2. Shematski prikaz proizvodnje piva



Slika 3. Shematski prikaz proizvodnje piva

Na slikama 2 i 3 prikazana je logička shema rada pivovare. Logičke sheme su konstruirane prema podacima prikupljenim kontaktom u proizvodnom pogonu industrijskog postrojenja u Hrvatskoj te prema podacima o proizvodnji piva iz literature. Logičke sheme proizvodnje piva prikazane su na slikama 2. i 3. Sheme su napravljene pomoću online aplikacije "diagrams.net". Sheme nude prikaz slijeda operacija u proizvodnji piva, kao i korištenje nusproizvoda poput rekuperiranog ugljikovog dioksida za održavanje pritiska u tanku i korigiranja koncentracije ugljikovog dioksida u procesima stabilizacije i punjenja ili bioplina dobivenog iz pivarskog tropa koji služi za dobivanje pare u parnim kotlovima.

## 4.2. REZULTATI

U tablici 4. se prati vrijeme koje je potrebno da se u ambalažu istoči serija od 4000 hL piva. Ambalaža su staklene boce zapremnine 0,5 L. Ovdje u obzir su nije uzeto vrijeme pripreme sirovina, samo kuhanje te vrijeme vrenja i odležavanja piva koje ukupno traje 18 do 26 dana.

Tijekom proizvodnje piva, pojedini procesi se događaju usporedno, poput pripremanja, vaganja i meljave slada. Također se tijekom odležavanja piva obavljaju procesi filtracije ili bistrenja pomoću centrifugalnog separatora, nakon čega se pivo vraća na odležavanje i stabilizaciju. U obzir prilikom izračunavanja vremena potrebnog za jednu seriju piva se uzima činjenica da se svakodnevno proizvodi nova serija i da se istače serija proizvedena prije, koja je prošla sve procese vrenja, bistrenja, odležavanja, pasterizacije i slično. Ukoliko bi se u obzir uzimalo i vrijeme vrenja te odležavanja, vrijeme potrebno za seriju piva bilo bi 684 sati.

Ukupno vrijeme rada linije je 120 sati, odnosno radni tjedan od 5 dana s 3 smjene od po 8 sati. U neplanirano vrijeme se ubrajaju zastoji zbog mogućeg nedostatka ili nepripremljenosti materijala poput ambalaže ili etiketa, grešaka u rukovanju poput kašnjenja s pojedinim procesima na liniji za punjenje, primjerice spajanja na tankove s pivom ili čišćenja linije. Vrijeme čekanja podrazumijeva vrijeme pranja linije koje se odvija svaki put kada se isprazni tank ili kada se iz nekog razloga prekine s punjenjem. U vrijeme čekanja također spada vrijeme potrebno da se linja podesi za rad te pauze radnika. U vrijeme proizvodnje spada vrijeme u kojem se pivo puni u ambalažu. Vrijeme održavanja uključuje vrijeme potrebno da se uklone eventualni kvarovi ili redovne servise.

Broj proizvoda na 4000 hL je 800 000, pri čemu se očekuje 1% proizvoda nezadovoljavajuće kvalitete, bilo zbog nedovoljnog sadržaja piva u boci, neodgovarajućeg etiketiranja boce ili greške kod stavljanja zatvarača.

Pivo se istače iz tlačnih tankova zapremnine 500 hL te za isprazniti tank potrebno 10 sati ukoliko se toči kapacitetom od 50 hL h<sup>-1</sup>. Nakon istakanja tanka, potrebno je oprati liniju za punjenje i cijevi, što obično traje 3 sata. Za vrijeme pranja linije i cjevovoda, obavljaju se poslovi pripreme za sljedeću seriju punjenja.

AE (engl. *availability efficiency*), odnosno učinkovitost dostupnosti je omjer vremena neprekidnog rada opreme i ukupnog vremena. OE (engl. *operational efficiency*), odnosno učinkovitost operativnosti je omjer vremena proizvodnje i vremena neprekidnog rada opreme. RE (engl. *rate efficiency*) predstavlja učinkovitost brzine proizvodnje te je omjer teoretskog vremena za proizvodnju jedne proizvodne jedinice i ukupnog vremena proizvodnje. QE (engl. *quality efficiency*), odnosno učinkovitost kvalitete je omjer teoretskog vremena proizvodnje učinkovite jedinice i teoretskog vremena za proizvodnju jedne proizvodne jedinice (De Ron i Rooda, 2006).

Umnožak ovih četiriju koeficijenata daje vrijednost OEE:

$$OEE = AE \cdot OE \cdot RE \cdot QE \quad [14]$$

Tablica 4. prikaz vremena tjedne proizvodnje od 4000 hL piva

	<b>Seriya A</b>	<b>Seriya B</b>
<b>Ukupno vrijeme</b>	120 h	120 h
<b>Neplanirano vrijeme</b>	0 h	0 h
<b>Vrijeme čekanja</b>	34 h	32 h
<b>Vrijeme proizvodnje</b>	80 h	80 h
<b>Vrijeme održavanja</b>	0 h	3 h
<b>Ukupno neplanirano vrijeme zastoja</b>	6 h	5 h
<b>Teorijsko vrijeme potrebno za jedinični proizvod</b>	80 h / 800 000 0,0001 h	80 h / 800 000 0,0001 h
<b>Maksimalni broj proizvoda po satu</b>	10 000 h <sup>-1</sup>	10 000 h <sup>-1</sup>
<b>Broj proizvoda</b>	800 000	800 000
<b>Broj proizvoda dobre kvalitete</b>	796 000	790 400

Tablica 4. prikazuje raspored vremena tijekom radnog tjedna na liniji za punjenje piva u boce. Tablica sadrži podatke o vremenu koje se utroši na proizvodnju, planirane zastoje, neplanirane zastoje, čekanje te broj proizvoda koji zadovoljavaju standarde kvalitete i one koji ih ne zadovoljavaju. Na temelju podataka o dvjema serijama punjenja piva, koji se odnose na 2. tjedna proizvodnje izračunat je OEE za liniju za punjenje piva.

