

# Mogućnost implementacije papirne ambalaže za pivo

---

**Uremović, Matija**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2023**

*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:235:035010>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-29**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# DIPLOMSKI RAD

**Matija Uremović**

Zagreb, 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Prof. dr.sc. Zoran Kunica

Student:

Matija Uremović

Zagreb, 2023.

**ZADATAK****SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**

Središnje povjerenstvo za završne i diplomске ispite  
Povjerenstvo za diplomске 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:	602 – 04 / 23 – 6 / 1
Ur. broj:	15 - 1703 - 23 -

**DIPLOMSKI ZADATAK**Student: **MATIJA UREMOVIĆ**

Mat. br.: 0035211224


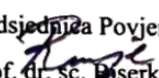
Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Mogućnost implementacije papirnate ambalaže za pivo**Naslov rada na engleskom jeziku: **The possibility of implementing paper packaging for beer**

Opis zadatka:

Posljednjih su godina značajni naponi usmjereni prema ostvarenju po okoliš neštetne, lako razgradive i biorazgradive ambalaže, posebno za proizvode koji se proizvode u vrlo velikim količinama, kao što su to pića i napitci.

U radu je potrebno:

1. objasniti značaj proizvodnje piva
2. opisati proizvod – pivo te navesti načine njegove proizvodnje, s posebnim osvrtom na ambalažu i pakiranje
3. istražiti mogućnost primjene papirnate ambalaže za pivo
4. oblikovati papirnatu ambalažu za pivo te naznačiti mogućnosti njezine implementacije u sustav proizvodnje piva.

Zadatak zadan:  
17. studenog 2022.Rok predaje rada:  
19. siječnja 2023.Predvideni datum obrane:  
23. siječnja do 27. siječnja 2023.Zadatak zadao:   
prof. dr. sc. Zoran KunicaPredsjednica Povjerenstva:  
  
prof. dr. sc. Biserka Runje

## IZJAVA

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

Želio bih zahvaliti:

- mentoru *prof. dr.sc. Zoranu Kunici* na savjetima, uloženom vremenu, primjedbama i korekcijama koje su pridonijele kvaliteti ovog rada,
- cijeloj svojoj obitelji, kolegama i prijateljima, a posebno djevojci Gabrijele na potpori, pomoći, razumijevanju te pozitivnoj energiji i optimizmu tijekom cijelog studija

U Zagrebu, 18. siječnja 2023.

Matija Uremović

## **SAŽETAK**

U ovom radu detaljno je opisan proces proizvodnje piva, s posebnim naglaskom na ambalažu za pivo. Navedene su osnovne sirovine za proizvodnju piva kao i procesi proizvodnje piva. Detaljno je opisana ambalaža za pivo, njene prednosti i nedostaci te suvremeni problemi održivosti. Naglašena je problematika plastične i metalne ambalaže za pivo u vidu stvaranja velikih količina otpada zbog neadekvatnog zbrinjavanja. Isto tako, opisana je i problematika ugljičnog otiska s kojim se sve veće pivovare danas susreću. Istražena je mogućnost primjene biorazgradive papirnate ambalaže za pivo kao rješenje suvremenih problema u pivarskoj industriji. Razmotrena je mogućnost implementacije papirnate ambalaže za pivo u postojeće punionice te zamjena plastične ambalaže papirnatom. Ponuđeno je rješenje u vidu oblikovanja biorazgradive papirnate ambalaže te njenog pakiranja za daljnji transport i skladištenje. Isto tako, opisana je linija za proizvodnju i punjenje piva u plastičnu ambalažu te su ponuđene izmjene kako bi se omogućila implementacija biorazgradive papirnate ambalaže u već postojeći sustav.

**Ključne riječi:** pivo, proizvodnja, ambalaža, održivost, biorazgradiva papirnata ambalaža

## **SUMMARY**

This paper describes in detail the process of beer manufacturing, with a special emphasis on beer packaging. Basic raw materials for beer production as well as beer production processes are listed. The packaging for the beer, its advantages and disadvantages, and the modern sustainability issues are described in detail. The issue of plastic and metal packaging for beer is highlighted in the form of large amounts of waste due to inadequate disposal. Also, the issue of the carbon footprint, that all larger breweries are facing today, is described. The possibility of using biodegradable paper packaging for beer is investigated as a solution to contemporary problems in the brewing industry. The possibility of implementation of paper packaging for beer in existing bottlers and replacing plastic packaging is considered. A solution in the form of biodegradable paper packaging and its packaging for further transportation and storage is offered. The production line for filling the beer in plastic packaging is also described and changes are offered to enable the implementation of biodegradable paper packaging in an already existing system.

Key words: beer, manufacturing, packaging, sustainability, biodegradable paper packaging

# SADRŽAJ

ZADATAK.....	I
IZJAVA.....	II
SAŽETAK.....	III
SUMMARY .....	IV
POPIS KRATICA, OZNAKA I MJERNIH JEDINICA FIZIKALNIH VELIČINA .....	VII
POPIS SLIKA .....	VIII
POPIS TABLICA.....	X
<b>1. UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2. PROIZVODNJA PIVA .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1. Pivo kao proizvod.....</b>	<b>3</b>
<b>2.2. Tehnološki procesi.....</b>	<b>4</b>
<b>2.3. Shematski prikaz proizvodnje piva .....</b>	<b>5</b>
<b>2.4. Sirovine za proizvodnju piva .....</b>	<b>6</b>
2.4.1. Voda .....	6
2.4.2. Hmelj.....	7
2.4.3. Slad.....	9
2.4.4. Pivski kvasac .....	10
<b>3. PROCES PROIZVODNJE PIVA .....</b>	<b>12</b>
<b>3.1. Tehnologija slada .....</b>	<b>12</b>
<b>3.2. Tehnologija piva.....</b>	<b>16</b>
3.2.1. Proces fermentacije piva .....	17
3.2.2. Odležavanje, separacija i pasterizacija piva.....	18
3.2.3. Punjenje piva u ambalažu.....	19
<b>4. AMBALAŽA .....</b>	<b>21</b>
<b>4.1. Uloga ambalaže .....</b>	<b>22</b>



4.2. Funkcija ambalaže .....	23
4.3. Podjela i elementi ambalaže .....	24
4.4. Odnos proizvoda i ambalaže .....	27
5. PIVO I AMBALAŽA .....	29
5.1. Staklena ambalaža .....	31
5.2. Metalna ambalaža .....	34
5.3. Plastična ambalaža.....	37
6. AMBALAŽNI OTPAD .....	40
6.1. Gospodarenje ambalažnim otpadom .....	41
6.2. Recikliranje ambalažnog otpada .....	42
6.3. Ambalažni otpad u Republici Hrvatskoj .....	42
7. PREDNOSTI I NEDOSTACI AMBALAŽE ZA PIVO .....	44
8. PRIMJENA PAPIRNATE AMBALAŽE.....	49
8.1. Primjena papirnate ambalaže za pivo.....	51
8.2. Proces proizvodnje papirnate boce za pivo .....	55
8.3. Impulsno sušenje .....	56
8.4. FORMCELL.....	59
9. KONCEPT UVOĐENJA PAPIRNATE AMBALAŽE ZA PIVO U POSTOJEĆI SUSTAV PUNIONICE PIVA .....	61
9.1. Oblikovanje biorazgradive papirnate boce za pivo i osnovni proces pakiranja 61	
9.2. Postojeći sustav za proizvodnju piva i punjenje piva u PET ambalažu .....	65
9.3. Uvođenje papirnate ambalaže u postojeći sustav punionice piva.....	69
10. ZAKLJUČAK .....	72
11. LITERATURA.....	74

## POPIS KRATICA, OZNAKA I MJERNIH JEDINICA FIZIKALNIH VELIČINA

Oznaka	Mjerna jedinica	Značenje/Opis
<i>ct</i>	s	vrijeme kontakta u procesu impulsnog sušenja
eng.		engleski
itd.		i tako dalje
KEG		bačva za pivo
<i>l</i>	mm	duljina
<i>m</i>	kg	masa
<i>P</i>	m <sup>2</sup>	površina
<i>p</i>	Pa	tlak
PEF		polietilen furanoat
PEHD		polietilen visoke gustoće
PEN		polietilen naftalat
PET		polietilen tereftalat
pr.n.e.		prije nove ere
PVC		polivinil klorid
<i>T</i>	°C	temperatura
<i>t</i>	s	vrijeme
tzv.		takozvani
<i>vt</i>	s	vakuumsko vrijeme u procesu impulsnog sušenja
$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	gustoća

## POPIS SLIKA

Slika 1. Parametri uspješne proizvodnje [5].....	5
Slika 2. Shematski prikaz proizvodnje piva [3] .....	6
Slika 3. Hmelj i češer hmelja [5].....	8
Slika 4. Ječmeni slad [6] .....	10
Slika 5. Pivski kvasac [7] .....	11
Slika 6. Kotlovi za kuhanje sladovine [3] .....	15
Slika 7. Punjenje piva u staklenu ambalažu [10] .....	20
Slika 8. Primjeri ambalaže [12].....	21
Slika 9. Primjer kreativne ambalaže [14] .....	23
Slika 10. Oksidirani (lijevo) i neoksidirani (desno) uzorak piva [17].....	27
Slika 11. Staklena boca za pivo sa čepom na vijak [18] .....	30
Slika 12. Primjeri staklene ambalaže za pivo [16] .....	31
Slika 13. Proizvodnja staklenih boca puhanjem [16].....	32
Slika 14. Staklene boce piva uložene u nosiljku [16] .....	34
Slika 15. Aluminijske limenke za pivo [14].....	35
Slika 16. 4-pack i 6-pack pakiranje piva [14] .....	36
Slika 17. Bačve za pivo od nehrđajućeg čelika zapremnine 30 i 50 litara [14] .....	37
Slika 18. Primjeri plastične ambalaže za pivo [16] .....	38
Slika 19. Shematski prikaz injekcijskog puhanja [19] .....	38
Slika 20. Udjeli sakupljene otpadne ambalaže u 2019. godini po materijalima [23].....	43
Slika 21. Prosječno učešće pivske ambalaže na tržištu Europe [24].....	44
Slika 22. Prosječno učešće pivske ambalaže na tržištu Hrvatske [24].....	45
Slika 23. Kružni tok staklene ambalaže [27].....	46

Slika 24. Strukturna formula polietilen tereftalata, PET [29] .....	47
Slika 25. Prototip papirnate boce kompanije Coca-Cola [31].....	50
Slika 26. Prototip papirnate boce za pivo grupacije Carlsberg [32].....	52
Slika 27. Papirnata boca tvrtke Paboco [33] .....	53
Slika 28. Usporedna analiza održivosti ambalaže, prema tvrtki Paboco [33].....	54
Slika 29. Konveksni i konkavni kalupi za proizvodnju zatvorenih trodimenzionalnih oblika od papirnatih masa [34].....	56
Slika 30. Testni laboratorijski uređaj za impulsno sušenje kompanije EcoXpac [34].....	57
Slika 31. Performanse sušenja [34].....	58
Slika 32. Dijagram utjecaja glavnih parametara na finalnu suhoću [34] .....	59
Slika 33. Postupci procesa tehnologije FORMCELL primijenjene prilikom izrade papirnate boce za pivo [34] .....	60
Slika 34. Koncept biorazgradive papirnate boce za pivo .....	62
Slika 35. Papirnati čep.....	62
Slika 36. Kartonska kutija s pregradama koja omogućuje smještaj 24 papirnate boce .....	63
Slika 37. Europaleta i njene dimenzije.....	64
Slika 38. Prikaz slaganja kutija na europaletu u softveru Cape Pack .....	64
Slika 39. Shematski prikaz tehnološkog procesa punjenja piva u PET ambalažu s pripadajućim strojevima i opremom [24].....	66
Slika 40. Automatizirani rotacijski stroj za puhanje PET ambalaže za pivo [36].....	67
Slika 41. Trokomorni stroj za punjenje piva u PET ambalažu [36].....	67
Slika 42. Stroj za etiketiranje PET ambalaže za pivo [36].....	68
Slika 43. Stroj za zamatanje termoskupljajućom folijom [36].....	68
Slika 44. Paletizator s robotskom rukom [36].....	69
Slika 45. (a) Kalup za oblikovanje; (b) Jezgra na napuhavanje; (c) Kalup za sušenje; (d) Oblikovana i osušena biorazgradiva papirnata boca za pivo [37].....	71

**POPIS TABLICA**

Tablica 1. Potrošnja vode u pojedinim dijelovima proizvodnje piva [4] .....	7
Tablica 2. Proizvedena količina hmelja po zemljama [4] .....	9
Tablica 3. Količine ambalaže stavljene na tržište te količine sakupljene i recikliranje otpadne ambalaže u razdoblju od 2013. do 2019. godine [23] .....	43
Tablica 4. Parametri i njihove vrijednosti prilikom eksperimentalnog ispitivanja impulsnog sušenja [34].....	58

## **1. UVOD**

Pivo je staro koliko i ljudska povijest. Najranija povijest piva usko je povezana s razvojem civilizacije i prelaskom iz kulture nomadskih lovaca i sakupljača plodova u kulturu sjedilačkih ratara i pastira. Širenjem poljoprivrede, širi se i proizvodnja piva te ga je tako u Europi moguće naći već oko 3000. godine pr.n.e., a neki povjesničari čak tvrde da je upravo ljubav prema pivu potaknula ljude da se počnu trajno nastanjivati i sijati žitarice. Prvo se pivo znatno razlikovalo od onog kakvo se danas konzumira. Bilo je gusto, skoro kašasto te je sadržavalo mnogo čvrstih i gorkih komadića koji bi preostali nakon fermentacije. Pivo se svježije jer se tada nije moglo konzervirati. Tijekom povijesti proizvodni proces i kvaliteta piva su prošli i još uvijek prolaze kroz mnogobrojne promjene.

Veliku ulogu u povijesti piva ima i njegova ambalaža. Sve do 20. stoljeća većina se piva u barovima posluživala direktno iz drvenih bačvi koje su tek tridesetih godina prošlog stoljeća zamijenjene bačvama od nehrđajućeg čelika ili aluminijske. Paralelno sa posluživanjem piva u gostionicama, počela se javljati ideja o ambalaži koja bi omogućila da se pivo konzumira i kod kuće. Tako se krajem 17. stoljeća javljaju rukom izrađene staklene boce, a razvojem mehanizacije proizvodnja staklenih boca postala je brža i jeftinija. Nakon što je staklena ambalaža osvojila srca gotovo svih zaljubljenika u pivo, tridesetih godina prošlog stoljeća pojavile su se aluminijske limenke. S obzirom da je proizvodnja limenki bila znatno jeftinija, distribucija lakša, a uporaba praktičnija, aluminijske su limenke kao nova ambalaža za pivo veoma brzo osvojile tržište. Posljednjih dvadesetak godina, pak, još jedna ambalaža osvaja tržište piva. Riječ je o PET ambalaži za koju se smatralo kako nikada neće zaživjeti, a danas je, nakon stakla, najtraženija ambalaža za pivo u svijetu.

Kako je pivo jedno od najkonzumiranijih alkoholnih pića na svijetu, sve se češće postavlja pitanje koliko je današnja ambalaža za pivo ekološki održiva, u kojoj se mjeri kvalitetno zbrinjavanje i odvajanje kako bi se mogla reciklirati te koliko njena proizvodnja utječe na emisiju stakleničkih plinova, odnosno cjelokupan ugljični otisak pivovara diljem svijeta.

Naravno, jedan od najvećih problema predstavljaju plastična i metalna ambalaža za pivo, budući da se staklena ambalaža, ukoliko se nakon uporabe bez oštećenja vrati proizvođaču, može više puta iskoristiti za točenje i ponovnu uporabu. Iako su materijali od kojih su izrađene ove dvije ambalaže pogodni za recikliranje, velik dio plastične i metalne ambalaže za pivo ne odvaja se i završava na deponijima ili još gore, u prirodi. Jasno je kako su potrebna nova rješenja koja bi usmjerila ambalažu za pivo ka održivosti. Kao jedno od glavnih rješenja nameće se papirnata ambalaža za pivo koja bi u potpunosti bila biorazgradiva te na tržište lansirana kao nova, potpuno ekološki održiva ambalaža koja će zamijeniti postojeću ambalažu za pivo. Za uvođenje papirnate ambalaže za pivo potrebna su velika ulaganja u istraživanja te ispitivanja primjena raznih tehnologija, a neki od najvećih svjetskih proizvođača piva već su na tome putu.

## 2. PROIZVODNJA PIVA

U ovom dijelu rada definirat će se važnost i značaj proizvodnje piva, tehnoloških procesa na kojima se zasniva proizvodnja te piva kao proizvoda.

### 2.1. Pivo kao proizvod

Pivo je jedno od najčešćih alkoholnih proizvoda u svijetu, a najraširenije je među muškom populacijom te je piće bez kojeg su proslave nezamislive. Dobiveno je nepotpunim vrenjem vodenog ekstrakta ječmenog ili pšeničnog slada uz dodatak hmelja te se smatra jednim od najstarijih alkoholnih pića u povijesti. To je slabo alkoholno piće koje se proizvodi u procesu alkoholnog vrenja iz slada, hmelja, vode i pivskog kvasca. Voda je glavni dio napitka, dok se slad dobiva od žitarica, najčešće od ječma i daje pivu sastojke ekstrakta o kojem ovisi punoća okusa i koncentracija osnovnog ekstrakta piva [1].

Hmelj konzervira pivo i daje mu ugodan miris, dok pivski kvasac izaziva alkoholno vrenje u kome šećer prelazi u alkohol i ugljikov dioksid. Pivo se smatra "tekućom hranom" budući da je u potpunosti prirodan i biološki uravnotežen proizvod. Energetska vrijednost jedne litre standardnog piva odgovara energetske vrijednosti jedne litre punomasnog mlijeka. [2]

Glavni sastojci piva su voda, etanol, ugljikov dioksid i neprovreli dio ekstrakta slada. Udio etanola koji se može pronaći u pivu ovisi o koncentraciji suhe tvari u sladu od koje je pivo proizvedeno i stupnju prevrenja. Udio alkohola, ovisno o pivu, može biti različit. "Bezalkoholna" piva sadrže manje od 0,5 % alkohola, dok ječmena piva sadrže više od 8 % alkohola. Lager piva sadrže blizu 0,5 % ugljikovog dioksida koji im daje svježinu te bitno utječe na pjenušavost. Stabilnost pjene ovisi o koncentraciji i kemijskom sastavu neprovrelog dijela ekstrakta, pa se pivo s više ekstrakta više pjenuše.