Tablica 5. vrijednosti AE, OE, RE, QE te OEE u dvjema serijama piva

	<b>Seriya A</b>	<b>Seriya B</b>
<b>AE</b>	0,950	0,958
<b>OE</b>	0,702	0,696
<b>RE</b>	1	1
<b>QE</b>	0,995	0,988
<b>OEE</b>	<b>0,664</b>	<b>0,659</b>

Tablica 5. sadrži izračunate vrijednosti AE, OE, RE, QE te OEE za liniju za punjenje piva u boce tijekom 2 tjedna. OEE je izračunat prema podacima iz tablice 5. Dobiveni rezultati ukazuju da je OEE od 66,4 % u seriji A i 65,9 % značajno niži od željenih 85 %. Postizanje željene vrijednosti OEE, u ovim slučajevima se može postići poboljšanjem OE vrijednosti, koja predstavlja omjer vremena proizvodnje i vremena neprekidnog rada opreme.

Povećanje OEE do željene vrijednosti se može postići edukacijom i uvježbavanjem operatera koji vode strojeve, njihovim uključivanjem u procese i u organiziranje. Također, poboljšanja se postižu i optimiziranjem organizacije rada linije kako bi ona radila na najučinkovitiji način. Komunikacija je također vrlo bitna te je potrebno osmisliti i organizirati komunikacijski sustav u koji su uključeni operatori strojeva, radnici te supervizori, a sustav mora omogućiti brz i pouzdan tok informacija kako bi se u slučaju problema ili kvara moglo pravovremeno reagirati. Uz poboljšanja u vidu osposobljavanja osoblja, edukacije te komunikacije i organizacije proizvodnje, potrebno je poboljšati i samu učinkovitost proizvodnje. Prvenstveno je važno stvoriti sustav nadzora i praćenja kako bi se mogla utvrditi uska grla u proizvodnji. Kada se utvrde mjesta zastoja ili usporavanja proizvodnje, potrebno je uvesti poboljšanja poput novih alata koji pridonose povećanju proizvodnih mogućnosti. Također, kraće vrijeme prebacivanja strojeva na druge proizvode znatno utječu na produktivnost (Aragón i McDonnell, 2015).



Konkretno, u slučaju prehrambene industrije, postoje 4 koraka koji vode ka poboljšanju cijelog proizvodnog procesa, a to su:

- Praćenje kritičnih mjera u performansama uvođenjem OEE softvera mogu se konstantno mjeriti performanse strojeva u proizvodnim procesima te se u realnom vremenu može utvrditi gdje se performanse poboljšavaju, gdje se pogoršavaju, a gdje stagniraju. U prehrambenoj industriji je prilično teško pratiti OEE zbog velikog broja linija te česte šaržne proizvodnje. Stoga se najčešće prate ključni indikatori izvedbe (*engl. Key Performance Indicators- KPI*), ovisno o potrebama i ciljevima tvrtke. Najčešći ključni indikatori izvedbe koji se prate su: izvedba, koja podrazumijeva odnos stvarne brzine proizvodnje i optimalne brzine proizvodnje, dostupnost, koja je stvarno vrijeme proizvodnje u odnosu na ukupno operativno vrijeme, kvaliteta koja je odnos dobrih proizvoda i ukupnog izlaza proizvoda te prinos koji je odnos broja dobrih proizvoda i onih proizvoda koje treba preraditi kako bi bili dobri za prodaju.
- Podešavanje u stvarnom vremenu, koja su od ključne važnosti zbog jedinstvenih ograničenja prehrambene industrije. Materijali i proizvodi se često ne mogu preraditi ukoliko nisu dobro napravljeni, a faktori poput rokova valjanosti samo otežavaju moguće radnje da se materijali ili proizvodi prerade. Iz tog razloga je vrlo važno da se proizvodnju može nadgledati i utjecati na nju u stvarnom vremenu u slučaju problema kako bi se izbjegli veliki materijalni gubici.
- Povećanje izvedbe opreme, čemu doprinosi OEE softver koji precizno određuje zapreke ili zacinjanja u proizvodnji te se može reagirati i ukloniti ih. Takve zapreke su najčešće kvarovi na opremi koji mogu, osim što smanjuju učinkovitost, uzrokovati i druge probleme u daljnjim procesima. Korištenje podataka koji se prikupljaju za praćenje OEE pomaže u određivanju učinkovitog rasporeda zastoja zbog održavanja strojeva ili čišćenja.
- Kontinuirano poboljšavanje i okruženje s konstruktivnom konkurencijom dovode do povećanja produktivnosti, bolje kvalitete proizvoda s manjim udjelom proizvoda koje treba preraditi ili popraviti, ubrzavanje proizvodnje te više prinose te smanjenja troškova (Donica, 2021).

Uz poboljšanje OEE vrijednosti opreme, važno je unaprijediti cijelo poslovanje tvrtke i kontinuirano raditi na povećanju održivosti proizvodnje. Iako se poboljšanje sigurnosti, proizvodnih procesa te recikliranja smatraju zasebnim procesima, oni se kroz LEAN proizvodnju sjedinjuju u jedan proces. Cilj je ostvariti proizvodnju sa minimalnom količinom otpada, čime se maksimalno povećava profit. Osim otpada, prijevoz je važna stavka u poslovanju tvrtke. Sam prijevoz ne dodaje nikakvu vrijednost samom proizvodu, a predstavlja veliki trošak. Važno je racionalizirati prijevoz, kako gotovog proizvoda, tako i sirovina za proizvodnju pa i otpada, zbog čega je bitno da se čim više otpada iz proizvodnje reciklira (Kezia i sur., 2017).

#### 4.3. GUBICI U PROIZVODNJI

Kako bi se poboljšala ukupna učinkovitost opreme, potrebno je usredotočiti se na glavne gubitke tijekom proizvodnje te pronaći načine kako bi se smanjili. Ovisno o vrsti industrije, postotak gubitaka koje ona stvara se razlikuju. Tako primjerice, industrija hrane i pića proizvodi 36 % gubitaka, mehanička industrija 52 %, industrija polimera, odnosno industrija gume i plastike proizvodi 65 % gubitaka dok ostale automatizirane industrije proizvode 34 % gubitaka (Cheh, 2014).

Ovisno o vrsti hrane koja se proizvodi, mogu se očekivati različite količine otpada, odnosno gubitaka. Cilj je da su oni čim manji, kako bi profit tvrtke bio veći. Neučinkovita oprema rezultira povećanjem gubitaka. Posebice su gubici veći kod proizvoda koji u svom sastavu imaju više sastojaka koji se dodaju u više koraka. To dovodi do većeg vremena zastoja zbog mogućih komplikacija, ali i zbog veće potrebe za pranjem opreme te promjena dijelova na proizvodnim linijama. Proizvodne linije moraju biti projektirane kako bi bile što je moguće više učinkovite, što znači da je cilj da budu što kompaktnije i da mogu obavljati što više funkcija (Tobe, 2016).

Na kraju proizvodnog procesa proizvodnje i punjenja postavlja se pitanje prinosa. On ovisi o gubicima tijekom proizvodnje. Gubici se prate na kraju, kada se pivo toči u boce, limenke ili bačve, zbog koraka koji prethode, a u kojima dolazi do gubitaka koje je teško pojedinačno pratiti, kao primjerice kod pretakanja, filtracije ili centrifuge ili kod samog točenja u ambalažu. U modernim pivovarama, podaci se prikupljaju elektronski i dostupni su u svakom trenutku. Postoji nekoliko ključnih točaka kod izračunavanja gubitaka, a to su:

- Izračun prodaje proizvedenog piva. Kako bi se izračunala količina piva koja se proda, koriste se izvješća na mjesečnoj bazi. Prema njima se pretpostavlja količina piva koja će se prodavati u nekom mjesecu, gleda se količina koja je još prisutna, a proizvedena je u tekućem mjesecu. Kako bi se mogli izraditi izračuni, potrebni su podaci o stanju prodaje koji se rade zadnji dan u mjesecu.
- Inventura skladištenog piva i pivo za prodaju. Inventura se sastoji od bilježenja kompletnih zaliha piva prema vrsti. Pivo se osim po vrstama razdvaja i po tome gdje se nalazi, tako se vodi evidencija o količinama piva na fermentaciji, odležavanju te u ambalaži.
- Gubici na volumenu, koji se izračunavaju kao razlika između volumena sladovine i dobivenog piva spremnog za prodaju. Gubici se izražavaju u postocima. Prosječni gubici se kreću između 8 % i 10 %. Do gubitaka dolazi tijekom hlađenja sladovine zbog smanjenja volumena, tijekom isparavanja, fermentacije, filtracije te punjenja.
- Izračun uporabe slada prikazan kao  $\text{kg hL}^{-1}$ . Taj parametar prati korištenje sirovine, odnosno slada i količinu dobivenog gotovog proizvoda, odnosno piva. Količina slada u kilogramima se dijeli sa količinom gotovog piva u hektolitrima. Ovaj parametar se koristi kao kontrola za operacije koje se provode u pivovari (Kunze, 2010).

Tablica 6. prikaz zastoja tijekom proizvodnog procesa s udjelima zastoja prema kategorijama

<b>Faktor</b>	<b>Gubici</b>	<b>Razlog zastoja</b>	<b>Postotak</b>
<b>Dostupnost</b>	<b>Planirani gubici</b>	Strojevi/tehnika	10 %
		Promjena smjene/ pauze	2 %
		Planirano održavanje	3 %
		Drugi planirani zastoji	2 %
		Nedostatak pribora	0 %
		Nedostatak ljudstva	0 %
		Osobno vrijeme	1%
		Problemi s vlastitim sirovinama	2 %
		Problemi s vanjskim sirovinama	1 %
<b>Ukupno</b>			21 %
<b>Dostupnost (A)</b>	<b>Neplanirani gubici</b>	Kvarovi opreme/ neplanirana proizvodnja	20 %
		Postavljanje/ prebacivanje strojeva	22 %
<b>Ukupno</b>			42 %
<b>Učink (P)</b>	Manji gubici zbog praznog hoda	Mikro zastoji	2 %
<b>Kvaliteta (Q)</b>	Defekti i popravci	Problemi kvalitete/popravci	1 %
	Nepoznati gubici	Nepoznato	34 %

Prema tablici 6. vidljivo je kako najveći zasebni dio u gubicima u vidu zastoja otpada na nepoznate zastoje, s čak 34 %. Prema udjelu u zastojima potom slijede zastoji zbog prebacivanja strojeva te mehaničkih kvarova. Dobrim planiranjem proizvodnje i raspoređivanjem proizvodnje tako da se proizvode veće serije, zbog čega je manja potreba za prebacivanjem strojeva mogu se znatno smanjiti zastoji uzrokovani prebacivanjem i namještanjem strojeva. Zastoji uzrokovani kvarovima opreme su velik problem koji se može ublažiti redovitim servisiranjem i kontroliranjem opreme. Sami strojevi uzrokuju 10 % zastoja, često zbog grešaka u upravljanju i postavkama.