Trajnost pjene piva varira kod različit vrsta piva. Mjehurići ugljikovog dioksida koji se podižu s dna prema površini pomažu u održavanju pjene. Ekstrakt piva čine ugljični hidrati i manja količina proteina, aminokiselina, glicerina i sastavnih dijelova hmelja, a o sastavu ekstrakta piva ovisi i punoća okusa piva. Kemijski sastav ekstrakta ne ovisi samo o vrsti slada, nego i o načinu proizvodnje slada i vođenja fermentacije, odnosno stupnja konačnog prevrenja na kraju fermentacije. [2]

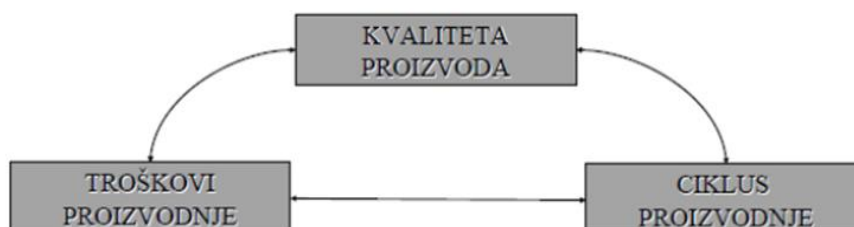
Prilikom istraživanja starih iskopina i zapisa arheolozi su utvrdili da su stari Babilonci proizvodili pivo u domaćinstvu još 7000 godina pr.n.e. Proizvodili su 16 sorti piva, a za vrenje su koristili ječmeni šećer i pšenicu. Kultura proizvodnje piva se od Babilonaca prenijela u stari Egipat, Perziju, Grčku i druge zemlje. Egipćani su upoznati sa proizvodnjom piva već 2000 godina pr.n.e. U to je doba pivo bilo proizvedeno od šećera, ali bez hmelja, stoga je dobiveni proizvod bio veoma kiseo. Iz tog su razloga u pivo bile dodavane različite trave kao što je pelin, lupin glog, šafran i ostale. Primjena hmelja za proizvodnju piva predstavlja važno otkriće i čini osnovu suvremene tehnologije proizvodnje piva. Hmelj se prvi put počeo koristiti u Novgorodskoj Rusiji. Usavršavanje parnog stroja uvelike je utjecalo na razvoj pivarstva, a najvažniji tehnički pronalazak predstavlja pronalazak stroja za hlađenje. Zahvaljujući najvažnijim znanstveno-tehničkim dostignućima u 19. stoljeću, stvorene su pretpostavke za pretvaranje malih poduzeća proizvodnje piva u velike pivovare. [1]

## 2.2. Tehnološki procesi

Svaka se proizvodnja zasniva na tehnološkom procesu o kojem ovise kvaliteta i cijena konačnog proizvoda. Tehnološki proces se realizira u proizvodnom sustavu koji sadrži radna mjesta definirana prema zahtjevima i potrebama proizvodnje. Glavna osoba zadužena za kvalitetan i ispravan tehnološki proces je tehnolog. Njegov je zadatak neprestano unaprjeđenje procesa u cilju postizanja uspjeha u proizvodnji, iz čega slijedi uspjeh u poslovanju. Nakon što provede temeljnu analizu podataka koju preuzima od konstruktora prije početka proizvodnje, odabire sirovine koje najbolje ispunjavaju zahtjeve proizvodnje. Sljedeći korak je definiranje najboljeg redoslijeda izvršavanja radnih operacija u cjelokupnom procesu i na osnovi toga podjela radnih mjesta uz dodjelu odgovarajućih alata. [3]

Budući da svaki proces nosi rizike, potrebno je pomno obaviti planiranje prije početka proizvodnje. Planiranje omogućuje odabir metoda i način na koji će svaka od njih biti

provedena tokom proizvodnje kako bi se ulazne sirovine uspješno transformirale u gotov proizvod. Uspješno planiranje rezultira proizvodnjom čiji su glavni parametri: optimalna kvaliteta, optimalni troškovi i optimalni ciklus proizvodnje. Rezultati planiranja pohranjeni su u tehnološkoj dokumentaciji koja sadrži točno definirane korake i uvjete realizacije svakog pojedinog koraka.



**Slika 1. Parametri uspješne proizvodnje [5]**

Ukupno vrijeme potrebno za izvođenje svih aktivnosti u procesu naziva se ciklus izrade te je to zbroj trajanja dva vremena. Prvo vrijeme je trajanje tehnološkog procesa, dok je drugo vrijeme trajanje svih prekidima u procesu. Pod prekidima se smatraju transport, međuskladištenje i kontrola.

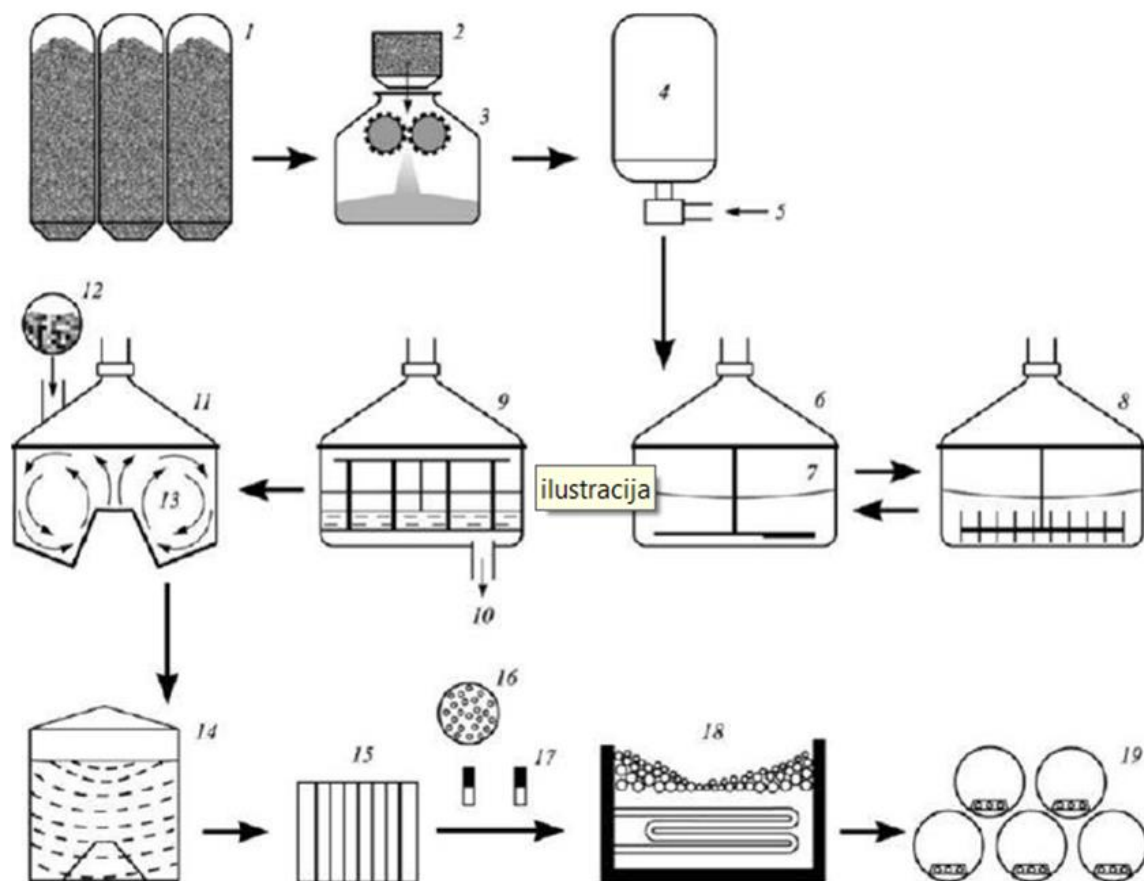
Količina proizvoda, struktura i dimenzije te njihovo ponavljanje su kriteriji koji određuju o kojem se tipu proizvodnje radi. Kriteriji su međusobno zavisni pa se ne mogu isključivati i na temelju samo jednog određivati tipovi proizvodnje. Proizvodnja može biti pojedinačna, serijska i masovna. [3]

Proizvodnja piva se svrstava u masovni tip proizvodnje, a nju karakterizira proizvodnja konstrukcijski jednakih proizvoda u velikim količinama tijekom duljeg vremenskog perioda. Trošak proizvodnje po jedinici proizvoda je vrlo mali zbog velike količine proizvoda, a visoka efikasnost je neophodna. Visoka efikasnost postiže se specijaliziranom opremom, proizvodni kapaciteti podijeljeni su na automatizirane linije, a transport se obavlja skladno s proizvodnjom. Opremu je potrebno redovito održavati kako ne bi došlo do nepotrebnih i neočekivanih zastoja u proizvodnji, a samim time i neželjenih gubitaka u poslovanju.

### 2.3. Shematski prikaz proizvodnje piva

Slika 2. prikazuje faze u proizvodnji piva. Sirovine koje su prethodno skladištene odlaze na vagu, a zatim u mlin za slad. Sladna prekupa pomiješana sa toplom vodom odlazi na hidrolizu, ukomljavanje i ošećerenje. Slatka komina nakon kuhanja postavlja se u kadu za

cijeđenje gdje se odvaja trop. Nakon toga se u kotlu za kuhanje slatkoj komini dodaje hmelj i tako nastaje sladovina. Nakon bistrenja u taložniku, sladovina se hladi te joj se dodaje kvasac i zrak. Nakon stajanja u fermentoru za glavno vrenje mlado pivo se skladišti u tankove za odležavanje.



Slika 2. Shematski prikaz proizvodnje piva [3]

## 2.4. Sirovine za proizvodnju piva

Proizvodnja piva se zasniva na alkoholnom vrenju četiri glavna sastojka, a to su voda, slad, hmelj i pivski kvasac.

### 2.4.1. Voda

Voda je osnovni dio svih napitaka te služi kao rastvarač, a ujedno je jedna od osnovnih sirovina za proizvodnju piva jer je u najvećoj količini zastupljena u finalnom proizvodu. Sastav vode koja se koristi za proizvodnju sladovine utječe na kvalitetu piva. U prirodnoj vodi

uvijek se nalazi određena količina, manja ili veća, raznih rastvorenih soli. Soli iz vode predstavljaju tek neznatan dio ekstrakta piva (0,3-0,5 g/l) te one izričito utječu na okus piva. Mineralne materije vode ne utječu toliko neposredno na okus piva, koliko posredno, svojim utjecajem na enzimske i koloidno-kemijske reakcije do kojih dolazi tokom procesa proizvodnje piva. Kvaliteta pivske vode jedan je od najvažnijih faktora kvalitetnog piva. Voda mora biti mikrobiološki ispravna, mora ispunjavati zadana mineralna svojstva te mora biti bistra, bezbojna i bez mirisa. [3]

Osim u svrhu proizvodnje piva, voda se još koristi i prilikom čišćenja i ispiranja proizvodnih linija, hlađenja sladovine, podmazivanja transportnih linija za boce itd. Zahvaljujući porastu troškova za korištenje svježije vode i za zbrinjavanje otpadne vode, pivovare su prisiljene maksimalno smanjiti potrošnju vode. Potrošnja vode u pivovari je prosječno pet do osam hektolitara na hektolitar piva. Moguće je izračunati potrošnju vode po jednom hektolitr proizvedenog piva po pojedinim dijelovima proizvodnje kako je i navedeno u tablici 1. [4]

**Tablica 1. Potrošnja vode u pojedinim dijelovima proizvodnje piva [4]**

odjel proizvodnje	hl vode / po hl piva
Pogon varionice do vrionog podruma	1.80 – 2.20
Vrioni podrum i pogon kvasca	0.50 – 0.80
Ležni podrum	0.30 – 0.60
Filtracija	0.10 – 0.50
Punionica	0.90 – 2.10
Ostala čišćenja i administracija	1.00 – 3.00
Parni kotlovi	0.10 – 0.30
Zračni kompresori	0.12 – 0.50
Ukupna potrošnja	4.90 – 12.64

#### 2.4.2. Hmelj

Hmelj se kao sirovina dodaje u vrlo malim količina te se koristi kao izvor gorkih tvari u pivu već jedno tisućljeće. No, današnji hmelj je rezultat pažljivog križanja s ciljem povećanja prinosa, udjela gorkih sastojaka (alfa kiselina) i eteričnih ulja te otpornosti na bolesti hmelja (naprimjer pepelnicu). Ima važnu ulogu u konzerviranju piva, daje pivu ugodnu aromu i

specifičan gorak okus, ali utječe i na stabilnost pjene i fiziološka i terapijska djelovanja piva. Kako bi se dobilo pivo, koriste se samo češeri hmelja. Jedan češer hmelja može razviti do pet cvjetova, dok jedna biljka hmelja može razviti do tri tisuće češera. Na slici 3. prikazana je biljka hmelja kao i njen češer. [3]



**Slika 3. Hmelj i češer hmelja [5]**

Kako bi odradio svoj posao, hmelj je prirodno opremljen brojnim spojevima. Sadrži celulozu, proteine i vodu, ali ono što se u procesu proizvodnje piva uglavnom traži su alfa i beta kiseline te eterična ulja. Najviše istražene alfa-kiseline su humulon i kohumulon. Bez pretjeranog miješanja u kemiju, humulon pruža gorak okus, dok je kohumulon zadužen za jaču gorčinu. Gorčina iz alfa-kiselina izvlači se tijekom vrenja. Što se dulje hmelju kuha, to je gorči. Alfa-kiseline dolaze do izražaja i kad je pivo izloženo svjetlosti, što vodi blago voćnom okusu. [5]

Dok se alfa-kiseline otope gotovo trenutno tokom vrenja, za raspad beta-kiselina potrebno je nešto više vremena. Beta-kiseline utječu na okus piva pri duljim periodima skladištenja i odležavanja. Eterična ulja bitna su za okus i aromu. Što se kasnije hmelj doda u vrenje, eterična ulja više utječu na okus i aromu. Kada se dodaju ranije, većina eteričnih ulja biva uništena. [5]

Hmelj se uzgaja u posebnim regijama koje imaju idealne uvjete za njegov rast. Nakon žetve, hmelj se suši kako bi se smanjio gubitak u kvaliteti sirovine. Uvjerljivo najveći proizvođač hmelja jest Etiopija, a zatim slijede Njemačka i SAD. Njima su za petama Češka i Kina, dok je Slovenija treći najveći proizvođač hmelja u Europi. U tablici 2. prikazane su proizvedene količine hmelja po zemljama.

Tablica 2. Proizvedena količina hmelja po zemljama [4]

<u>Zemlja</u>	<u>Postotni udio u svjetskoj proizvodnji</u>	<u>Količina proizvedenog hmelja 2016. Godine ( tisuća tona )</u>
Etiopija	28.3 %	40.07 t
SAD	27.9 %	39.53 t
Njemačka	22.6 %	31.97 t
Češka	5.4 %	7.71 t
Kina	4.5 %	6.43 t
Slovenija	1.8 %	2.48 t
Sjeverna Koreja	1.4 %	2.01 t
Poljska	1.4 %	2.00 t
Albanija	1.4 %	1.98 tž
Novi Zeland	0.6 %	865.00

### 2.4.3. Slad

Slad (prokljajala žitarica) je osnovna sirovina za proizvodnju piva koja se proizvodi od pivskog ječma procesom sladovanja. Slad daje pivu sastojke ekstrakta o kojem ovisi punoća okusa i koncentracija osnovnog ekstrakta piva. Sladovanje je klijanje žita u kontroliranim uvjetima iz kojeg se termičkom obradom dobiva zeleni slad koji se nakon procesa sušenja može koristiti za dobivanje piva. Slad sadrži škrob koji se u toku ukomljavanja pretvara u šećer. Nakon što kvasac pojede šećer, proizvodi alkohol i nusprodukt CO<sub>2</sub>. Dakle, kada ne bi imali slad, ne bi imali osnovni sastojak piva.

Prema vrstama žitarica koje se koriste za sladovanje imamo sljedeće sladove [6] :

- ječmeni slad
- pšenični slad
- raženi slad
- zobeni slad
- pirov slad itd.

Ječmeni slad (Slika 4.) je najiskorišteniji i glavni slad u gotovo svakom pivu. Sladovi ostalih žitarica najčešće se dodaju u manjim postocima za dobivanje posebnog okusa u pivu ili naprimjer 50-60 % pšeničnog slada kod pšeničnog piva. U svim vrstama piva, određeni

slad se koristi kao baza, tzv. bazni sladovi. Svi ostali sladovi dodaju se u manjem postotku i uglavnom je pravilo, što je slad tamniji dodaje se u manjem postotku. Tako najtamniji sladovi daju tamnu ili crnu boju piva sa svega 1 do 5 % ukupnog udjela sladova.



**Slika 4. Ječmeni slad [6]**

#### **2.4.4. Pivski kvasac**

Pivski kvasac (Slika 5.) je vrsta kvasca koja se koristi za dizanje tijesta, te za vrenje piva i vina. Latinski naziv pivskog kvasca je *Saccharomyces cerevisiae*; riječ *saccharomyces* prevodi se kao slatka gljivica jer dolazi od grčkih riječi *saccharo* (šećer) i *myco* (gljivice), dok se riječ *cerevisiae* prevodi kao pivski. Stanice pivskog kvasca koriste hranu kako bi osigurale energiju za rast. [7]

Pivski kvasac se dodaje kako bi izazvao proces alkoholnog vrenja u kojem šećer prelazi u alkohol i ugljikov dioksid. Uglavnom se koriste čiste pogonske kulture kvasaca, sa izuzecima kod proizvodnje piva koja se proizvode spontanom fermentacijom. Pivovare same pripremaju i čuvaju laboratorijske čiste kulture kvasca.



**Slika 5. Pivski kvasac [7]**



### 3. PROCES PROIZVODNJE PIVA

Osnovne operacije u procesu proizvodnje piva jesu: priprema sladovine, fermentacija, odležavanje, filtracija i punjenje. Sve te operacije sadržane su u dvije faze proizvodnje. Prva faza jest **tehnologija slada**, a druga je **tehnologija piva**.