#### 4.4. NUSPROIZVODI PROIZVODNJE PIVA

U proizvodnji piva dobivaju se mnogi nusproizvodi koji su se do nedavno smatrali otpadom te su za proizvođača predstavljali trošak u vidu zbrinjavanja ili gubitaka. U nusproizvode pivarske industrije ubrajamo: klice ječmenog slada, pivski trop, iskorišteni hmelj, kvasac te ugljikov dioksid.

- Klice ječmenog slada nastaju prilikom proizvodnje slada te na 100 kg proizvedenog slada nastane 4 do 5 kg klica. Klice sadrže visok udio proteina (20- 25 %), pepeo (6- 7 %), vlakna (12- 15 %). Također, klice sadrže i znatne količine vitamina B i E, te provitamine A i D (Šakić, 2005).

- Pivski trop je najznačajniji nusproizvod pivarske industrije, a dobiva se nakon cijedenja. Trop se sastoji od opne zrna, pljevice, aleuronskog sloja, klice i endosperma. Pivski se trop obično koristi za ishranu stoke, ali se može koristiti i u ljudskoj ishrani (Šakić, 2005). Na 100 litara nastaje 20 kg pivskog tropa. Manje pivovare svoj trop prodaju farmerima za ishranu stoke, ali velike pivovare to ne mogu zbog prevelikih količina tropa pa im njegovo zbrinjavanje predstavlja veliki logistički problem. Iz toga razloga uloženo je mnogo napora u istraživanje kako zbrinuti nastali trop ili kako od njega dobiti proizvode s dodanom vrijednošću te kako bi se osigurala održiva uporaba prirodnih resursa (Steiner i sur., 2015). Pivski trop sadrži oko : 15 % celuloze, 28 % hemiceluloze, 20 % lignina, 18 % proteina, 5 % pepela, 50 % ugljikohidrata, 11 % masti te 12 % škroba. Osim u ishrani ljudi i stoke, pivski trop se koristi i kao sirovina u biotehnologiji, sirovina za proizvodnju građevinskog materijala, proizvodnju ugljena, papira, kao adsorbens, za kompostiranje te dobivanje bioplina. U ljudskoj prehrani od pivskog tropa proizvode se keksi s visokim udjelom vlakana, a može se i dodavati u pekarske proizvode. Velike pivovare koje proizvode bioplin iz pivskog tropa to čine u vlastitim pogonima za proizvodnju bioplina u anaerobnim uvjetima te ga koriste u svrhu grijanja vode za paru i grijanje postrojenja ili prodaju pivski trop trećim tvrtkama koje proizvode bioplin (Pejin i sur., (2013), Kerby i Vriesekoop, (2017)). Iz tropa se može dobiti i hidrolizat koji se dodaje hmeljnoj sladovini kao dodatni izvor aminokiselina prije početka vrenja (Šakić, 2005).

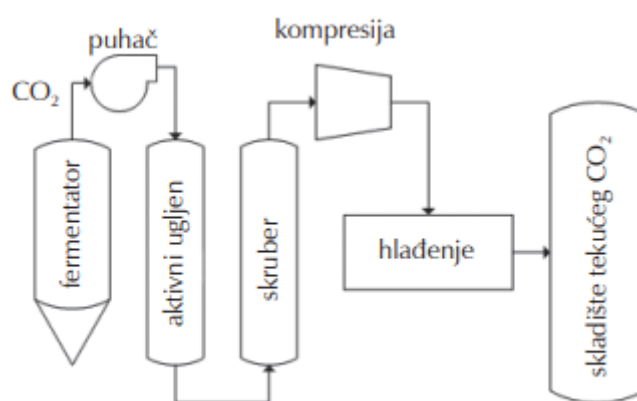
- Izdvojena kvašćeva biomasa je također nusproizvod pivarske industrije koji se može iskoristiti kako bi se dobili proizvodi s dodanom vrijednosti. Tijekom fermentacije

kvaščeva biomasa se višestruko poveća, što znači da u velikim proizvodnim sustavima predstavlja problem u vidu zbrinjavanja. Neke pivovare prodaju iskorišteni kvasac kao biomasu za ishranu životinja kao izvor proteina i vitamina topljivih u vodi. Također, zbog svog sadržaja proteina i vitamina, kvasac se koristi i u ljudskoj prehrani u obliku dodataka prehrani, kao što su proteinski izolati (Kerby i Vriesekoop, 2017). Pivovara koja ima godišnju proizvodnju od 500 000 hl može proizvesti i do 100 000 kg suhog kvasca. Suhi kvasac sadrži oko 5- 13 % proteina, do 6 % lipida te 24- 52 % ugljikohidrata. Uz to, sadrži i velike količine vitamina B-kompleksa. Dio izdvojenog kvasca se nakon fermentacije pohranjuje u hladnim komorama za sljedeću inokulaciju. Osim u ljudskoj prehrani, pivski kvasac se može koristiti i u pekarskoj industriji do 2 % udjela. U farmaceutskoj industriji, kvasac se koristi za proizvodnju ergosterola, vitamina B, nukleinskih kiselina te aminokiselina (Šakić, 2005). Pivski kvasac se može koristiti kao izvor funkcionalnih spojeva poput  $\beta$ -glukana i manoproteina, kao sastojak pojačivača okusa, zamjena za meso te sirovina za proizvodnju bioplina (Jaeger i sur., 2020).

- Iskorišteni hmelj zauzima najmanji udio u ukupnoj količini nusprodukata, jer ga se najmanje dodaje tijekom proizvodnje. Ipak, samo 15 % dodanog hmelja ostaje u pivu, dok je 85 % otpad. Iskorišteni hmelj sadrži 23 % proteina, 4,5 % proteina, 6,5 % pepela, 26 % vlakana te 40 % spojeva koji ne sadrže dušik. U hmelju koji se izdvaja iz vrućeg uvarka procesom centrifugiranja nalazi se 20-30 % spojeva poput polifenola i minerala. Kod hmelja koji se izdvaja iz već ohlađenog piva, sastav hmelja je nešto drugačiji pa se tako u tom hmelju nalazi 15-25 % polifenola te 20-30 % ugljikohidrata velike molekulske mase. Zbog gorčine, hmelj se ne koristi u ishrani životinja, ali se može iskoristiti kao gnojivo zbog spojeva s dušikom. Iz iskorištenog hmelja se mogu ekstrahirati visoko vrijedni spojevi poput: okusa arome, pektina, ili organskih kiselina (Mussatto, 2009).

- Ugljikov dioksid koji nastaje kao sporedni produkt alkoholne fermentacije tijekom glavnog vrenja piva je visoke čistoće, do 99,97 %. Odvijanjem glavnog vrenja u zatvorenim tankovima se dobiju veće količine ugljikovog dioksida. Na 1 hl piva, dobije se oko 4 kg ugljikovog dioksida. Ugljikov dioksid dobiven iz vrenja se u pivovari može iskoristiti za postizanje kontrapritiska u tanku tijekom prepumpavanja na odležavanje u konusne tankove ili kao zaštita od doticaja piva sa zrakom (Slika 4.). Punjenje piva u

boce, limenke ili bačve se vrši pod pritiskom ugljikovog dioksida ( $280 \text{ g CO}_2 \text{ hL}^{-1}$  piva). Također, ugljikov dioksid se može koristiti za neutralizaciju natrijeve lužine, gdje je za neutralizaciju 1 kg natrijeve lužine potrebno 1,34 kg ugljikovog dioksida (Šakić, 2005). Rekuperacija ugljikovog dioksida koji nastaje tijekom glavnog vrenja uvelike ovisi o opremi koja se koristi, no znatno rekuperacija ugljikovog dioksida utječe na smanjenje troškova i pridonosi ekološkoj proizvodnji. Ugljikov dioksid se može hvatati i skladištiti u zatvorenim spremnicima te se kasnije koristiti u procesu karbonizacije. Korištenje tehnologije za rekuperaciju je pogodno za velike, male i srednje pivovare, a sama investicija se isplati već za 2 do 3 godine (Matijašević, 2015).



Slika 4. Shematski prikaz postrojenja za rekuperaciju CO<sub>2</sub> (Matijašević, 2015)

#### 4.4.1. Proizvodnja bioplina iz pivskog tropa

Pivarska industrija generira velike količine nusproizvoda i otpada, poput otpadne vode, viška kvasca te u najvećoj mjeri pivskog tropa. Ukoliko se ti nusproizvodi i otpad ne koriste u neke druge svrhe, mogu se koristiti kao sirovina za proizvodnju bioplina koji će se koristiti kao gorivo u pivovari. S obzirom na rastuću cijenu plina i na potrošnju u pivarskoj industriji, koja se kreće između 20 i 40 litara plina na litru piva, isplati se koristiti obnovljive izvore energije, poput bioplina dobivenog iz otpada poput tropa. Anaerobnom biološkom razgradnjom tropa kao sirovine za dobivanje bioplina može se dobiti do 120 litara bioplina po kilogramu tropa. Dobiveni bioplin sadrži oko 66 % metana. Proizvodnjom bioplina anaerobnom digestijom mogu se postići značajne

uštede u vidu troškova energenata, jer se čak 20 % plina može zamijeniti metanom dobivenim ovom metodom. Napretkom u istraživanjima uočeno je kako uštede mogu biti i veće ukoliko se na isti način koristi i otpadna voda iz pivovare (Panjičko i sur., 2015). Dobiveni bioplin se koristi uglavnom za dobivanje pare koja se koristi za ukomljavanje i kuhanje piva, pasterizaciju ili pak za grijanje pivovare. Također, bioplin se može koristiti i za dobivanje električne energije.

#### 4.4.2. Integracija solarnog sustava

Usljed nastojanja da se troškovi proizvodnje maksimalno smanje te da se pri tome i emisija svede na najmanju moguću mjeru, pivarska industrija je počela pribjegavati rješenjima poput uporabe solarne energije. Pivovare solarnu energiju mogu koristiti kao izvor električne energije ili kao sustav za predgrijavanje vode. Većina procesa u pivarstvu ne zahtjeva temperature više od 100 °C pa se tako solarni kolektori mogu koristiti za zagrijavanje vode kako bi se uštedjelo na korištenju plina. Solarno grijanje vode najpogodnije je za procese ukomljavanja, pasterizacije ili grijanja vode za pranje primjerice boca ili kašeta. Postoje primjeri u svijetu, poput pivovare Wieckse, the Netherlands, koja je ugradnjom 3600 m<sup>2</sup> solarnih panela pokrila svoju potrebu za električnom energijom ili pivovara Valencia koja je ugradnjom 2835 m<sup>2</sup> sunčevih kolektora osigurala grijanje vode za pasterizaciju boca na temperaturi od 55 °C, 40 000 boca h<sup>-1</sup> (Matijašević,2015). Solarni kolektori su odličan izvor energije zbog sljedećih karakteristika:

- Prikupljena energija se može direktno koristiti u procesima
- To je čista energija koja ne pridonosi "efektu staklenika"
- Nizak trošak i brz povrat investicije
- Lako se postavljaju i integriraju u postojeće sustave (Hauner i sur. 2017).