#### 3.1. Tehnologija slada

Tehnologija slada obuhvaća sljedeće operacije:

- čišćenje i sortiranje ječma
- močenje i klijanje ječma
- sušenje zelenog slada
- poliranje.

**Čišćenje i sortiranje ječma** jest postupak u kojem se vrši čišćenje, sortiranje, mjerenje, skladištenje i transport ječma do sladare.

**Močenje i klijanje ječma** jest postupak kojim se osigurava dovoljna količina vode za klijanje, pri čemu se uklanjaju štetne gljivice sa površine zrna pa zrno nabubri od vlage. Ječam se pumpa u očišćene močionike napunjene vodom. Prije početka močenja ječam ima 15 % vlage, a nakon 48 sati namakanja na temperaturama između 10°C i 20°C vlažnost mu se povećava do 45 %. Nakon završetka faze močenja navlaženi ječam se premješta na kljajališta. Klijanje u pravilu traje sedam dana, na temperaturi od 12°C do 18°C. Osnovna uloga klijanja jest aktiviranje enzima u zrnu. Tijekom narednih tjedan dana ječam klija pa se proces umjetno zaustavlja sušenjem. Za klijanje u proizvodnji pivskog slada služe dva tipa kljajališta, a to su podna i pneumatska. [3]

Nakon što završi klijanje ječma dobiva se zeleni slad te započinje proces **sušenja zelenog slada**. Zeleni slad predstavlja sredstvo za ošećerenje prilikom proizvodnje alkohola. Temeljni razlog sušenja zelenog slada jest dobivanje aromatičnih i obojanih materija. Početna

temperatura na kojoj se suši zeleni slad jest 35°C, a ona se može mijenjati, ovisno o tipu slada koji se suši. Tokom sušenja nastaje boja koja je produkt melanoida nastalih reakcijom šećera i aminokiselina slada. Sušenje slada po fazama traje od 24 sata pa do 48 sati, ovisno o vrsti i tipu slada koji je potrebno proizvesti. Konačni cilj sušenja jest smanjenje sadržaja vlage sa 42 % na 4-5 % i osiguravanje dovoljno enzima za odvijanje tehnoloških procesa u toku ukomljavanja sirovina. [3]

Po završetku sušenja zelenog slada slijedi postupak poliranja. Prilikom poliranja osušeni slad se čisti od klica, polira i ostavlja u skladištu 21 dan. Nakon toga slad se transportira do pivovare gdje započinje proizvodnja sladovine. Manje pivovare uglavnom kupuju već pripremljen slad, dok veće imaju svoja postrojenja za klijanje i sušenje. [3]

Klasična proizvodnja sladovine u pivovari sastoji se od pet osnovnih faza, a one su:

- **drobljenje slada**
- **ukomljavanje (ekstrakcija) slada**
- **filtracija sladovine**
- **kuhanje i hmeljenje sladovine**
- **hlađenje i bistrenje sladovine.**

**Drobljenje slada** jest postupak u kojemu se slad mehanički priprema za ekstrakciju. Osnovna zadaća drobljenja slada jest olakšavanje i ubrzavanje fizičkih i biokemijskih procesa rastvaranja sadržaja zrna u toku ukomljavanja, a sve zbog maksimalno moguće pretvorbe ekstraktivnih materija u sladovinu. Drobljenje se obavlja kako bi voda lakše prodrla do zrna slada i izvršila ekstrakciju rastvorljivih komponenti i enzimsku razgradnju makromolekularnih sastojaka. Zahtjevana je iznimna čistoća slada te kvalitetno obavljeno sortiranje. [3]

Nakon drobljenja slada slijedi proces **ukomljavanja ili ekstrakcije slada**. Komljenje predstavlja veoma intenzivno miješanje prekrupe i vode, gdje se vrši kontroliranje enzimske razgradnje rastvorljivih komponenti sirovina. Uz slad, u proces pripreme ulazi i voda koja sačinjava najveći dio svakog piva. Rezultat komljenja jesu dobiveni ekstrakti, u zavisnosti od tipa proizvodnje piva i ošćerena komina koja predstavlja smjesu vode i rastvorenih sastojaka iz sirovina i nerazgrađenih dijelova zrna. Različite temperature rezultiraju sladovinom veće ili manje fermentabilnosti (udio šećera koje će kvasci fermentirati u ugljikov dioksid i alkohol). Niže temperature u rasponu djelovanja enzima za konverziju škroba stvaraju više fermentabilnih šećera, dok više temperature stvaraju manje fermentabilnih, a više

nefermentabilnih šećera. Ovaj je podatak od iznimne važnosti jer o njemu ovisi hoće li pivo biti suhog ili punog okusa. [8]

**Filtracija sladovine** sljedeći je postupak u proizvodnji sladovine. Filtracija služi kako bi se potpuno uklonio kvasac iz piva. Budući da su prilikom ukomljavanja i kuhanja sve rastvorene materije prešle u sladovinu, nužno je da se ona odvoji od nerastvorene materije. Prva faza filtracije jest nabubrenje prve sladovine koja ima veću koncentraciju osnovnog ekstrakta, a zatim slijedi druga faza u kojoj se ispire ekstrakt iz trebera. Pivski treber sadrži sve one materije koje prilikom ukomljavanja slada i kuhanja ne prelaze u rastvor, nego ostaju nerastvorene. U njemu se u prvom redu nalaze pljevice zrna, nerastvorene bjelančevine, zaostali škrob koji se nije razgradio tokom kuhanja te mala količina nerastvorenog ekstrakta koji prilikom ispiranja nije prešao u sladovinu. [3]

**Kuhanje sladovine** s hmeljem idući je postupak nakon filtracije te se bazira na operacijama: upravljanje viškom vode i regulacija sadržaja ekstrakta, inaktivacija enzima i mikroorganizama, koagulacija proteina, uklanjanje nepoželjnih sastojaka, sinteza ujedinenja i dodavanje hmelja. Hmeljenjem se postiže ekstrakcija gorkih komponenti i njihove termičke transformacije ujedinenja karakteristične gorčine. Hmeljna ulja imaju zadatak smanjivanja površinskog napona sladovine. Kuhanje se odvija u kotlovima na atmosferskom ili povišenom tlaku te tada prelaze gorke i aromatske materije u sladovinu, a bjelančevine se izdvajaju u krupne pahuljice koje se postepeno talože i sladovina se bistri. Dodatkom hmelja postiže se ekstrakcija slada koja utječe na kvalitetu piva (okus, biološku stabilnost, pjenu). Kuhanje sladovine najčešće traje dva sata, a predugo kuhanje uzrokuje pojačanje boje sladovine, dok prekratko djeluje nepovoljno jer ne dolazi do izdvajanja visokomolekularnih bjelančevina koje izazivaju slabo bistrenje sladovine i zamućenje piva. Završetak kuhanja određen je koncentracijom ekstrakta u sladovini, odnosno prema izdvajanju bjelančevina u vidu pahuljica i prozirnosti vruće sladovine. Također, kuhanje uništava sve enzime u sladovini te se osigurava stabilnost kemijskog sastava sladovine prije vrenja. [3]

Količina hmelja koja se dodaje u sladovinu jest otprilike 200 do 500 grama po hektolitr piva. Faktori koji utječu na potrebnu količinu su: zahtjevi i ukusi potrošača, kvaliteta hmelja, tip i vrsta piva, sastav vode i kvaliteta slada. Uspoređujući svijetla i tamna piva, svijetla piva zahtijevaju 20 do 30 % više hmelja po hektolitr piva jer moraju postići traženu hmeljnu gorčinu, dok su tamna piva slabog aromatičnog okusa. Tipičan primjer kotlova za kuhanje sladovine prikazan je na slici 6.



**Slika 6. Kotlovi za kuhanje sladovine [3]**

Nakon što je kuhanje završeno hmeljna sladovina se prepumpava preko cjedila za hmelj u taložnjak. Na dnu hmeljnog cjedila nalaze se sita u kojima ostaje hmeljni trop i dio koaguliranih bjelančevina, a bistra sladovina izlazi kroz sita i odlazi do taložnjaka. [3]

Kako se za proizvodnju piva koristi samo sladovina, sladovinu je potrebo što je više moguće odvojiti, odnosno dobiti što više ekstrakta. Za odvajanje sladovine koriste se, ovisno o opremi varionice, dva postupka [9]:

1. Cijeđenje sladovine kroz sloj tropa istaloženog na perforiranom dnu cijednjaka (kade za cijeđenje) – najčešće upotrebljavani način u manjim, zanatskim pivovarama.
2. Filtracija sladovine kroz filtarsko platno obješeno preko filtarske ploče (tzv. kominski filter) – zbog brzine i efikasnosti često se upotrebljava u velikim, industrijskim pivovarama.

**Hlađenje i bistrenje sladovine** sljedeći je postupak u procesu proizvodnje sladovine. Provodi se u svrhu snižavanja temperature koja odgovara potrebama početnog stanja vrenja i zasićivanja kisikom iz zraka u cilju postizanja vrenja. Isto tako, potrebno je izdvojiti talog u

svrhu dobivanja bistre sladovine koja je jedna od osnovnih pretpostavki za dobivanje piva visoke kvalitete. U sladovini koja se hladi nalaze se bjelančevine koje čine fini talog. Snižavanjem temperature one se talože kao i druge materije. Tokom hlađenja je važno da se sladovina zasiti kisikom iz zraka i oslobodi grubog taloga. Iz tog se razloga sladovina hladi u dvije faze pa dobivamo dvije vrste taloga – vrući i hladni talog. [3]

Proteinske pahulje ili vrući talog jesu čestice koje nastaju denaturacijom proteina te imaju promjer 30 do 80  $\mu\text{m}$ . Lako se izdvajaju iz ohmeljene sladovine jer im je specifična masa veća od specifične mase sladovine. U slučaju da bi pahulje ostale u sladovini, ometale bi potpuno bistrenje sladovine, lijepile bi se za stanice kvasca tijekom fermentacije te bi samim time otežavale filtraciju piva i povećavale udio taloga u istom.

Za odvajanje toplog taloga iz sladovine koristi se taložnjak ili vrste centrifugalnih separatora. Sladovina pod pritiskom pumpe ulazi u taložnjak te se počinje kružno kretati. Uslijed kružnog kretanja sladovine formira se talog u centru posude u obliku kupe koja ostaje na dnu nakon ispuštanja sladovine.

Hladni talog se počinje izdvajati na temperaturi ispod  $60^{\circ}\text{C}$ , a većinski dio hladnog taloga čine bjelančevine. Kako bi se hladni talog otklonio, koristi se Venturijeva cijev, odnosno obavlja se proces zvan flotacija. Svrha flotacije jest da se iz rashlađene sladovine ubrizgavanjem zraka pomoću Venturijeve cijevi izdvoji grubi talog. U tanku se zbog toga stvara pjena koja se penje prema gornjim slojevima i površini, noseći za sobom hladni talog. Sa zrakom se kroz cijev istovremeno dodaje i kvasac pa se na taj način vrši aeracija i dodavanje kvasca. [3]

Bistrenje ošecerene komine je faza u kojoj se koriste bistrionici ili filter-preše u svrhu odvajanja tečnog dijela od čvrstog dijela. Tokom procesa bistrenja sladovina veže kisik fizički i kemijski što direktno djeluje na povećanje boje. Kod viših temperatura dolazi do kemijskog vezivanja kisika, a kod nižih kisik se rastvara sve dok rastvor ne postane zasićen. Šećera u sladovini ima mnogo više nego drugih ekstraktivnih materija te se zbog toga u toku hlađenja kisik uglavnom veže sa šećerom. [3]

### **3.2. Tehnologija piva**

Tehnologija dobivanja piva zasniva se na alkoholnom vrenju, odnosno fermentaciji. Fermentacija je biološki proces u kojem kvasci svojim razmnožavanjem razgrađuju šećer na

alkohol i CO<sub>2</sub> uz popratno stvaranje spojeva poput diacetila, fusel alkohola, estera, fenola i sumpora. Ovim procesom započinje stvaranje piva.



Kvasac je neophodan kao nosilac enzima vrenja. Enzim koji je pohranjen u kvascu naziva se cimaza. Uzročnici svih vrsta vrenja su mikroorganizmi koji proizvode enzime kao specifične izazivače kemijskih promjena. Sve te mikroorganizme moguće je podijeliti u tri glavne grupe, a one su: kvasci, bakterije i plijesni. Kao što je već i napisano, prilikom proizvodnje piva koriste se pivski kvasci, odnosno jednoćelijski organizmi koji se redovno razmnožavaju pumpanjem. U pivarstvu se kvasci dijele na pahuljaste i praškaste. Pahuljasti su karakteristični po nižem stupnju vrenja sladovine jer se zgrušavaju u pahuljice, dok praškasti kvasci imaju viši stupanj vrenja sladovine. [3]

### 3.2.1. Proces fermentacije piva

Proces fermentacije piva dijeli se na tri faze, a one su [10]:

- faza pripreme
- faza rasta
- završna faza.

Faza pripreme u pravilu traje 15 sati te se tokom te faze kvasac prilagođava novoj sredini, započinje sa prikupljanjem kisika, vitamina i minerala te aminokiselina (dušik). Kisik je kvascu potreban za produkciju sterola, vitamini i minerali za pokretanje enzima rasta, dok su mu aminokiseline potrebne za stvaranje proteina. Što je viša temperatura u prvoj fazi, to će stanice više rasti, tako da ukoliko je količina kvasca manja od preporučene, temperatura pripreme faze može se povisiti (22 do 24°C) i tako osigurati dovoljan rast kvasca. [10]

Nakon pripreme faze slijedi faza rasta u kojoj kvasac konzumira šećere i stvara etanol, CO<sub>2</sub>, okus i aromu. Uz to, stvaraju se esteri, fusel alkoholi i sumpor. Dolazi do naglog povećanja broja stanica i stvaranja sloja pjene na vrhu. Kvasci prvo troše jednostavne šećere kao što su glukoza i fruktoza, a zatim prelaze na one složenije poput maltoze.

Sloj pjene na vrhu naziva se niska bijela pjena te je ona prvi znak vrenja. Tu pjenu stvara ugljikov dioksid koji se oslobađa prilikom vrenja te odlazi u atmosferu.

Vrhunac faze rasta postiže se u trenutku visoke pjene koja predstavlja najintenzivnije zrenje. Tada temperatura dostiže maksimum, a nastajanje pjene je najintenzivnije. Nakon 72 sata pjena je visoka sa krupnim mjehurima i počinje pucati. Pjena postepeno počinje propadati

te dolazi do flokulacije i bistrenja piva. Naposljetku, površina piva ostaje pokrivena tankim slojem pjene koja postaje smeđa i sadrži sve manje ugljikovog dioksida. Intenzitet vrenja se smanjuje, a proizvod dobiven na kraju faze rasta naziva se mlado pivo.

Po završetku faze rasta slijedi završna faza u kojoj se rast kvasaca usporava te se oni spuštaju na dno i pivo dozrijeva. Pivo se hladi kako bi se ubrzalo taloženje kvasca i postigla temperatura između 4°C i 5°C.

Također, uz prethodno navedene faze, alkoholno vrenje ili fermentacija može se još podijeliti na glavno i naknadno vrenje.

Glavno vrenje jest faza u kojoj najveća količina šećera prelazi u alkohol. Obavlja se u vrioništu, u zatvorenim ili otvorenim tankovima te traje pet do 10 dana. Glavno vrenje se odvija na različitim temperaturama ovisno o tome je li se koriste kvasci gornjeg ili donjeg vrenja. Za piva tipa lager koriste se kvasci donjeg vrenja te se vrenje naziva hladnim, dok se prilikom fermentacije piva tipa ale koriste kvasci gornjeg vrenja i vrenje se naziva toplim. Glavna razlika između toplog i hladnog vrenja jest u temperaturi. Hladno vrenje započinje na nižim temperaturama između 6 i 8°C te završava na 9 do 18°C, dok toplo vrenje započinje na temperaturi od 10°C, a završava na 25°C. Hladnim vrenjem se u pravilu postiže bolja kvaliteta piva jer konačni proizvod sadrži manje nusproizvoda (viši alkoholi, esteri) te je stabilnost pjene i okus piva bolji. [10]

Naknadno vrenje jest faza u kojoj je karakteristična lagana fermentacija šećera. Odigravaju se isti procesi kao i kod glavnog vrenja, ali značajno sporije. Brzina biokemijskih reakcija procesa se smanjuje jer su temperature niže i smanjen je broj ćelija kvasca po jedinici zapremnine piva, budući da se većinski dio kvasca uklanja po završetku glavnog vrenja. [3]

### **3.2.2. Odležavanje, separacija i pasterizacija piva**

Nakon završetka procesa fermentacije slijede odležavanje, separacija i pasterizacija piva. Odležavanjem piva se ostatak neprevrelog ekstrakta pretvara u etanol i ugljikov dioksid zbog čega dolazi do povećanja tlaka unutar tanka. Tlak se održava na jednom baru, a temperatura na otprilike 0°C. Tijekom odležavanja dolazi do nastanka spojeva arome piva, ali i bistrenja zbog snižene temperature. Proces odležavanja traje između 14 i 21 dan. [11]

Po završetku odležavanja, odnosno hladne stabilizacije iz piva, nužno je ukloniti sve stanice kvasca koje se nisu istaložile te preostale koloidne čestice poput smola iz hmelja i proteina koji čine pivo mutnim. Uklanjanje se odvija na centrifugalnom separatoru ili pomoću

filtera, najčešće naplavnih te se taj postupak naziva bistrenje piva. Iako su oba postupka u uporabi, prednost ipak ima filtracija jer se filtracijom postiže veća bistrina piva. Uklanjanjem kvasca i čestica mutnoće smanjuje se opasnost od kvarenja piva. [11]

Nakon separacije ili filtracije slijedi stabilizacija. Pivo je potrebno ostaviti u tanku da odleži kako bi se korigirala koncentracija ugljikovog dioksida i kako se prilikom punjenja ne bi previše pjenilo. Za punjenje piva u boce optimalno je 4-5 g/l ugljikovog dioksida. [11]