#### 4.4.3. Načini izbjegavanja gubitaka u proizvodnji

Gubici piva znače i ekonomske gubitke za pivovaru, stoga se ulažu napori kako bi se ti gubici smanjili na najmanju moguću mjeru. Gubici nastaju u tankovima i cjevovodima, svim mjestima gdje dolazi do curenja ili kapanja. Ukoliko na nekom mjestu dolazi do kapanja sladovine ili piva i kapanje se odvija tempom od jedne kapljice na minutu, što je otprilike 0,05 ml, kroz godinu dana to iznosi više od 1500 litara, što nije zanemariv gubitak, a nije opravdan nikakvom tehnološkom operacijom. Također, gubici su mogući tijekom fermentacije, ukoliko je tank previše napunjen, jer dolazi do pjenjenja sladovine pri čemu ona izlazi iz tanka, što je također nepotreban gubitak (Kunze, 2010). Do gubitaka dolazi i tijekom punjenja piva u ambalažu, bila to staklena, metalna ili plastična ambalaža. Ukoliko strojevi za punjenje nisu dobro podešeni događa se da u ambalaži nije odgovarajuća količina piva, te kao takvo ne može ići u prodaju. Toleriraju se gubici do maksimalno 1,5 %.

Tablica 7. prikazuje najčešće uzroke zbog kojih uređaji u pivovari mogu biti neraspoloživi te njihove OEE vrijednosti. Uglavnom su razlozi neraspoloživosti kvarovi koji se mogu u velikom broju slučajeva spriječiti redovnim servisiranjem. Također, strojevi mogu biti nedostupni i zbog čišćenja, koje zauzima važno mjesto u prehrambenoj industriji. Razlog nedostupnosti strojeva može biti nedostatak sirovina, no to je rijedak slučaj koji se maksimalno nastoji izbjeći.

Tablica 7. razlozi zastoja strojeva u pivovari te njihove OEE vrijednosti

<b>UREDAJ</b>	<b>Razlog zastoja</b>	<b>OEE</b>
<b>1. Elevatori slada</b>	Kvar pogonskog motora/trake	59 %
<b>2. Protočna vaga za mjerenje rasutog tereta</b>	Kvar pogonskog motora/trake	68 %
<b>3. Mlin čekićar</b>	Mehanički kvar/ nedostatak slada	60 %
<b>4. Distribucija obrađene vode-pumpe</b>	Kvar na pumpi	70 %
<b>5. Parni kotao</b>	Kvar, servis	75 %
<b>6. Komovnjak</b>	Servis, kvar, sanitacija	60 %
<b>7. Kotao sladovine</b>	Servis, kvar, sanitacija	60 %
<b>8. Whirpool</b>	Servis, kvar, sanitacija	73 %
<b>9. Pomoćne pumpe</b>	Kvar, sanitacija	78 %
<b>10. Elevatori otpadnog tropa</b>	Kvar	65 %
<b>11. Hladnjak mladog piva</b>	Kvar, servis, sanitacija	70 %
<b>12. Pumpe za pivo</b>	Kvar, sanitacija	68 %
<b>13. Pumpe za kvasac</b>	Kvar, sanitacija	67 %
<b>14. Kvaščara-biopropagator, propagator</b>	Sanitacija	80 %
<b>15. Hladnjak sladovine</b>	Kvar, sanitacija	61 %
<b>16. Centrifuga kvasca</b>	Kvar, sanitacija	63 %
<b>17. Hladnjak kvasca</b>	Kvar, sanitacija	70 %
<b>18. Otplinjavanje vode</b>	Kvar	86 %
<b>19. Protočni pasterizator</b>	Kvar, sanitacija	63 %
<b>20. Linija za punjenje boca</b>	Kvar, sanitacija, servis	65 %
<b>21. Rashlada</b>	Kvar, servis	91 %

## 5. ZAKLJUČCI

1. Ukupna učinkovitost opreme (engl. *Overall Equipment Effectiveness*- OEE), je pojam koji se koristi kao pokazatelj iskorištenosti uređaja. U procesu proizvodnje piva, vrijednost OEE koja se nastoji postići je 85 %, pri čemu učinkovitost (P) mora iznositi barem 95 %, dostupnost (A) također mora biti barem 95 % te kvaliteta (Q) mora biti 99 %. Na primjeru linije za punjenje prikazane su OEE vrijednosti od 66,4 % i 65,9 %, što su znatno niže vrijednosti od željene.
2. U radu su prikazane mogućnosti unaprijeđena procesa proizvodnje piva, te izračuni materijalne i energetske bilance. Također pokazano je da uvođenjem senzora i praćenjem proizvodnje, moguće unaprijediti proizvodnju.
3. Povećanje OEE do željene vrijednosti se može postići: edukacijom i uvježbavanjem operatera strojeva, uspostavom sustava nadzora, kvalitetnim sustavom komunikacije koja omogućuje brzo donošenje odluka i reakcije u slučaju problema, optimiranjem vremena prebacivanja i pranja strojeva, uvođenje novih alata koji povećavaju proizvodne mogućnosti.
4. Četvrta industrijska revolucija temelji se na potpuno automatskoj i umreženoj industrijskoj proizvodnji koja uključuje prikupljanje i analizu velikog broja podataka te njihovog pohranjivanja i interpretacije, čime se stiče uvid u učinkovitost cjelokupnog sustava proizvodnje. Takav sustav predstavlja viziju budućnosti, sa svrhom poboljšanja kvalitete, učinkovitosti i konkurentnosti tvrtke.
5. *Internet of Things* je sustav koji omogućuje skupljanje podataka te tehnike za njihovu analizu daju informacije bitne za povećanje učinkovitosti kompanije te konkurentnosti na tržištu. Važan segment cijelog sustava industrije 4.0 i Internet of Things je mogućnost pohranjivanja i analize velikih podataka (*Big Data analysis*) u "oblaku" (*Cloud*) te njihova dostupnost putem internetske mreže u svakom trenutku bilo gdje u svijetu, što je dovelo do razvoja takozvane "proizvodnje u oblaku" (*Cloud manufacturing*), na čemu se zasniva razvoj pametnih tvornica.
6. Prednosti uvođenja sustava za praćenje učinkovitosti su: povećana učinkovitost zbog konstantnog praćenja i analize podataka, povećanje kvalitete zbog primjećivanja defekata u proizvodnji, manji troškovi zbog optimiranja proizvodnje te povećana sigurnost i održivost.