Po završetku stabilizacije slijedi proces pasterizacije piva. Pasterizacija se može odvijati prije punjenja piva u cijevnim pasterizatorima ili nakon punjenja u šaržnim ili tunelskim pasterizatorima. Pasterizacija je proces kojim se uništavaju prisutni mikroorganizmi u vegetativnom obliku te produžuje rok trajanja piva, a pritom mu se bitno ne mijenjaju nutritivna svojstva. Uobičajeno se provodi na temperaturama između 60 i 65°C u trajanju od 20 do 30 minuta ukoliko se provodi u šaržnom pasterizatoru, a ako se provodi u tunelskom ili protočnom pasterizatoru, onda se odvija na 68 do 72°C kroz jednu do dvije minute. [11]

### 3.2.3. Punjenje piva u ambalažu

Nakon prolaska piva kroz sve potrebne procese ono je spremno za punjenje u ambalažu. Pivo se puni u staklene boce, aluminijske limenke, plastične boce i kegove (bačve). Prilikom punjenja, obavezno je sprječavanje kontakta piva sa kisikom zbog nepoželjne oksidacije njegovih sastojaka pa se neposredno prije čepljenja u bocu ubrizga tanki mlaz vruće vode koji izaziva dizanje pjene koja istiskuje zrak iz boce. Također, potrebno je spriječiti pad tlaka piva kako ne bi došlo do gubitka CO<sub>2</sub>. Isto tako, potrebno je učestalo pranje dijelova uređaja koji dolaze u dodir s pivom, kao i čitavog postrojenja za punjenje kako bi se spriječilo sekundarno zagađenje. Linije za punjenje se detaljno peru nakon svake uporabe i to: vrućom lužinom u trajanju od 30 minuta pa vrućom vodom 30 minuta te 30 minuta kiselinom koja se na kraju ispiru običnom vodom. [10]

Brzina punjenja ovisi o linijama za punjenje kao i o potrebama tvrtke. Nakon završetka punjenja pivo se skladišti na temperaturi od 14°C te je spremno za distribuciju. Kao i kod svake proizvodnje, prilikom proizvodnje piva dolazi do gubitaka koji se iskazuju u postocima u odnosu na proizvedenu vruću hmeljnu sladovinu. Taj parametar pokazuje uspješnost rada tijekom proizvodnje, a gubici se prikazuju kao razlika između proizvedene vruće hmeljne sladovine i količine prodajnog piva, a granična vrijednost je otprilike 10 %. [11]



Pivska ambalaža, postupci pakiranja te dugotrajno čuvanje piva u ambalaži mogu biti, a najčešće i jesu uzrok smanjenja kvalitete inače kvalitetnog piva jer: [10]

- Dorada piva u cilju produljenja njegove trajnosti u ambalaži doprinosi gubitku punoće, svježine, okusa i mirisa.
- Tijekom otakanja piva u ambalažu može doći do sekundarnog zagađenja s mikroorganizmima.
- Pivo može poprimiti strani okus i miris ambalaže.
- Sve vrste ambalaže ne štite pivo jednako od kemijskih promjena.



**Slika 7. Punjenje piva u staklenu ambalažu [10]**

## 4. AMBALAŽA

Riječ ambalaža potječe od francuske riječi *emballage*, što znači pakiranje, opremanje robe, materijal za pakiranje i slično. Ambalaža je sredstvo koje priprema proizvod – od momenta proizvodnje do potrošnje – za njegovo uručenje kupcu-potrošaču, onakav kakav je proizveden, u različitim uvjetima transporta, skladištenja, rukovanja, distribucije te njegove prezentacije na mjestu prodaje, tako da proizvod u ambalaži bude najbolje očuvan od svih vanjskih i unutrašnjih utjecaja. Ambalaža mora odgovarati suvremenim uvjetima proizvodnje i potrošnje proizvoda – dizanja marketinga, trgovine, propagande, ekologije, društva, ekonomičnosti poslovanja, maksimalne funkcionalnosti i minimalnog udjela u cijeni proizvoda; koristeći se pritom postignućima znanosti i tehnike u proizvodnji, kreiranju, izradi i primjeni; izražavajući svojim likovnim i grafičkim rješenjem ljepotu sadržaja na mjestu prodaje (Slika 8.). Sama pak mora zadovoljiti potrebe potrošača i utjecati pozitivno na njega pružajući mu maksimum dobrog ugođaja, mnoštvo informacija o proizvodu i zadovoljstvo upotrebe. [12]



Slika 8. Primjeri ambalaže [12]

Ambalaža predstavlja sve proizvode, bez obzira na prirodu materijala od kojeg su izrađeni ili su korišteni za držanje, zaštitu, rukovanje, isporuku i predstavljanje robe, od sirovina do gotovih proizvoda, od proizvođača do potrošača. Gledajući s aspekta proizvodnje, ambalaža je sredstvo u koje se stavlja proizvod kako bi se sačuvao prilikom transporta, skladištenja i uporabe. Ukoliko se ambalaža gleda s aspekta zaštite i čuvanja, ambalaža je sredstvo koje sa proizvodom čini cjelinu, čuva proizvod od rasipanja, krađe, vanjskih utjecaja i slično. Ambalaža s aspekta konstrukcije mora biti: jednostavna, funkcionalna, izvorna, oku ugodna, dok s aspekta ekonomičnosti mora biti dovoljna da uz minimalne troškove što bolje predstavlja i čuva proizvod.

Ambalažnom industrijom te aktualnim trendovima u istoj u najvećoj mjeri diktiraju potrošači koji su sve zahtjevniji. Svaka nova ambalaža ima novu zadaću koju mora ispunjavati te zbog toga projektiranje ambalaže postaje sve složeniji proces od kojeg se očekuje da udovolji sve većem broju zahtjeva.

Neki od osnovnih pojmova koji se često znaju smatrati istima jesu pakiranje i ambalaža. Međutim, ta dva pojma imaju različito značenje. Pakiranje jest djelatnost, dok ambalaža predstavlja tvorevinu u kojoj se nalazi proizvod. Također, često postavljano pitanje jest o tome što je oblikovanje (dizajn) ambalaže, a najbolji odgovor na to jest odgovor prirode: „Pile je došlo prvo s postignućem u učinkovitom oblikovanju ambalaže.“ [13]

#### **4.1. Uloga ambalaže**

Temeljna uloga ambalaže jest zaštita proizvoda od neželjenih vanjskih utjecaja. Pod tim se smatra zaštita od fizičkih, kemijskih, klimatskih te mikrobioloških utjecaja. Neophodno je da proizvod ostane u svojem prvobitnom obliku uza sve transportne probleme s kojima se može susresti. Ako je riječ o proizvodima prehrambene industrije, zaštita je neophodna jer je nužno da proizvod ostane svjež i da razni klimatski uvjeti poput vrućine, vlage i sličnih ne utječu na kvalitetu proizvoda. [14]

Kao jedna od bitnijih uloga ambalaže jest i promocija samog proizvoda. Ambalaža bi trebala privući zainteresiranog kupca na kupnju proizvoda ili ugodno iznenaditi onoga kome proizvod poklanjamo. Ona ostavlja brend u pamćenju korisnika, a kako bi se to postiglo važno je isticati vrijednosti zapakiranog proizvoda te informirati i privući potrošače. Kupci svojom mogućnošću izbora reguliraju tržišne trendove i zahtjeve. Zadaća projektanta i

dizajnera ambalaže jest da potrošaču pruži ambalažu koja će mu se svidjeti i zbog kojeg će zavoljeti taj proizvod. [14]

Dakle, svrha ambalaže jest da ukaže na prisutnost proizvoda, ispriča svoju priču te proda određeni proizvod. Iz tog je razloga neophodna i originalnost ambalaže kako bi se proizvod razlikovao od konkurenata, ali i da jasno uputi na djelatnost sa kojom je proizvod povezan. Također, oblik i boja ambalaže imaju važnu ulogu, a dizajneri ambalaže se trude osmisliti neuobičajene oblike kako bi zaintrigirali kupce (Slika 9.) Jake i tople boje vizualno uvećavaju proizvod te kupca tjeraju da kupi upravo taj proizvod budući da ostavlja dojam da je kupac dobio više. [14]



**Slika 9. Primjer kreativne ambalaže [14]**

Također, interesantno je da se sve veći broj kompanija i trgovina vraćaju na tzv. „rinfuznu“ prodaju, odnosno prodaju bez ambalaže ili sa što manje ambalaže. Odriču se ambalaže te se vraćaju na stari oblik prodaje, a sve zbog trenda bio i eko trgovina čiji trend uvelike raste, budući da smanjenom količinom korištene ambalaže žele prikazati da vode brigu o okolišu.

## **4.2. Funkcija ambalaže**

Uz već spomenutu ulogu, važno je osvrnuti se i na funkciju ambalaže. Svaka ambalaža omogućava međusobno razlikovanje proizvoda te daje njegovu cjelovitu sliku. Funkcije ambalaže su višestruke. Prije svega, osnovna funkcija ambalaže jest zaštita, budući da ona

mora zaštititi robu ili proizvod od vanjskih utjecaja. Također, ambalaža omogućuje praktičnije rukovanje, privlači pozornost mogućih kupaca te postaje sredstvo promocije, odnosno oglašavanja (tržišna funkcija). Ambalaža omogućuje korisniku da prepozna određeni brend uz veliku količinu sličnih. Zanimljivi oblici ambalaže, ilustracija ili neki upadljiv detalj na ambalaži može zainteresirati kupca, privući njegovu pažnju i zadržati pogled. [15]

Osim zaštitne i tržišne funkcije, ambalaža mora imati i prodajnu funkciju. Ona sama po sebi treba djelovati tako da se potencijalni kupac odluči za kupovinu. Potencijalni kupac mora biti siguran da je proizvod koji namjerava kupiti onaj pravi te da će zadovoljiti njegove potrebe. Iz tog se razloga primjenjuju razna ispitivanja tržišta, određuju se ciljane skupine i razvija se dizajn oblika, etiketa i informacija na ambalaži. Nekada je prividna procjena o odnosu cijene, količine i kvalitete jača od deklariranih obveznih podataka ispisanih na poleđini ambalaže, a to se postiže uporabom visokih oblika i svjetlijih boja koje daju dojam da je ambalaža veće zapremnine i da je u njoj zapakirano više robe nego što zapravo jest. [14]

Uz prethodno nabrojane funkcije, tu se još nalazi i uporabna funkcija ambalaže koja dolazi do izražaja tijekom i nakon uporabe određenog proizvoda. Ona bi trebala osigurati lakšu uporabu proizvoda, odnosno olakšati mehanizme otvaranja i privremenog zatvaranja, kao i sigurnost rukovanja te mogućnost prenamjene i reciklažu.

Prilikom prijevoza i carinjenja, roba mora biti pakirana po posebnim propisima, odnosno mora imati prikladnu transportnu funkciju, a kada dođe na skladište ili na police trgovine, praktična i unificirana ambalaža omogućuje lakše rukovanje robom i racionalnije korištenje prostora. U posljednje vrijeme, ambalaža dobiva i ekološku funkciju jer se prilikom njezine proizvodnje koriste ekološki prihvatljivi materijali koji omogućavaju lakše zbrinjavanje i recikliranje nakon uporabe. [14]

Dakle, ambalaža mora zadovoljiti četiri osnovna zahtjeva, a oni su: zaštititi proizvod koji je u nju upakiran te zaštititi okolinu od sadržaja koji se nalazi unutar ambalaže, olakšati uporabu (rukovanje), transport i distribuciju, informirati potencijalnog kupca te omogućiti prodaju proizvoda.

### **4.3. Podjela i elementi ambalaže**

Danas se proizvodnja suvremene ambalaže odlikuje širokim izborom materijala, oblika i namjena te se zbog jednostavnijeg pregleda ambalaža dijeli prema materijalu, vrsti, trajnosti i

funkciji koju ima. S obzirom na materijal od kojeg je izrađena, ambalažu dijelimo na papirnatu, kartonsku, metalnu, limenu, staklenu, tekstilnu, plastičnu i kompleksnu, dok prema temeljnoj funkciji ambalažu dijelimo na prodajnu, transportnu i zbirnu. Također, prema trajnosti ambalažu dijelimo na povratnu (trajnu) i nepovratnu. [14]

Danas proizvod, osim svoje praktičnosti i funkcionalnosti, mora na kupca djelovati grafičkim oblikovanjem. Potrebno je da se proizvod svojim vizualnim pristupom izdvoji od ostalih proizvoda na tržištu, a to nije nimalo lagan posao. Kvalitetno i dugotrajno razrađivanje projektnog zadatka unaprijeđuje proizvod te mu daje prepoznatljiv i karakterističan stil izvedbe. Ako se projektnim zadatkom postigne uspjeh, proizvod se direktno izdvaja od konkurentnih proizvoda.

Uz gore navedene elemente ambalaže, bitan je i prikaz određenih podataka na ambalaži proizvoda. Pod tim se podrazumijeva stavljanje pisanih oznaka, trgovačkih oznaka, naziva proizvoda, simbola, roka uporabe, a sve to mora biti zakonski regulirano ovisno o vrsti proizvoda te podacima koji moraju biti navedeni. Informacije moraju biti čitljive, dobro pozicionirane i točne. Iz tog je razloga iznimno važan dizajn ambalaže. [14]

Dakle, kako bi se postigao željeni izgled ambalaže potrebno je nekoliko osnovnih elemenata, a oni jesu [16]:

- ambalažni materijal
- oblik ambalaže
- grafička obrada ambalaže.

Ambalažni materijal je taj koji mora biti nepropustan, mora imati postojanost, biti provodljiv te sposoban za preradu. Osim toga, od ambalažnog se materijala zahtijeva da ima mehaničku, biološku, kemijsku, termičku te optičku postojanost. Pod mehaničkom postojanošću se misli na otpornost materijala ambalaže na djelovanje vanjskih mehaničkih sila koje taj isti materijal mogu saviti, probiti, zdrobiti itd. [16]

Unutarnja i vanjska površina ambalaže moraju biti kemijski postojane. Posebice se ovdje misli na unutarnju površinu ambalaže budući da je ona u direktnom kontaktu sa namirnicom te mora na nju neutralno reagirati. Nikako ne smije utjecati na miris i okus proizvoda, fiziološku ispravnost kao i postojanost na koroziju. S druge strane, pak, vanjska površina je u kontaktu s okolinom te mora biti kemijski postojana prema vodi, zraku, vlazi i sličnim uvjetima okoline. [16]

Kada se govori o biološki otpornim materijalima, tada se misli na materijale koji su otporni na razne mikroorganizme i štetočine. Iz tog razloga ambalažni materijali zahtijevaju biološku postojanost budući da mikroorganizmi i štetočine mogu biti uzročnici promijenjenih mehaničkih svojstava nakon čega ambalaža više nema svoju zaštitnu funkciju. [16]

Optička postojanost jest propuštanje svjetla ambalažnog materijala. Ovisno o vrsti namirnica, odgovara i određena optička postojanost ambalaže pa se tako za tekuće namirnice i namirnice poput paste i sličnih koristi ambalaža iznimne gustoće koja je slabo porozna i nepropusna, dok se prilikom pakiranja voća i povrća koristi propusna ambalaža koja dopušta ulaz kisika te izlaz para i ugljikovog dioksida. Također, materijali poput drva, papira i tekstila propuštaju velike količine svjetlosti, dok su metali nepropustljivi. [16]

Ambalažni materijal koji je termički postojan jest onaj koji može provoditi električnu energiju i toplinu. Kao najbolji vodič topline od ambalažnog materijala se ističe metal te se namirnice koje su osjetljive na visoku i nisku temperaturu moraju termički izolirati, dok se staklo i plastična ambalaža ističu kao ambalažni materijali koji imaju visoki električni otpor. [16]

Oblik ambalaže iznimno je bitan budući da utječe na mehaničku otpornost ambalažnog materijala, nepropusnost šavova, masu ambalaže i troškove oblikovanja. Jedan od boljih primjera jesu ambalažne posude zaobljenog i oštrog oblika. Ambalažne posude oštrog oblika imaju puno manju otpornost na unutarnji tlak od onih zaobljenog oblika, budući da je kod posuda zaobljenih oblika jednoličnija raspodjela sila. Također, treba se osvrnuti i na lijepljene, lemljene i zavarene šavove koji imaju puno veću nepropusnost od šivanih i kovanih šavova. Onaj oblik ambalaže za koji je potrebno malo rada i energije ima puno manje troškove oblikovanja naspram kompliciranih oblika ambalaže, što je i logično. [16]

Prilikom grafičke obrade iznimno je bitno da određeni ambalažni materijal ima mogućnost primiti tisak. Papir, drvo, karton i tekstil su ambalažni materijali koji vrlo lako primaju i vežu tiskanu boju, dok metalni, stakleni i plastični ambalažni materijal teže upija boju. Glavni cilj grafičke obrade jest da kupcu privuče pažnju, omogući mu brzu identifikaciju i na njega utječe pozitivno. [16]

#### 4.4. Odnos proizvoda i ambalaže

Od ključne je važnosti da ambalaža i proizvod koji se pakira u određenu ambalažu budu usklađeni. Ako je ambalažni materijal mehanički osjetljiv, lako je moguće da će doći do deformacije proizvoda kojega štiti, stoga se pažljivo bira ambalažni materijal i proizvod (namirnica) koju će on zaštititi. Isto tako, mnoge su namirnice iznimno osjetljive na svjetlo te se za njih koristi poseban ambalažni materijal i potrebno im je dobro skladištenje. Svjetlo može uzrokovati velike promjene ako namirnice nisu dobro skladištene. U tom se slučaju uglavnom javlja proces oksidacije, a kao posljedica oksidacije dolazi do promjene boje, okusa, mirisa i smanjenja hranjive vrijednosti. Također, atmosferski kisik može uvelike utjecati na smanjenje kvalitete i hranjive vrijednosti te uzrokovati već spomenutu oksidaciju. Uz pojavu atmosferskog kisika i svjetlosti, proces oksidacije se ubrzava. Kao primjer su na slici 10. prikazani uzorci oksidiranog (lijevo) i neoksidiranog (desno) piva. [16]



**Slika 10. Oksidirani (lijevo) i neoksidirani (desno) uzorak piva [17]**



Određene su namirnice osjetljive na povišenu ili sniženu temperaturu. Temperatura može izazvati razne promjene kao što su promjena agregatnog stanja, konzistencije i viskoznosti. Tako je prilikom zagrijavanja smrznute namirnice moguća pojava mikrobiološke razgradnje, dok se smrzavanjem namirnica sa visokim udjelom vode može dogoditi da ambalaža pukne, a najbolji primjer za to je voda u staklenoj boci. [16]

Metalna ambalaža je karakteristična po svojoj osjetljivosti na koroziju. Vlažna atmosfera i voda ubrzavaju koroziju, a najčešće se to javlja prilikom neadekvatnog skladištenja u već spomenutoj vlažnoj atmosferi. [16]

## 5. PIVO I AMBALAŽA

Točeno ili u boci, u limenci ili plastici, pitanje je milijuna uživatelja piva diljem svijeta. Unatoč tome, pravi pivopije nemaju dileme – tradicionalisti ne priznaju ništa osim stakla, praktičari preferiraju limenku, racionalistima je najdraža PET ambalaža, dok oni koji doista žele uživati u svakom gutljaju zlatne tekućine najčešće je ispijaju iz krigele, natočenu iz bačve. [18]

Sve do 20. stoljeća većina piva posluživala se u barovima izravno iz drvenih bačvi, a tridesetih godina prošlog stoljeća pojavile su se bačve od nehrđajućeg čelika ili aluminija. Pivopije se sa tom novinom nisu baš složile budući da su smatrali da je okus koji pivu daju hrastove bačve mnogo bolji, ali je metal pobijedio jer je zahtijevao puno manje brige te je na koncu bio i jeftiniji. Uz točenje piva u gostionicama, proizvođači su paralelno tražili načine kako da pivu koju prodaju gostionicama mogu prodavati i ljudima za doma. U 17. stoljeću su se rukama izrađivale staklene boce za pivo, a postupnim razvojem mehanizacije proizvodnja staklenih boca postala je brža i jeftinija. Tadašnje su pivovare to iskoristile i masovno počele puniti svoje proizvode u staklene boce. Boce su se zatvarale kao vino sve dok 1872. godine nije patentiran čep na vijak (Slika 11.) koji je omogućio ponovno zatvaranje boce. Nedugo nakon osmišljena je najjeftinija verzija čepa koji je metalan te je i dan danas u uporabi. Flaširano pivo i njegova prodaja uzela je maha nakon 1900. godine, a sadržaj boca je bio hlađen, filtriran, gaziran i pasteriziran u smeđim ili zelenim bocama. [18]

Tridesetih godina prošlog stoljeća pojavilo se pivo u limenkama. Iako su se pivopije opirale ovakvom načinu konzerviranja piva s obzirom na to da je dobivalo okus po limu, proizvođači piva su bili uporni. Razloga za upornost je itekako bilo, budući da je proizvodnja bila znatno jeftinija, distribucija lakša i uporaba praktičnija. Nedugo nakon limenka je kao ambalaža osvojila tržište piva. [18]



**Slika 11. Staklena boca za pivo sa čepom na vijak [18]**

Sve su te inovacije dolazile iz Amerike, a prihvaćala su ih, iako nevoljko i teško, i druga tržišta. Najveći protivnici bili su Nijemci, Česi i Britanci s obzirom na svoju dugogodišnju kulturu piva, stoga su tražili načine kako da prihvate nove i jeftinije tehnologije, a da pritom zadrže „pubovske“ okuse. [18]

Posljednjih dvadesetak godina, zahvaljujući iznimnom utjecaju multinacionalnih kompanija, tržište piva pokorila je plastična (PET) ambalaža. Iako je u početku ideja o punjenju piva u plastičnu ambalažu bila nezamisliva, danas i najveći pivopije u svojim domovima rastaču pivo iz plastične ambalaže. Iz godine u godinu opada prodaja piva u povratnim bocama, pa čak i u zemljama koje su najpoznatije po pivu. Danas je staklena ambalaža sa tržišnim udjelom od 86,6 % i dalje na prvom mjestu prodaje piva, dok se na drugom mjestu nalazi PET ambalaža s tržišnim udjelom od 9,2 %, što se uglavnom odnosi na

trgovačke lance i hipermarkete u kojima se pivo u plastičnoj ambalaži kupuje zbog iznimno niskih cijena. [18]

## 5.1. Staklena ambalaža

Kao što je već i prije rečeno, staklena ambalaža (Slika 12.) je najraširenija ambalaža za pivo. Staklene boce se pivom pune na automatiziranim linijama koje se sastoje od stroja za pranje boca, punilice, čepilice i etiketirke. Također, nakon što je pivo napunjeno u boce, automatiziran je i put do njihovog pakiranja u nosiljke i slaganja nosiljka na palete za transport. U pravilu se na industrijsku paletu slaže 50 nosiljki koje su tada spremne za transport do skladišta. Operateri na liniji kontroliraju rad cijelog postrojenja i prate boce od stroja za pranje pa sve do pasterizacije. Danas se na tržištu mogu naći staklene boce za pivo volumena 0,25 l, 0,33 l i 0,5 l, a najčešća i najkorištenija je boca zapremnine 0,5 l.

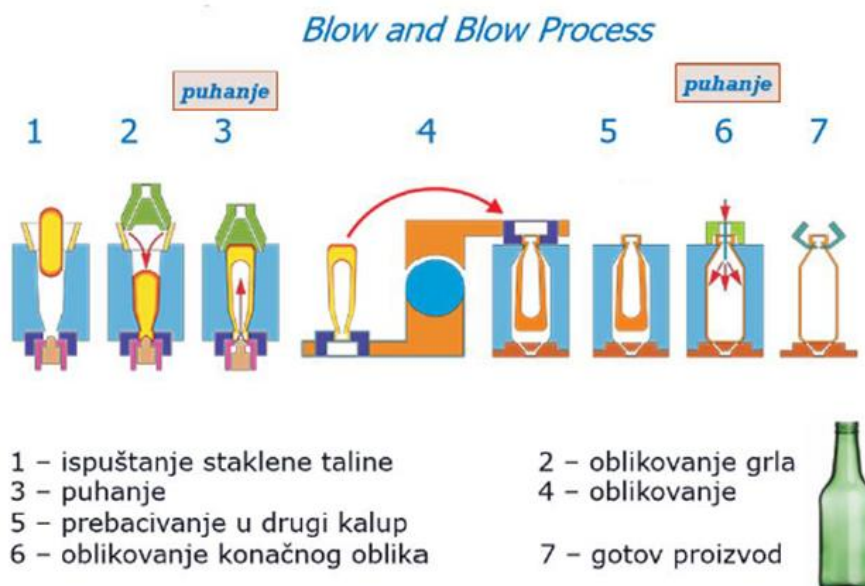


Slika 12. Primjeri staklene ambalaže za pivo [16]

U pravilu se prilikom proizvodnje staklenih boca za pivo koristi natrijsko staklo. Staklo je anorganska, amorfnu tvar. Kako bi dobili staklo, prvo se sirovine tale da bi se nakon toga brzo ohladile i očvrstnule te poprimile svoj finalni oblik. Za proizvodnju natrijskog stakla koriste se u većem udjelu sirovine poput kremenog pijeska, sode, vapnenca, dolmita, felšpata i staklenog loma te manji udjeli raznih oksida kao naprimjer magnezijev i aluminijev. Ukoliko

se želi postići zeleno obojenje, koriste se željezovi  $\text{Fe}^{2+}$  ioni ili krom, dok se za obojenje stakla u plavo koristi kobalt. Također, tzv. mrko obojenje se postiže željezovim  $\text{Fe}^{3+}$  ionima, a žuto obojenje manganovim oksidom. Velika prednost staklene ambalaže jest to što kupac proizvod koji kupuje može vidjeti, a problem propusnosti svjetla se rješava povećanjem debljine staklene ambalaže. Svjetlost je za proizvod u staklenoj ambalaži loša budući da može ubrzati već spomenuti proces oksidacije koji utječe na kvalitetu proizvoda. Staklena ambalaža ima visoku čvrstoću i tvrdoću, međutim podložna je lomu te je loš vodič topline i električne energije. Otporna je na djelovanje vode, kiselina, lužina, soli, alkohola i drugih organskih otapala. [14]

Proces proizvodnje stakla relativno je jednostavan proces koji se sastoji od nekoliko osnovnih segmenata. Prva na redu je priprema sirovina, odnosno transport homogenizirane smjese sirovina do staklarske peći i njeno taljenje. Zatim slijedi dovođenje smjese sirovina na temperaturu i viskoznost koja pogoduje oblikovanju smjese. Nakon što je postignuta temperatura, slijedi proces oblikovanja smjese. Smjesu je nakon oblikovanja potrebno ohladiti te napraviti kontrolu kvalitete staklene ambalaže, zapakirati i skladištiti kako bi bila spremna za punjenje na automatiziranim linijama u punionici piva. Na slici 13. prikazan je prethodno opisan proces proizvodnje staklene ambalaže puhanjem. [16]



**Slika 13. Proizvodnja staklenih boca puhanjem [16]**

U pravilu su boce cilindričnog oblika, ali moguće je da imaju ovalni ili četvrtasti poprečni presjek. Veličina otvora boce ovisi o zapremini, dok vrat boce može biti duži ili kraći, ovisno o proizvođaču. Velika se pažnja posvećuje grlu boce koje mora biti pojačano i

oblikovano u skladu sa odabranim načinom zatvaranja boce. Moguća je obrada staklenih boca, ali se to u pravilu ne radi budući da je skupo i neisplativo. Najčešće se površina stakla pjeskari jer se postupkom pjeskarenja postiže zamućeni izgled ambalaže koji je vrlo raširen i popularan. Što se tiče etikiranja, na staklenu ambalažu se lijepo papirnate ili plastične etikete, a uz posebne metode tiska na staklo je moguće nanositi jednostavne grafičke elemente. [16]

Gledajući sa aspekta održivosti, staklena ambalaža je ambalaža koja se može i do 100 % reciklirati te pri tome ne gubi na kvaliteti, a ovdje je poseban naglasak na zelenim bocama za pivo. Nakon konzumacije piva iz staklene ambalaže potrošači imaju mogućnost vratiti ambalažu na prodajno mjesto te dobivaju novčanu naknadu koja ih potiče na daljnje recikliranje. Također, postoji i nepovratna staklena ambalaža koju u većini u Hrvatskoj čine boce od uvoznih piva kao što su naprimjer Corona, Leffe, Franziskaner i slični. Takva se ambalaža zbrinjava u kontejnerima za staklenu ambalažu.

Staklene boce, nakon što se napune s pivom, ulažu se u nosiljke ili kako ih svi zovu „gajbe“ (Slika 14.). U jednu nosiljku stane 20 staklenih boca napunjenih pivom. Nakon što se 20 boca uloži u nosiljku, nosiljke se slažu na industrijske palete. Na jednu industrijsku paletu se stavlja 50 nosiljki te se tako transportiraju u skladište. Cijeli taj proces se odvija na automatiziranim linijama kao i prilikom punjenja piva u boce. Naime, nakon što su staklene boce napunjene pivom i začepljene, poseban uređaj koji radi na principu vakuumskih ručica prima 20 staklenki odjednom i ulaže ih u nosiljke koje su prethodno prošle proces pranja. Napunjene nosiljke odlaze do stroja koji ih također na principu vakuuma prima po 10 odjednom i slaže u jedan red na industrijsku paletu. Nakon što stroj složi pet redova po 10 nosiljki, paleta je puna i dizalom se spušta u skladište gdje ih se viličarom premješta na predviđeno mjesto.

Najčešći način zatvaranja staklenih boca jesu metalni čepovi. Čepovi se proizvode od limova postupkom izvlačenja nakon čega im se oblikuju rubovi i na žlijebove se nanosi masa za brtvljenje. Nakon nanošenja mase za brtvljenje, ona se mora posušiti te se na nju postavljaju podlošci. Najčešće korišteni zatvarači su krunski zatvarači koji se proizvode od čeličnog lima sa zaštitnom prevlakom od korozije. Čelični lim je u pravilu bijeli ili kromirani. Materijali od kojih se izrađuju podlošci jesu polivinil-klorid (PVC) ili polietilen iznimne gustoće (PEHD). [16]



Slika 14. Staklene boce piva uložene u nosiljku [16]

## 5.2. Metalna ambalaža

Općenito metal ima mnogo dobrih svojstava. Metal je nepropustan za tekućine i plinove te razne mikroorganizme i svjetlost. Karakterizira ga visoka mehanička čvrstoća te se iz tog razloga koristi za izradu ambalaže pod visokim tlakom. Cijena metala je prihvatljiva i primjena široka, između ostalog i za pakiranje hrane, pića i raznih drugih proizvoda. Najčešći oblici metalne ambalaže koji se mogu pronaći jesu limenke za pivo (Slika 15.) te poklopci za staklenke, zatvarači za boce, tube, metalne kutije i slično. Metalna se ambalaža ubraja u skupinu krute ambalaže što znači da nije podložna promjenama prilikom djelovanja vanjskih sila. Namirnice koje se nalaze u metalnoj ambalaži u potpunosti su sigurne od bilo kakvih vanjskih utjecaja, odnosno hermetički su zatvorene. Negativna strana metalne ambalaže jest to što je podložna koroziji. Također, neki od metala mogu biti toksični te se ne preporuča da budu u direktnom kontaktu sa namirnicom kako ne bi došlo do narušavanja zdravlja kupca, odnosno potrošača. [14]



**Slika 15. Aluminijske limenke za pivo [14]**

Limenke za pivo su najčešće aluminijske. U samim počecima korištenja metalne ambalaže najveći je problem bio prelazak metalnih iona u pivo, a samim time i narušavanje okusa piva, budući da bi pivo postajalo metalnog okusa te bi se zamutilo. Kako bi se taj problem riješio, limenke su se sa unutarnje strane počele premazivati raznim premazima u svrhu zaštite okusa piva.

Premazi koji se koriste jesu epoksi fenolne smole i polibutadien. Svaka limenka za pivo je dvodijelna i sastoji se od dva osnovna dijela, a to su tijelo i poklopac. Omotač i dno limenke čine jedan dio dobiven postupkom izvlačenja lima, dok je drugi dio poklopac. Proizvodnja završava lakiranjem unutarnje strane, odnosno grafičkom obradom vanjske strane. Poklopci za limenke su istog materijala kao i tijelo limenke te su osmišljeni za lako otvaranje. Volumen limenki jest 0,5 l ili 0,33 l, a debljina stijenke otprilike 0,09 mm. Limenke su veoma lagane te nisu lomljive i brzo se hlade. Također, limenke su idealne za dugačak transport i očuvanje trajnosti piva. [16]

Postupak punjenja limenki jest također automatiziran te se izvodi na automatiziranim linijama. Nakon punjenja limenki, poklopac limenki se postavlja na vrh te se brtvi uz pomoć čepilice. Zatim slijedi pakiranje limenki koje je veoma zanimljivo s obzirom na to da se limenke u dućanima mogu kupiti pojedinačno ili u pakiranju od četiri ili šest komada zajedno (Slika 16.), odnosno kako se za to zna reći *4-pack* i *6-pack* piva. Ukoliko limenke odlaze u



prodaju sa namjerom da ih se kupuje pojedinačno, tada se na kartonsku podlogu slažu 24 limenke koje se zatim dodatno omotavaju folijom na posebnom uređaju kako bi se pakiranje dodatno učvrstilo i olakšao transport. Ako se, pak, radi o pakiranju od četiri ili šest limenki zajedno onda se prije postavljanja na kartonsku podlogu limenke omotavaju u grafički obrađenu foliju te poslije toga slažu na podlogu. Naravno, ako se radi o *6-pack* pakiranju onda se na podlogu slažu četiri takva paketa, a ako se radi o *4-pack* pakiranju onda se slaže šest takvih paketa. Zatim slijedi omotavanje paketa dodatnom zaštitnom folijom kao i kod pojedinačnih limenki.



Slika 16. *4-pack* i *6-pack* pakiranje piva [14]

Uz aluminijske limenke metalnu ambalažu za pivo čine i bačve (Slika 17.), odnosno KEG-ovi. Bačve su napravljene od nehrđajućeg čelika ili aluminija te umjetnih materijala. Velika prednost bačvi jest to što imaju ugrađen ventil za punjenje i pražnjenje. Nakon što se napune, ventil se zatvara i gostioničari ih tek neposredno prije uporabe priključuju na aparat za istakanje, a ukoliko ne potroše pivo iz bačve ventil se nakon isključenja sa aparata za istakanje sam zatvara i čuva preostalo pivo od kvarenja. Bačve se na tržištu mogu naći zapremnine od 15, 20, 25, 30 i 50 litara. Pune se na automatiziranim linijama te proces punjenja započinje pranjem bačvi, budući da su bačve povratna ambalaža. Nakon punjena bačvi, šest bačvi se slaže na europaletu te su one spremne za transport.