7. U prehrambenoj industriji pojam održivosti predstavlja veliku važnost zbog velikih količina otpada u lancu nabave, samoj proizvodnji, distribuciji i povratu proizvoda. Zbog tih gubitaka, koji predstavljaju ekonomske gubitke, neophodno je okrenuti se novim tehnologijama koje bi pomogle osigurati što je moguće manje gubitaka i što je moguće veću učinkovitost sustava. Mogućnost automatskog praćenja procesa i brzog reagiranja u slučaju problema povećava učinkovitost samog sustava i smanjuje gubitke tijekom proizvodnje.
8. U održivom sustavu proizvodnje hrane nastoji se smanjiti količina otpada i potrošnja energije. Na primjeru proizvodnje piva prikazano je kako se implementacijom solarnih sustava za dobivanje električne energije te grijanje vode znatno smanjuje potrošnja energije. Također, korištenje nusproizvoda poput rekuperiranog ugljikovog dioksida ili bioplina iz pivarskog tropa znatno smanjuje ugljični otisak tvrtke.

## 6. LITERATURA

Anonimno 1. Shematski prikaz OEE. Scanmes. Područja djelatnosti.

Aragón, M. V. D. L. F., McDonnell, L. R. (2015). Implementing a lean production system on a food company: a case study. *International Journal of Engineering Management and Economics*, **5**(1/2), 129.

Arora, N., K., Mishra, I. (2019) United Nations Sustainable Development Goals 2030 and environmental sustainability: race against time. *Environmental Sustainability*. **2**, 339–342.

Branska, L., Pecinova, Z., Patak, M. (2016) Applying the Total Productive Maintenance Principle to Improve the Maintenance System in a Food Company. *3rd International Multidisciplinary Scientific Conference on Social Sciences and Arts*. **3**, 729-736.

Burke, R., Mussomeli, A., Laaper, S., Hartigan, M., Sinderman, B. (2017) The smart factory Responsive, adaptive, connected manufacturing. Deloitte Services LP, <<https://www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/industry-4-0/smart-factory-connected-manufacturing.html>> Pristupljeno 17.06.2021.

Cheh, K. (2014) Analysis of Overall Equipment Effectiveness (OEE) within different sectors in different Swedish industries. School of Innovation, Design and Engineering, Mälardalen University, Box 325, SE-631 05 Eskilstuna, Sweden

Corallo, A., Latino, M., E., Menegoli, M., (2018) From Industry 4.0 to Agriculture 4.0: A Framework to Manage Product Data in Agri-Food Supply Chain for Voluntary Traceability. World Academy of Science, Engineering and Technology *International Journal of Nutrition and Food Engineering*, **12**, 5

De Ron, A. J., & Rooda, J. E. (2006). OEE and equipment effectiveness: an evaluation. *International Journal of Production Research*, **44**(23), 4987–5003.

Demartini, M., Pinna, C., Tonelli, F., Terzi, S., Sansone, C., & Testa, C. (2018). Food industry digitalization: from challenges and trends to opportunities and solutions. *IFAC-PapersOnLine*, **51**(11), 1371–1378.

Demir, Y., & Istanbulu-Dincer, F. (2020). The effects of industry 4.0 on the food and beverage industry. *Journal of Tourismology*, **6**(1), 133-145.

Diagrams.net. 2005-2021 JGraph Ltd, Artisans' House, 7 Queensbridge, NN4 7BF, Northampton, England. Company #04051179. dostupno na < <https://www.diagrams.net> > pristupljeno 27.08. 2021.

Donica, T. M. (2021) Measuring OEE: Food manufacturing's path to continual improvement. Safetychain, < <https://blog.safetychain.com/oeo-food-manufacturing> > pristupljeno 31.08.2021.

Drljača, M. (2012) Koncept održivog razvoja i sustav upravljanja. *Kvalitet i izvrsnost*, **1**, 20-26, 110.

Francis, L. (2017) The Carbon Footprint of Beer. Sestra, <<https://www.sestrasystems.com/carbon-footprint-beer/>> Pristupljeno 06.08.2021.

Gröger, C. (2018). Building an Industry 4.0 Analytics Platform. *Datenbank-Spektrum*, **18**(1), 5–14.

Hao, Y., & Helo, P. (2015). The role of wearable devices in meeting the needs of cloud manufacturing: A case study. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, **45**, 168–179.

Hauner, M., Eichhorn, K., Vearasilp, S., Thanapornpoonpong S., Changrue, V. (2017) Use and applications of solar heat in the malting and brewing industry – A review. *BrewingScience*. **73**, 6-17.

Hozdić, E. (2015). Smart factory for industry 4.0: A review. *International Journal of Modern Manufacturing Technologies*, **7**(1), 28–35.