Slika 17. Bačve za pivo od nehrđajućeg čelika zapremnine 30 i 50 litara [14]

### 5.3. Plastična ambalaža

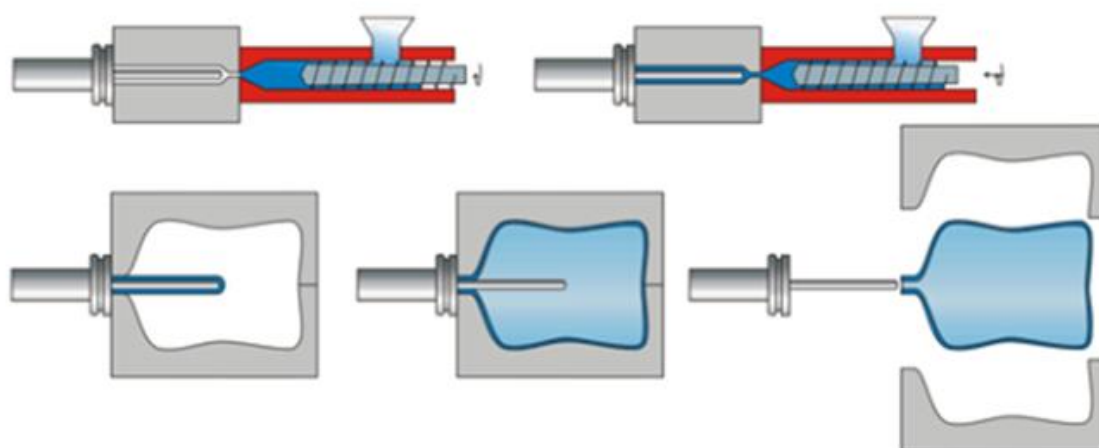
Plastična ambalaža za pivo počela se širiti zahvaljujući svojoj niskoj cijeni s obzirom na ostalu ambalažu. Za proizvodnju plastične ambalaže najčešće se upotrebljava polietilentereftalat, odnosno PET. To je polimer koji se dobiva procesom polikondenzacije estera tereftalne kiseline ili njenih derivata s etilenglikolom. Najčešći način prerade PET-a jest ekstruzija, injektiranje i puhanje. Plastična ambalaža za pivo se dobiva tako što se amorfni PET injektira ili puše. Amorfni PET ima specifičnu masu od  $1,33 \text{ g/cm}^3$  te veliku otpornost na savijanje. Također, amorfni PET ima dobru žilavost te kristalizira na  $190^\circ\text{C}$ . Prethodno nabrojana svojstva amorfnom PET-u omogućuju da lako zamijeni staklenu ambalažu. Slika 18. prikazuje primjere plastične ambalaže za pivo. [16]

Kod plastičnih je masa zanimljivo to što se oblikuju uz vrlo mali trošak topline i mehaničke energije. Troškovi materijala za ambalažu od plastičnih masa su nešto niži od troškova materijala metalne ambalaže unatoč visokoj cijeni, a razlog tome je to što uz visoku cijenu imaju malu gustoću. Također, polimernim materijalima se dodaju aditivi u svrhu poboljšanja čvrstoće, elastičnosti, nepropusnosti i slično. [16]



Slika 18. Primjeri plastične ambalaže za pivo [16]

Najčešći način izrade plastičnih boca za pivo jest injekcijsko puhanje. To je postupak koji se sastoji od dvije radne faze, a dobiveni proizvodi imaju iznimnu kvalitetu površine te ne propuštaju plinove. Prva faza jest injekcijsko prešanje kojim se izrađuje pripremak na način da se taljevina ubrizgava u kalupnu šupljinu u kojem se nalazi jezgreno puhalo. Nakon završenog procesa injekcijskog prešanja otpresak ostaje na jezgri i prenosi se u kalup za puhanje. Zatim se kroz jezgru puhalo upuhuje stlačeni zrak koji širi pripremak i potiskuje ga do stijenki kalupa. Na slici 19. shematski je prikazan proces injekcijskog puhanja. [19]



Slika 19. Shematski prikaz injekcijskog puhanja [19]

Nakon oblikovanja boce se na automatiziranim linijama pune i čepe, a zatim slažu u pakete od šest boca i skladište na paletama. Neovisno o zapremnini boca, koje mogu biti od

jedne ili dvije litre, paket je jednak te sadrži šest boca zaštićenih i učvršćenih folijom. Takvi paketi se vakuumskom hvataljkom uzimaju i odlažu na europaletu. Na jednu europaletu se mogu složiti četiri reda po 16 paketa, ako se radi o bocama zapremnine 2 l, a ako se pak radi o bocama zapremnine 1 l, onda se slažu četiri reda po 21 paket. Nakon što se paketi poslažu, paleta s paketima se dodatno omota folijom na motalici kako bi se osigurala stabilnost i kvalitetno skladištenje.

PET boce, koje se najčešće koriste kao ambalaža za pivo, ne štite dovoljno pivo od gubitka ugljikovog dioksida i utjecaja svjetlosti. Iz tog se razloga u sve većoj količini počela koristiti nova generacija plastičnih boca koje su izrađene od polietilenaftalana (PEN), odnosno od višeslojne plastike s preprekama koje reduciraju kisik. Takve su boce skupe, a trajnost piva je kraća nego u staklenoj i metalnoj ambalaži. Npropusnost PEN boca za plinove je 10 do 15 puta veća nego kod PET boca. Također, plastične boce se premazuju u svrhu sprječavanja gubitka okusa piva i smanjenja propusnosti ugljikovog dioksida. [16]

## 6. AMBALAŽNI OTPAD

Otpad je sve veći problem zaštite okoliša u cijelom svijetu, a veliki dio tog otpada čini ambalaža. Racionalnijim pakiranjem može se uštedjeti i do 30 % od cijene gotovog proizvoda te bitno utjecati na smanjenje otpada i smanjenje troškova zbrinjavanja otpada. Budući da su u prethodnoj točki opisane karakteristične ambalaže korištene za pakiranje piva, postavlja se pitanje koliko su one zapravo održive te do koje ih je mjere moguće reciklirati. Također, detaljno analizirano stanje tržišta pokazalo je kako je nužno smanjivanje postojećih materijala korištenih za ambalažu te uporaba novih i prikladnijih te za okoliš prihvatljivijih materijala. [20]

U svrhu zaštite okoliša tri su osnova zahtjeva za ambalažu:

- smanjivanje i izbjegavanje ambalaže, ali da se ne ugrozi proizvod
- ponovna i višekratna uporaba ambalaže
- izbor materijala za ambalažu koji je prihvatljiv za okoliš (po mogućnosti biorazgradiv i bez štetnih tvari).

Danas se problem zbrinjavanja ambalaže, kao jedan od najvećih izazova suvremenog društva, rješava na svjetskoj razini. Iako je ambalaža zamišljena i u početku se proizvodila s osnovnom namjenom da zaštiti sadržaj od svih oštećenja, s vremenom se transformirala u sredstvo reklamiranja proizvoda koji je u njoj. Predstavljena je i kao estetski uradak koji ima zadaću privlačenja kupaca. Svi su ti zadaci ambalaže donekle usklađeni, no problemi se pojavljuju nakon njezine upotrebe. Troše se milijuni kako bi se ambalaža, stoljećima odbacivana, danas na najprikladniji način uklonila iz okoliša, bez posljedica za zdravlje i prirodu, uz očuvanje energetske resursa cijelog planeta. [21]

Svakodnevno se i veoma opširno piše o ambalaži i to sa svih aspekata. Zato se postavlja pitanje je li ona doista toliko važan čimbenik u životu suvremenog čovjeka. S ekološkog stajališta, ambalaža se zbog svoje količine i raznovrsnosti nameće kao nezaobilazan problem

lokalne, ali i šire društvene zajednice, sve do razine države, a danas je to već i problem svakoga pojedinog kontinenta, pa i cijelog planeta. [21]

Ambalaža također postaje jedan od najvažnijih zadataka suvremene energetske i sirovinske tehnologije koji zahtijeva prikladno rješenje. U mnogim se gradovima velike količine otpadne ambalaže pretvaraju u izvor topline za proizvodnju električne energije ili tople vode kojom se griju cijele gradske četvrti. Između ostalog, otpadna se ambalaža sve više iskorištava za proizvodnju novih papirnatih, staklenih, metalnih, plastičnih i tekstilnih proizvoda, što od inženjera i tehnologa iziskuje permanentna ispitivanja u svrhu postizanja što boljih rezultata. Može se reći kako je *recikliranje* u stručnim krugovima postala češća riječ od civilizacijske riječi *hvala*. [21]

## 6.1. Gospodarenje ambalažnim otpadom

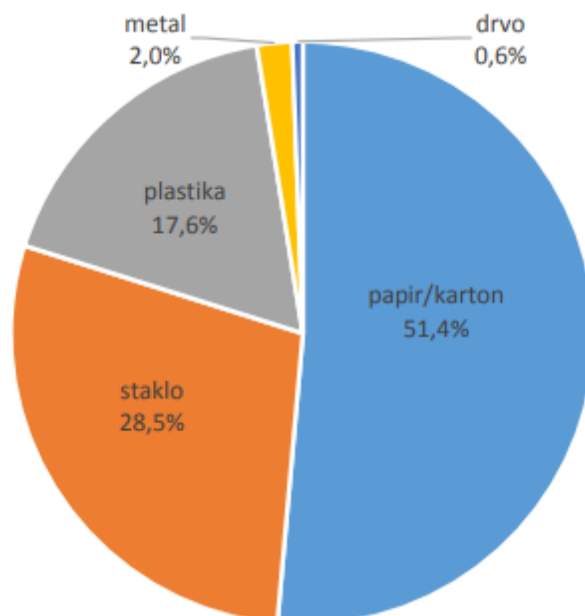
Količine i vrste otpada kroz povijest su se mijenjale slično kao i praksa njihovog zbrinjavanja, a značajne promjene usko se vežu uz industrijski razvoj. Poboljšanje standarda življenja 60-ih godina prošlog stoljeća dovodi do povećanja godišnjih količina otpada za 3 do 4 %. Smanjuje se količina papira na odlagalištima i do 40 % jer započinje sustavno prikupljanje i oporaba. Također, smanjuje se i količina biorazgradivog otpada jer se javlja trend izgradnje malih, kućnih kompostana. Količine stakla su i dalje velike, ali se zbog početka oporabe 70-ih naglo smanjuju. U isto vrijeme nekontrolirano rastu količine PET ambalaže zbog iznimnih karakteristika PET-a. To je polimer koji je jak, ali lagan, proziran te visoke otpornosti, idealan za proizvodnju ambalaže. Mnogo je resursa i napora utrošeno u edukaciju o smanjenju količine otpada, no krajem 20. stoljeća dolazi do naglog povećanja količine otpada. Najveći problem u svemu tome predstavlja tzv. „gutanje“ deponijskih prostora, a ponajviše zbog ambalažnog otpada i njenog volumena. Krajem 90-ih godina prošlog stoljeća provedena je analiza sistemskog otpada koja je pokazala da je težinski udio ambalaže 25 %, a volumni i do 50 %, što se danas procjenjuje na 60 %. To dokazuje da je gospodarenje komunalnim otpadom zapravo gospodarenje ambalažnim otpadom. [22]

## 6.2. Recikliranje ambalažnog otpada

Pravilnik o ambalaži i ambalažnom otpadu, koji je na snazi u nekoj zemlji, uvriježeno nalaže da svi koji rabe ambalažu trebaju u cijeni proizvoda platiti troškove pune reciklaže i to po pravilu „zagađivač plaća“. Gotovo sve vrste ambalažnog otpada se mogu reciklirati, a kako bi ta reciklaža bila uspješna i kvalitetna potrebno je osigurati odvojeno prikupljanje i odvoženje u tvornice u kojima taj otpad postaje sirovima u daljnjem proizvodnom procesu, a te tvornice su najčešće tvornice papira, kartona, metala, stiropora, polietilena, stakla i drva. Tim se načinom u potpunosti izbjegava odlaganje otpada, smanjuje se uvoz, povećava izvoz i racionalizira trošenje energije i prirodnih vrijednosti. Gospodarski i ekološki gledano, puno je povoljnije provesti kvalitetno prikupljanje i punu reciklažu otpada nego uvoziti folije i drugu skupu opremu za izgradnju uređenih deponija ili postrojenja za obradu otpada. Ipak, danas se vode mnoge polemike o tome treba li se forsirati samo materijalna reciklaža ili i uporaba. Kada se govori isključivo o plastičnom otpadu, u europskim državama su velike razlike u iskorištavanju: u Grčkoj 0 %, a u Švicarskoj, Danskoj i Nizozemskoj više od 50 %. U Njemačkoj, koja inače prednjači u reciklaži, oporabljuje se čak 23 % plastičnog otpada, a u Nizozemskoj je u tijeku projekt „*sub-coal*“ kod kojeg se u termoelektranama koristi gorivo iz otpada (tzv. GIO). Taj je otpad sastavljen od mješavine plastičnog i papirnato otpada, a prema analizama spaljivanje takvog otpada značajno smanjuje emisiju stakleničkih plinova.

## 6.3. Ambalažni otpad u Republici Hrvatskoj

Prema istraživanjima fonda za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost (FZOEU), u 2019. godini sakupljeno je 152 682 t ambalažnog otpada što iznosi 51 % količina stavljenih na tržište. Sakupljeni ambalažni otpad sastojao se uglavnom od ambalažnog otpada od papira i kartona (51,4 %), staklenog ambalažnog otpada (28,5 %) te otpadne plastike (17,6 %), dok je ostatak činila otpadna ambalaža od metala i otpadna ambalaža od drveta i ostalih ambalažnih materijala. Na slici 20. je prikaz udjela sakupljene otpadne ambalaže po materijalima u 2019. godini. [23]



**Slika 20. Udjeli sakupljene otpadne ambalaže u 2019. godini po materijalima [23]**

Stope uporabe i recikliranja računaju se kao odnosi oporabljenih, odnosno recikliranih količina ambalažnog otpada i količina ambalaže stavljene na tržište u istoj godini. Količina ambalaže stavljene na tržište, zbog prirode ambalažnog otpada i brzog tržišnog okretaja, može se izjednačiti sa količinom proizvedenog otpada u istoj godini. U 2019. godini oporabljeno je 29 % ambalažnog otpada. Cilj uporabe iznosi 60 %, stoga za 2019. godinu cilj uporabe nije bio postignut. Sve oporabljene količine su oporabljene materijalno tj. reciklirane su tako da je stopa recikliranja u 2019. godini bila jednaka stopi uporabe i iznosila je 49 %. Također, cilj recikliranja koji iznosi 55-80 % nije bio postignut. U tablici 3. prikazana je količina ambalaže stavljene na tržište te sakupljena i reciklirana ambalaža u razdoblju od 2013. do 2019. godine. [23]

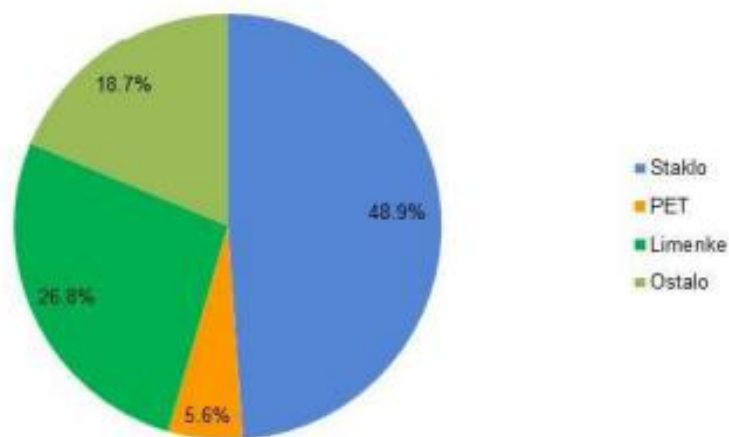
**Tablica 3. Količine ambalaže stavljene na tržište te količine sakupljene i recikliranje otpadne ambalaže u razdoblju od 2013. do 2019. godine [23]**

	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.	2018.	2019.
Stavljeno na tržište (t)	198.570	204.707	215.534	229.431	263.678	277.163	301.099
Sakupljeno (t)	116.796	110.217	140.441	136.628	140.672	142.807	152.682
Oporabljeno	116.796	100.969	129.554	125.359	140.538	138.633	147.198
Reciklirano	116.796	100.969	129.554	125.359	140.538	138.633	147.198
STUPANJ Oporabe	59%	49%	60%	55%	53%	50%	49%
STUPANJ Recikliranja	59%	49%	60%	55%	53%	50%	49%

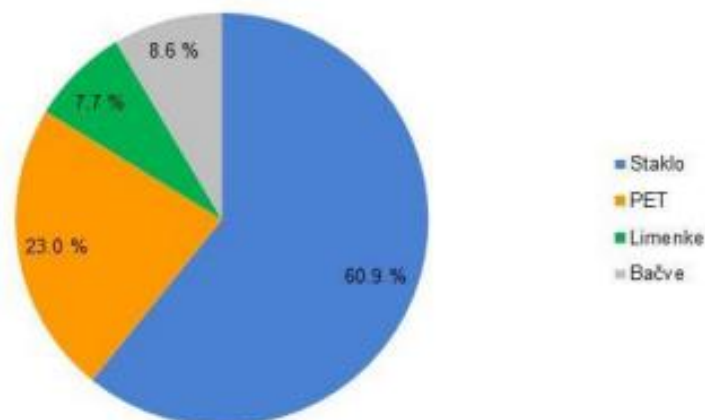


## 7. PREDNOSTI I NEDOSTACI AMBALAŽE ZA PIVO

Budući da je pivo jedno od najraširenijih alkoholnih pića u svijetu, jasno je da velik udio u ambalažnom otpadu čini ambalaža za pivo. Iako je još uvijek najzastupljenija staklena ambalaža za pivo, sve veći problem stvaraju plastična PET ambalaža i aluminijske limenke koje postaju sve zastupljenije zbog svoje praktičnosti. Slike 21. i 22. prikazuju prosječno učešće pivske ambalaže na tržištu Europe, odnosno prosječno učešće pivske ambalaže na tržištu Hrvatske. Većina takve ambalaže završava na deponijima te se ne odvaja adekvatno kako bi se oporabila, odnosno reciklirala. Velika razlika između staklene ambalaže za pivo te ovih dviju jest to što staklena boca za pivo može izdržati više od 40 ciklusa ponovne uporabe. Dakle, ukoliko se staklena boca za pivo nakon uporabe vrati proizvođaču bez oštećenja, ona će proći kroz proces pranja te biti ponovno etiketirana, napunjena, začepljena i spremna za prodaju. S druge strane, svako točenje piva u plastičnu ambalažu ili limenku jest točenje u novu ambalažu. Jasno je da su to enormne količine nove ambalaže za tržište te svakodnevno stvaranje potencijalnog otpada koji će samo širiti volumen deponija ako se kvalitetno ne odvaja kako bi se reciklirao. S obzirom na podatke iznesene u prethodnoj točki za ambalažu općenito, jasno je da i ambalažni otpad od piva ne zadovoljava ciljeve te velik dio plastične i metalne ambalaže završava na deponijima.