Hrbić, R., Grebenar, T., (2021) Procjena spremnosti hrvatskih poduzeća na uvođenje tehnologija I4.0. Hrvatska narodna banka, Zagreb.

Ihuezze, C., U-Dominic, C. (2018). Maximizing Overall Equipment Effectiveness in a Food Processing Industry: A Case Study. *Archives of Current Research International*, **11**(4), 1-10.

Jaeger, A., Arendt, E. K., Zannini, E., & Sahin, A. W. (2020). Brewer's Spent Yeast (BSY), an Underutilized Brewing By-Product. *Fermentation*, **6**(4), 123.

- Kezia, P., Shravan Kumar, K., Krishna Sai B., L., N. (2017) Lean manufacturing in food and beverage industry. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*. **8**, 168-174.
- Kerby, C., Vriesekoop, F. (2017). An Overview of the Utilisation of Brewery By-Products as Generated by British Craft Breweries. *Beverages*, **3**(4), 24.
- Khan, P. W., Byun, Y.-C., & Park, N. (2020). IoT-Blockchain Enabled Optimized Provenance System for Food Industry 4.0 Using Advanced Deep Learning. *Sensors*, **20**(10), 2990.
- Kunze, W. (2010) *Technology Brewing & Malting*. 4. izd. VLB Berlin, Berlin.
- Lachance, E., A. (2020) How Industry 4.0 Technologies Have Transformed Industrial Growth and Production in the Food Industry. Worximity, [https://blog.worximity.com/en/industry-4\\_0/how-industry-4.0-technologies-have-transformed-industrial-growth-and-production-in-the-food-industry](https://blog.worximity.com/en/industry-4_0/how-industry-4.0-technologies-have-transformed-industrial-growth-and-production-in-the-food-industry) pristupljeno 15.06.2021.
- Lazim, H., M., Salleh, M., N., Subramaniam, C., Othman, S., N. (2013) Total Productive Maintenance and Manufacturing Performance: Does Technical Complexity in the Production Process Matter?," *International Journal of Trade, Economics and Finance* **4**, (6) 380-383
- Matijašević, Lj. (2015) Održive tehnologije u procesima proizvodnje piva. *Zaštita okoliša, Kem. Ind.* **64** (9-10) 540–546
- Mussatto, S. I. (2009). *Biotechnological Potential of Brewing Industry By-Products. Biotechnology for Agro-Industrial Residues Utilisation*, (Singh-Nee Nigam, P., Pandey, A.) Springer, New York. 313–326.
- Oltra-Mestre, M. J., Hargaden, V., Coughlan, P., Segura-García del Río, B., (2020) Innovation in the AgriFood sector: Exploiting opportunities for Industry 4.0. *Creat Innov Manag.* 1–13
- Panjičko, M., Zupančić, D., G., Zelić, B. Anaerobic Biodegradation of Raw and Pre-treated Brewery Spent Grain Utilizing Solid State Anaerobic Digestion. *Acta Chim. Slov.* **62**, 818–827

- Pejin, J., D., Radosavljević, M., S., Grujić, O., S., Mojović, Lj., V., Kocić-Tanackov. S., D., Nikolić S., B., Djukić-Vuković A., P. (2013) Mogućnosti primene pivskog tropa u biotehnologiji. *Hem. Ind.* **67** (2) 277–291
- Rose, K., Eldrige, S., Chapin, L. (2015) The Internet of Things: An Overview. Understanding the Issues and Challenges of a More Connected World. Internet Society, Geneva.
- Roy, P., Nei, D., Orikasa, T., Xu, Q., Okadome, H., Nakamura, N., & Shiina, T. (2009). A review of life cycle assessment (LCA) on some food products. *Journal of Food Engineering*, **90**(1), 1–10.
- Singh, R., Shah, D. B., Gohil, A. M., & Shah, M. H. (2013). Overall Equipment Effectiveness (OEE) Calculation - Automation through Hardware & Software Development. *Procedia Engineering*, **51**, 579–584
- Slavina, T. (2017) Model of Integrated System for monitoring and increasing availability and efficiency of production equipment, MOTSP 2017 - 9th International Scientific Conference.
- Steiner, J., Procopio, S., & Becker, T. (2015). Brewer's spent grain: source of value-added polysaccharides for the food industry in reference to the health claims. *European Food Research and Technology*, **241**(3), 303–315.
- Šakić, N. (2005) Tehnologija proizvodnje piva. Gospodarska komora Federacije Bosne i Hercegovine, Sarajevo.
- Thomas, A., Haven-Tang, C., Barton, R., Mason-Jones, R., Francis, M., & Byard, P. (2018). Smart Systems Implementation in UK Food Manufacturing Companies: A Sustainability Perspective. *Sustainability*, **10**(12), 4693.
- Tobe, F. (2016) Minimizing production losses in the food and beverage industry. Design World, <<https://www.designworldonline.com/minimizing-production-losses-food-beverage-industry/>> Pristupljeno 25.07.2021.
- Trnka, A. (2014) Big data analysis. *European Journal of Science and Theology*, **10**(1), 143-148.
- Vaidya, S., Ambad, P., & Bhosle, S. (2018). Industry 4.0 – A Glimpse. *Procedia Manufacturing*, **20**, 233–238.



Wakeland, W., Cholette, S., & Venkat, K. (2011). Food transportation issues and reducing carbon footprint. *Green Technologies in Food Production and Processing*, 211–236.

## IZJAVA O IZVORNOSTI

Izjavljujem da je ovaj diplomski rad izvorni rezultat mojeg rada te da se u njegovoj izradi nisam koristio/la drugim izvorima, osim onih koji su u njemu navedeni.



---

Juraj Brcko