Slika 21. Prosječno učešće pivske ambalaže na tržištu Europe [24]



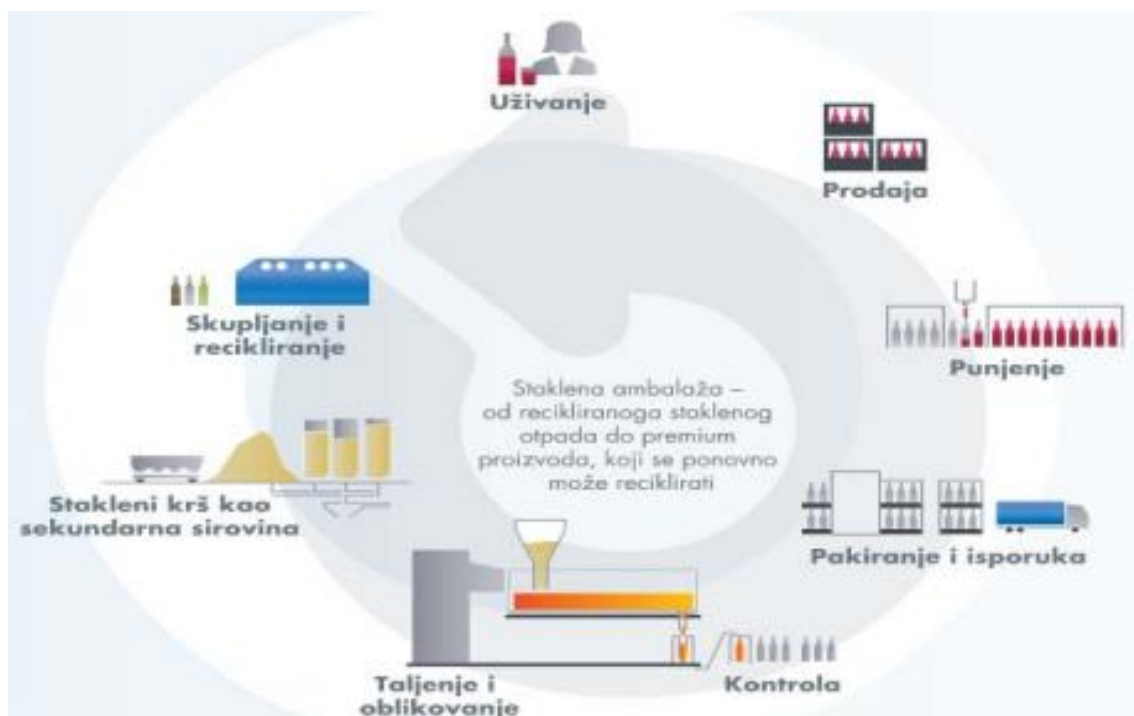
**Slika 22. Prosječno učešće pивske ambalaže na tržištu Hrvatske [24]**

Staklo je jedna od najzdravijih i za okoliš najprihvatljivija ambalaža, a danas je sve manje i manje zastupljena. S obzirom da je transport visoko sofisticiran i tehnologiziran, lomljivost stakla više nije velik nedostatak niti predstavlja znatan dodatan trošak. Također, staklo se može reciklirati neograničen broj puta te se staklena ambalaža treba što učestalije upotrebljavati budući da među potrošačima već postoji kultura postupanja sa staklenom ambalažom za višekratnu uporabu, zamjenu, čuvanje i vraćanje. Isto tako, cijena staklene ambalaže je mnogo jeftinija od svih drugih vrsta ambalaže.

Uz činjenicu da je staklena ambalaža mnogo jeftinija od svih drugih, važno je naglasiti i kako staklena ambalaža ulijeva i najviše povjerenja potrošačima. Istraživanja pokazuju da je jedna od najvećih bojazni potrošača vezana uz prelazak kemijskih spojeva iz ambalaže u koju je proizvod upakiran u sam proizvod. Iako se rizik zagađivanja hrane takvim sastojcima smatra niskim, to je problem koji se često zanemaruje, a ne bi trebao biti zanemaren. Staklena ambalaža se pritom pojavljuje kao odlično rješenje. [25]

Glavni cilj staklene ambalaže za pivo jest da se nakon uporabe sačuva te vrati kako bi ju punionice ponovne mogle iskoristiti. Iz tog razloga osmišljen je sistem kaucije koji već niz desetljeća funkcionira i daje zavidne rezultate, posebice u Češkoj gdje se čak 98 % pivskih boca poslanih na tržište vraća u pivovare. Naime, ne postoji evidencija koja bi pokazala koliko se točno povratnih boca nalazi na tržištu Češke Republike, no neke procjene govore da se radi o pola milijarde komada. Razlozi visokog povjerenja u povratne boce su visoka kaucija, duga tradicija i sofisticiran sustav kontrole na liniji punjenja (tzv. inspektori – uređaji koji prepoznaju oštećene boce i skidaju ih s linije, tako da one ne idu kupcima). U pivovari Prazdroj Plzeň, koja drži polovicu češkog tržišta piva kažu da se kod boca za pivo od 0,5 l postotak vraćanja kreće oko 98 %, dok je kod malih boca zapremnine 0,33 l on nešto manji,

budući da mnogi potrošači misle da to nije povratna boca pa ju bace. Također, pivovara Svijany u Češkoj tvrdi da njihov povrat boca iznosi 99 %. Na slici 23. prikazan je kružni tok staklene ambalaže za pivo. [26]



Slika 23. Kružni tok staklene ambalaže [27]

Prije manje od desetljeća točno je pivo činilo 51 % ukupnog prodanog piva, dok je 49 % na tržište dolazilo flaširano. Danas je ta situacija potpuno drugačija te pakirano pivo sada čini čak 61 % tržišta, dok je točenog 39 %. Od svih ambalaža za pivo staklena povratna boca zapremnine 0,5 l čini većinu od 60 % iako je zabilježen nagli rast udjela plastične boce i limenke. Neke pivovare flaširaju pivo isključivo u staklene boce, odbijajući plastiku i limenke jer tu vrstu ambalaže smatraju lošom za pivo. [26]

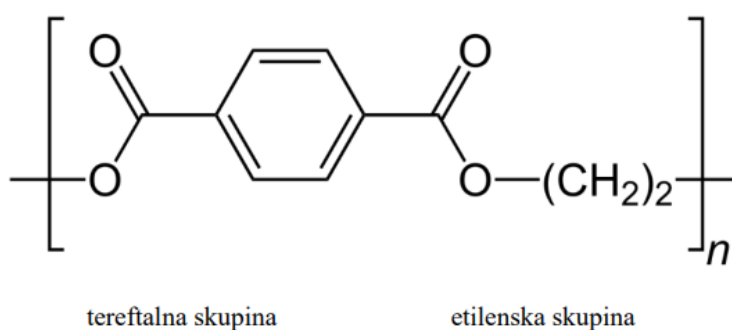
Kao što je već i spomenuto, limenke piva su tokom godina postale omiljena ambalaža za pivo budući da njihova praktičnost omogućava ispijanje piva bilo gdje. Iz tog je razloga danas sasvim normalno na dnu mora vidjeti limenku piva i pritom se ne začuditi. Jednoj aluminijskoj limenki je potrebno 80 do 100 godina na kopnu te čak 200 godina u moru da se razgradi. Jasno je da najveći problem stvara pravilno odlaganje i odvajanje metalne ambalaže, a to je ključ za kvalitetno recikliranje. Recikliranjem jedne tone aluminijskih limenki uštedi se pet tona boksita i utroši se 20 puta manje energije. Također, metali, pa tako i aluminij, imaju velik postotak iskoristivosti. Aluminijski otpad ima znatnu tržišnu vrijednost te se može ponovno reciklirati bez gubitka svojstava. Atomska struktura aluminija se ne mijenja tijekom

taljenja te se za aluminij često zna reći da ima svojstvo „beskonačnog recikliranja“. Proizvodnjom aluminija od recikliranog aluminijuskog otpada troši se samo 5 % energije u odnosu na proizvodnju primarnog aluminija (iz aluminijske rude – boksita), što je značajan doprinos održivosti. Ipak, pivovare svakodnevno pune svoje proizvode u nove aluminijske limenke te tako povećavaju volumen deponija budući da većina tih limenki završi na deponiju, a ne u spremnicima predviđenim za njihovo odlaganje te potom recikliranje.

Također, osim spomenutog problema stvaranja otpada, limenke za pivo sklone su koroziji i migraciji aluminija iz ambalaže u pivo. Uporaba aluminija veoma je raširena u pivarskoj industriji jer, osim limenki, od aluminija još mogu biti izrađeni filteri, fermentori itd. Koncentracija aluminija u svijetlom pivo pri temperaturi od 4°C iznosi od 170 do 360 µg/l, dok se pri temperaturi od 22°C količina aluminija može povećati čak do 520 µg/l. [28]

Plastična ambalaža za pivo sve je zastupljenija među ambalažom za pivo. Naravno, plastična je boca mnogo lakša od staklene i teže je lomljiva, a time i sigurnija. No, unatoč tako hvaljenoj praktičnosti PET boca, iznimno je važno istaknuti često prešućenu činjenicu da masovno pakiranje u nepovratnu PET ambalažu znači i golem porast volumena smeća i dodatno pogoršanje ionako već katastrofalnog stanja na odlagalištima smeća. Dok je za konzumiranje sadržaja PET boce dovoljno samo nekoliko trenutaka, razgradnja te iste boce bačene u okoliš traje i do nekoliko stotina godina.

Gotovo sva plastična ambalaža za pivo napravljena je od PET-a. Polietilen tereftalat (PET) pripada skupini plastomera, s osnovnom ponavljajućom jedinicom koja se sastoji od tereftalne i etilenske skupine. Razvijen je u SAD-u davne 1941. godine. Početkom pedesetih godina prošlog stoljeća počeo se koristiti kao osnova za izuzetno kvalitetna umjetna vlakna u tekstilnoj industriji, a sedamdesetih godina počela je njegova šira primjena, odnosno počeo se primjenjivati za izradu spremnika pića, hrane i ostalih tekućina. Njegova struktura prikazana je na slici 24. [29]



Slika 24. Strukturna formula polietilen tereftalata, PET [29]

Polietilen tereftalat je materijal koji ima iznimnu čvrstoću, otpornost na visoke i niske temperature te otpornost na trošenje. Vrlo je male mase i može se lako savijati te ima odličnu nepropusnost na plinove, vlagu i otapala. Glavne prednosti PET-a su žilavost, prozirnost i sjaj. Otporan je na naprezanja i veoma je izdržljiv. Ima odličnu nepropusnost na vodenu paru, kisik i ugljikov dioksid, a proizvodnja PET-a je veoma ekonomična i praktična. Ipak, jedan od velikih nedostataka PET-a jest već spomenuto oduzimanje velikih prostora na odlagalištima te sadržavanje kemikalija i jako dugo vrijeme trajanja razgradnje. Iz tog je razloga nužno reducirati uporabu plastične PET ambalaže za pivo te koristiti alternativu ili posegnuti za novim i inovativnim rješenjima. [29]

Nekoliko je rješenja koja se nameću kako bi se reducirala uporaba PET ambalaže za pivo. Pouzdana i provjerena alternativa je svakako staklena ambalaža, a moguće rješenje je i povratna PET ambalaža za višekratnu uporabu. Osim toga, **danase sve više radi na tome da se PET ambalaža u što većoj mjeri nadomjesti papirnatom** bez obzira na dodatne troškove ispitivanja izdržljivosti papirnate ambalaže za pivo.

## 8. PRIMJENA PAPIRNATE AMBALAŽE

U današnje je vrijeme sasvim normalno da se svaka veća kompanija za proizvodnju pića susreće s osudama zbog stvaranja velike količine otpada zbog jednokratne ambalaže koju koristi za svoje proizvode, a koja, kako je već spomenuto, uvelike povećava volumene ionako već pretrpanih odlagališta. Također, veliki problem s kojim te iste kompanije vode bitku jest ugljikov otisak.

Ugljikov otisak (engl. *carbon footprint*) podrazumijeva ukupnu emisiju stakleničkih plinova koji izravno ili neizravno uzrokuje neka osoba, tvrtka ili događaj. Iako nazvan ugljikovim, navedeni se otisak ne odnosi isključivo na emisije ugljikovog dioksida, nego i na emisije ostalih stakleničkih plinova. Nazvan je ugljikovim zato što najznačajniji udio u emisiji stakleničkih plinova ima upravo ugljikov dioksid koji nastaje pri izgaranju fosilnih goriva u domaćinstvima, tvornicama i energanama. Ostali staklenički plinovi imaju također znatan učinak u nastajanju ugljikova otiska. Tako naprimjer metan ima 25 puta snažniji učinak po kilogramu mase od ugljikovog dioksida. Dušikov oksid, iako nastaje u manjim količinama, ima čak 300 puta jači učinak. [30]

Općenito ugljikov otisak predstavlja ukupnost svih stakleničkih plinova koji posredno pridonose globalnom zagrijavanju utjecajem na okoliš izraženim u CO<sub>2</sub> ekvivalentu. Ekvivalent CO<sub>2</sub> univerzalna je mjerna jedinica za utjecaj stakleničkih plinova na Zemlju. S obzirom na to da plinovi imaju različite potencije, uvedena je mjerna jedinica za emisije iz svih izvora. Pretjerana količina stakleničkih plinova u atmosferi drastično utječe na ekosustav i narušava krhku ravnotežu u prirodi. Ugljikov otisak odnosi se na sljedeće izravne posljedice klimatskih promjena [30]:

- Porast prosječnih globalnih temperatura – Svjetska je meteorološka organizacija potvrdila da je 2015. godina bila najtoplija otkad postoje mjerenja, a čak 14 od 15 najtoplijih godina dogodile su se u ovome stoljeću, što se očituje u sve češćim i intenzivnijim toplinskim valovima.

- Porast razine mora i oceana – Prema 5. izvješću IPCC-a (Međuvladin panel za klimatske promjene) godišnji porast razine mora i oceana iznosi je 1,7 mm, dok sada iznosi 3 mm.
- Promjene učestalosti i intenziteta oborina – Učestalija je pojava poplava i/ili dugih sušnih razdoblja.
- Pojava klimatskih ekstrema – Češći su jaki vjetrovi orkanske snage (uragani i tajfuni).

Velike kompanije za proizvodnju pića već su krenule u svoje misije osmišljavanja ekološki održive ambalaže koja bi uvelike utjecala na smanjenje ugljikovog otiska i olakšala recikliranje te samim time i stvaranje velikih količina otpada. Glavna ideja jest papirnata ambalaža, a globalna kompanija Coca-Cola već je krenula u izradu prototipa. Kroz ulaganja u istraživanja te testiranje primjena raznih tehnologija, Coca-Cola je proizvela prototip prve generacije boce čiji je vanjski sloj ambalaže načinjen od papira, ali s čepom i unutarnjim slojem koji sadrži plastiku. Iako je pri izradi ove boce korištena 100 % reciklirana plastika, koja se nakon upotrebe ponovno može reciklirati, konačni je cilj pronaći rješenje koje ne sadrži plastiku i u potpunosti je napravljena od papira. [31]



**Slika 25. Prototip papirnate boce kompanije Coca-Cola [31]**

Kao i svaka druga Coca-Colina ambalaža, i papirnata boca koja će se u budućnosti naći u rukama potrošača mora odgovarati visokim standardima sigurnosti i kvalitete, stoga prolazi kroz opsežna testiranja kojima se provjerava njeno ponašanje u rashladnim uređajima,

čvrstoća, kao i razina zaštite pića koje se u njoj nalazi. Navike potrošača se mijenjaju, a zdravi i aktivni životni stil te odgovoran odnos korporacija prema okolišu sve su važniji. Iz tog razloga Coca-Cola unosi promjene u svoje poslovanje koje su vidljive unutar i izvan boce, nastojeći ponuditi rješenja koja odgovaraju navikama potrošača, a pritom štite okoliš.

## 8.1. Primjena papirnate ambalaže za pivo

Govoreći o papirnoj ambalaži, postavlja se pitanje o njejoj uporabi u pivarskoj industriji, odnosno je li moguće da će se u skoroj budućnosti pivo, kao jedno od najčešće konzumiranih pića u svijetu, moći konzumirati iz papirnate ambalaže. Upravo je na to pitanje danska pivovara Carlsberg ponudila odgovor. Naime, Carlsberg grupacija je na posljednjem C40 svjetskom skupu gradonačelnika, koji se održao u Kopenhagenu, iznijela najnovije podatke o svom putu ka stvaranju prve papirne boce za pivo na svijetu. [32] Nazvali su je „Green Fiber Bottle“, što bi u prijevodu s engleskog jezika značilo *boca od zelenih vlakana*.

Carlsberg grupacija je predstavila dva nova prototipa papirne boce za pivo od kojih su oba prošla osnovni test – zadržati pivo na jednom mjestu bez prolijevanja. Također, grupacija je naglasila kako su joj se pridružile i druge vodeće svjetske kompanije u proizvodnji alkoholnih i bezalkoholnih pića, a koje su ujedinjenje u svojoj viziji razvoja održive ambalaže kroz napredak tehnologije papirnatih boca. Neke od kompanija su već spomenuta Coca-Cola i Absolut, svjetski poznati proizvođač žestokog pića votke. Ovaj razvoj je nastavak puta Carlsberg grupacije u smjeru održivih inovacija pakiranja i ključni dio programa grupacije koji se naziva „Zajedno prema nuli“ (*engl. Together Towards Zero*). Program se bazira na ideji o nultoj emisiji ugljika, a uvođenjem papirne boce u proizvodnju, Carlsberg ima namjeru smanjiti svoj ugljični otisak u punom lancu proizvodnje za 30 % do 2030. godine. [32]

Kao što je već i spomenuto, Carlsberg grupacija je predstavila dva nova prototipa papirne boce za pivo (Slika 26.), odnosno dva nova prototipa boca od zelenih vlakana. Obje su boce izrađene od drvenih vlakana iz održivih izvora te se mogu u potpunosti reciklirati, dok je unutrašnjost boce obložena tankim polimernim filmom. Prvi prototip boce kao unutrašnju barijeru koristi tanki reciklirani PET polimerni film, dok drugi prototip boce koristi PEF polimerni film na bazi 100 % biorazgradivog polimera. Oba su prototipa tek



početak Carlsberg grupacije prema ostvarivanju svog krajnjeg cilja – 100% biobazirane papirnate boce za pivo bez prisustva polimernih materijala. [32]



**Slika 26. Prototip papirnate boce za pivo grupacije Carlsberg [32]**

Grupacija Carlsberg je projekt Green Fiber Bottle započela 2015. godine zajedno sa stručnjacima za inovacije EcoXpac i istraživačima na postdoktorskom studiju na Danskom tehničkom fakultetu (DTU) uz podršku inovacijskog fonda Danske. Nedugo nakon toga, projekt je prepoznat od strane kompanije za pakiranje BillerudKorsnäs. Zajedničkom suradnjom na projektu Green Fiber Bottle osnovana je kompanija specijalizirana za proizvodnju i razvoj papirnatih boca Paboco.

Tako je tvrtka Paboco jedan od glavnih svjetskih sudionika u procesu razvoja papirnate boce za pivo (koji uključuje i proizvodnju papirnatih boca): cilj joj je ponuditi tržištu rješenja za održivu budućnost u vidu 100 % biobaziranih papirnatih boca ne samo za pivo već i za druga pića, koja se mogu u potpunosti reciklirati uz očekivanje pozitivne reakcije potrošača. [33]

Svojstva papirnate boce tvrtke Paboco na kojima se ujedno i temelji prototip Carlsbergove papirnate boce za pivo jesu (Slika 27.) [33]:

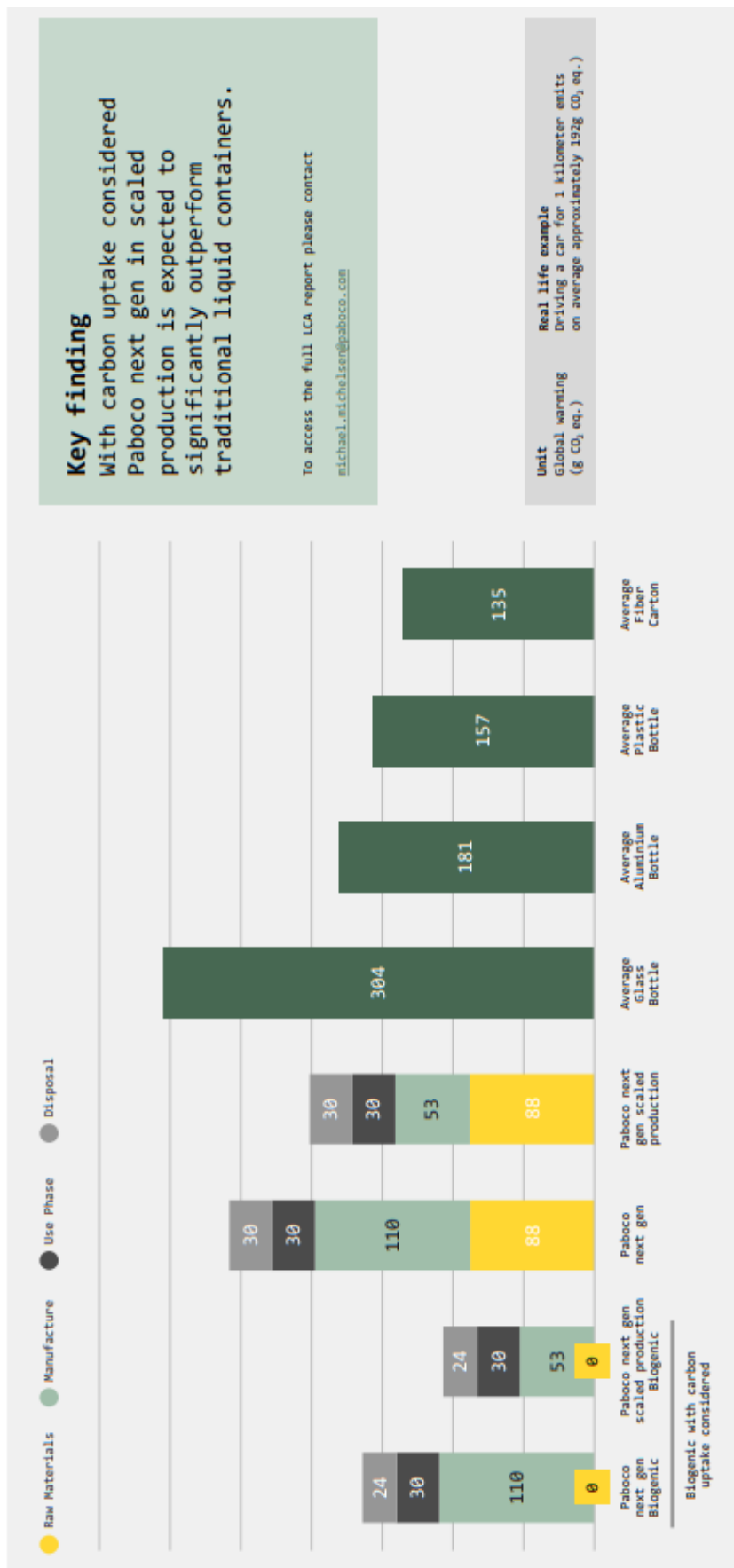
- mogućnost recikliranja kao bilo koje druge papirnatih ambalaže
- 85 % boce čini papir, dok 15 % čini unutrašnji tanak polimerni film
- okolišno odgovorni izvori papira za proizvodnju boce
- dostupna u zapreminama od 0,5 l i 0,33 l
- mogućnost prilagođene konstrukcije boce
- mogućnost poboljšanja dizajna boce utiskivanjem i graviranjem.



**Slika 27. Papirnata boca tvrtke Paboco [33]**

U tvrtki Paboco se vjeruje kako se njihovom proizvodnjom papirnatih boca mogu umanjiti emisije stakleničkih plinova do 32 % uspoređujući se s današnjim proizvođačima i materijalima u proizvodnji ambalaže za piće. Također, tvrtka je napravila usporednu analizu održivosti (Slika 28.) kojom je pokazana razina emisije prilikom proizvodnje papirnatih boca i uvriježene ambalaže za pivo kao što je ona od stakla, plastike i aluminija.

Industry comparison - LCA of global warming effects



Slika 28. Usporedna analiza održivosti ambalaže, prema tvrtki Paboco [33]

## 8.2. Proces proizvodnje papirnatih boce za pivo

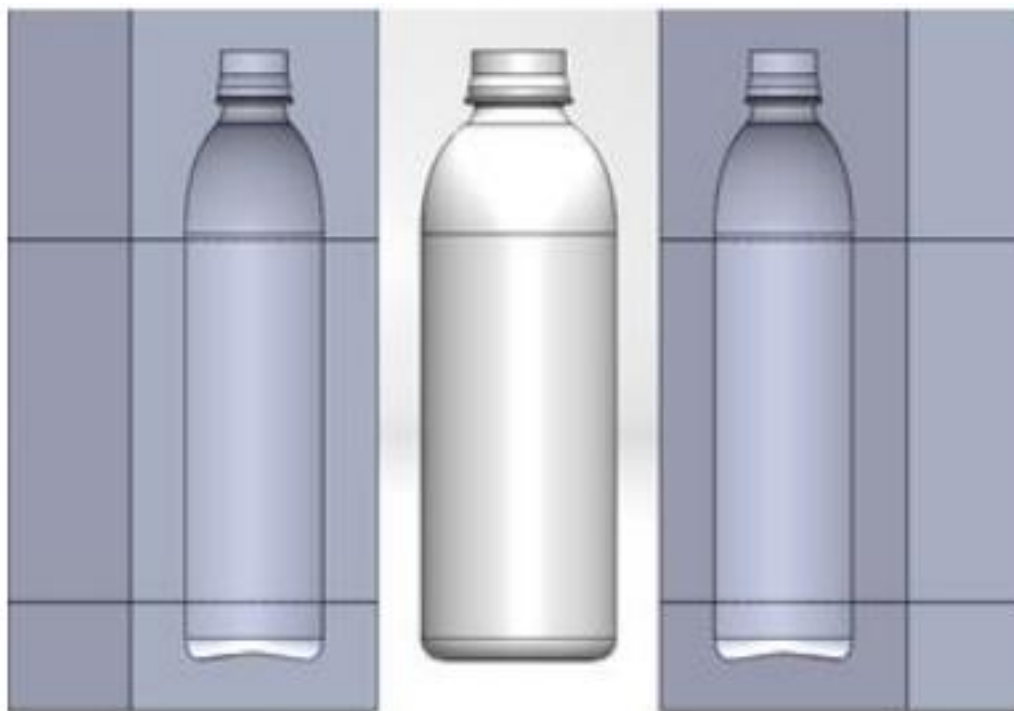
Papirnati dio boce za pivo, izrađen od ukalupljene papirnatih mase, potpuno je biološki razgradiv. Proizvodnja papirnatog dijela boce ovisi o korištenoj tehnologiji proizvodnje. Najčešće korištene tehnologije proizvodnje jesu impulsno sušenje te FORMCELL – nova metoda koja omogućava ubranu rekonfiguraciju kalupa te posjeduje potencijal za značajno poboljšanje procesa proizvodnje papirnatog dijela boce i postizanje u potpunosti održivog pakiranja. [34]

Ambicija projekta Green Fiber Bottle jest da se konstruira u potpunosti biorazgradiva boca bez dodatka polimernih materijala. Takva bi boca u potpunosti zamijenila trenutnu plastičnu i staklenu ambalažu za pivo te bi uvelike utjecala na ekološku održivost i sam okoliš, a posebno na more i oceane. Jedan od glavnih razloga zašto se teži ovoj vrsti ambalaže za pivo jest životni vijek plastične ambalaže u morima i oceanima koji je otprilike 500 godina. Tokom svog boravka u morima i oceanima, plastična se ambalaža razgrađuje i reducira na puno manjih čestica, odnosno mikroplastiku koja negativno utječe na veliku većinu morskih životinja i skraćuje im životni vijek. Budući da se radi o prehrambenoj namirnici, papir za izradu boce trebao bi biti prethodno nekorišten, odnosno za svaku bi se bocu trebao koristiti novi papir koji bi ušao u reciklirajući krug te se ili reciklirao kao i svaki drugi proizvod na bazi papira ili potpuno razgradio u prirodi. [34]

Kako bi se smanjio ugljični otisak i potvrdila održivost papirnatih boce, tehnologija proizvodnje mora ponuditi mogućnost osjetne uštede energije. Papirnati dio boce izrađen je od drvenih vlakana raspršenih u vodi koji se zatim formiraju i suše. Tokom procesa sušenja troši se relativno velika količina resursa kao što su energija i vrijeme. Upravo se u procesu sušenja mogu primijeniti inovativne tehnologije kao što je impulsno sušenje. Impulsno sušenje je tehnologija koja omogućuje uklanjanje velike količine vode iz mokre papirnatih mase kombinacijom mehaničkog pritiska i intenzivne topline. To su uvjeti koji omogućuju sušenje mokre papirnatih mase u sekundama. Kako bi se optimizirao proces impulsnog sušenja ključne su dvije varijable koje utječu na suhu tvar, a to je vrijeme procesa impulsnog sušenja te temperatura. [34]

FORMCELL tehnologija (*engl. Flexible Tool Making Process for Wet Molding of Cellulose*) veoma efektivno skraćuje vrijeme prelaska mokre papirnatih mase u čvrsti proizvod što je danas najveći i najskuplji izazov u industriji papirnatih masa. Tehnologija omogućuje

proizvodnju trodimenzionalnih zatvorenih oblika kao što je papirnata boca za pivo (Slika 29.). [34]



**Slika 29. Konveksni i konkavni kalupi za proizvodnju zatvorenih trodimenzionalnih oblika od papirnatih masa [34]**

Obje tehnologije, impulsno sušenje i FORMCELL imaju potencijala za poboljšanje i olakšavanje proizvodnje ambalaže od papirnatih masa, a sve u svrhu postizanja u potpunosti održive ambalaže.

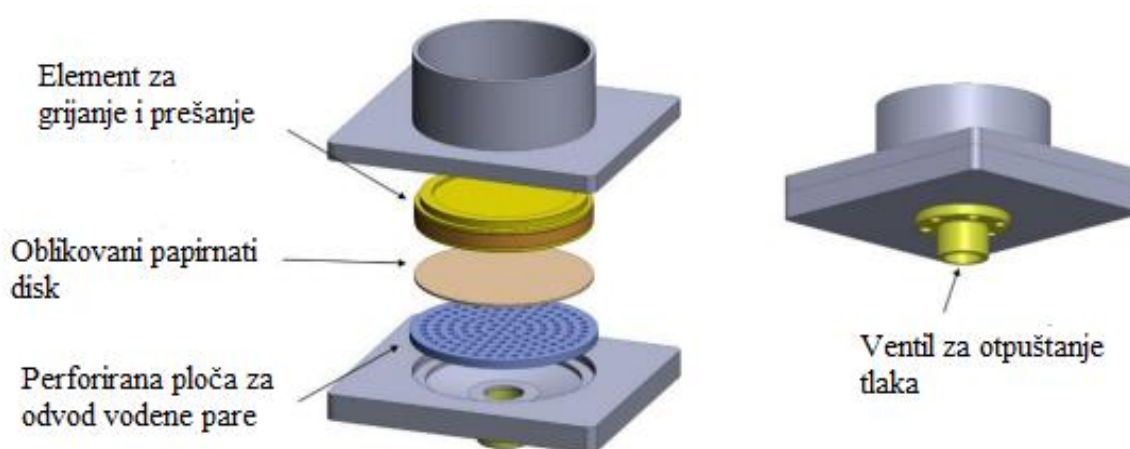
### 8.3. Impulsno sušenje

Impulsno sušenje je napredna tehnologija sušenja u kojoj se voda iz mokre papirnatih mase uklanja kombinacijom mehaničkog pritiska i intenzivne topline. Tehnologija je predstavljena početkom 1980-ih godina te je privukla značajan interes u papirnoj industriji zbog iznimno niske potrošnje energije tokom procesa. [34]

U procesu je mokra papirnata masa izložena tlaku u rasponu od 30 do 50 bara i temperaturama u rasponu od 150°C do 300°C. Pri tim se uvjetima mokra papirnata masa suši u nekoliko sekundi, a sušenje papirnatih masa u tako kratkom vremenu ključ je uštede energije kod procesa impulsnog sušenja. [34]

Primjena koncepta impulsnog sušenja za proizvodnju proizvoda od papirnate mase, kao što je papirnata boca za pivo, tek se nedavno počela koristiti, a uvjeti proizvodnje definirani su parametrima koji su temperatura i tlak procesa te vrijeme trajanja procesa. Također, prethodno nabrojana tri parametra ključni su parametri na kojima se temelji tehnologija impulsnog sušenja. [34]

Testni laboratorijski uređaj (Slika 30.) za sušenje papirnatih masa koji koristi koncept impulsnog sušenja osmišljen je i dizajniran u kompaniji EcoXpac koja je imala veliku ulogu u razvoju prva dva prototipa papirnatih boca za pivo grupacije Carlsberg. Uređaj ima mogućnost sušenja unaprijed oblikovanog diska od papirnate mase promjera 200 mm.



Slika 30. Testni laboratorijski uređaj za impulsno sušenje kompanije EcoXpac [34]

Proces impulsnog sušenja sastoji se od sljedećih koraka [34]:

1. Komora u koju se postavlja mokri disk mora biti pod tlakom od 20 bara.
2. Vruća površina se postavlja u dodir sa samo jednom stranom diska, a temperatura,  $T$  [°C], mora biti konstantna tokom vremena kontakta,  $ct$  [s].
3. Zatim se tlak iz komore oslobađa te se određeno vrijeme primjenjuje vakuum kako bi se disk u potpunosti osušio (vakuumsko vrijeme,  $vt$  [s]).

Naposljetku, suhoća diska jest glavni pokazatelj učinkovitosti procesa, a to se prikazuje formulom [34]:

$$Suhoća = \frac{m_{mokri\ disk} - m_{suhi\ disk}}{m_{mokri\ disk} - m_{idealno\ suhi\ disk}} .$$

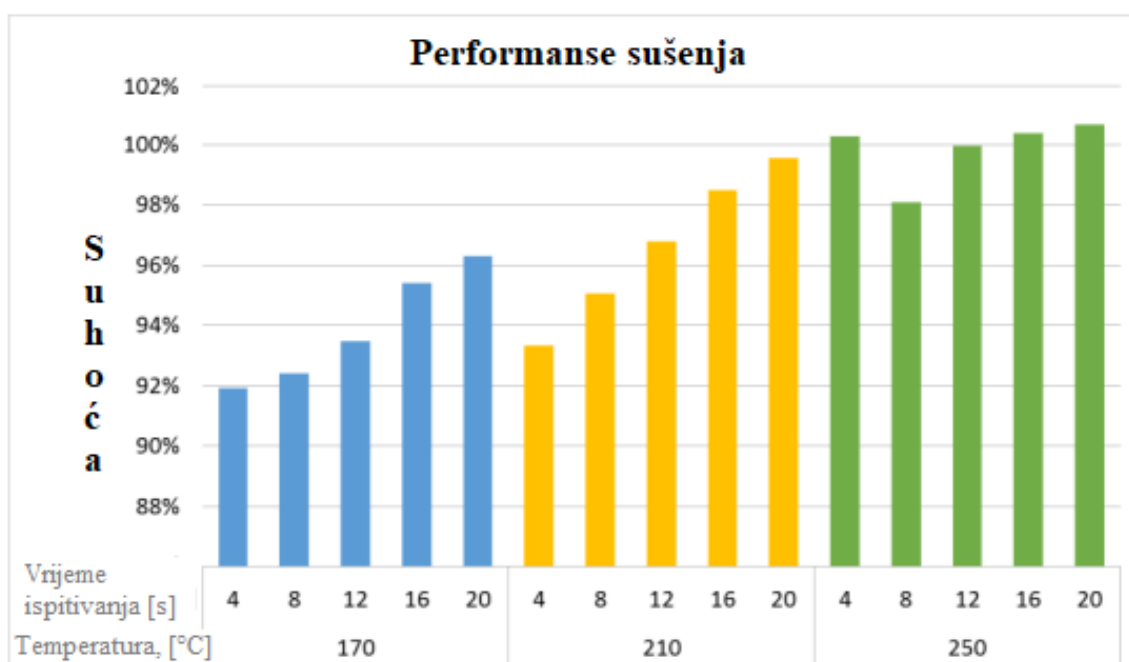
Što se tiče performansi sušenja, osmišljeno je i provedeno eksperimentalno ispitivanje u kojima su korišteni osnovni parametri impulsnog sušenja koji su se mijenjali, a ispitivanje je

ponovljeno tri puta. U tablici 4. prikazani su osnovni parametri impulsnog sušenja te njihove vrijednosti prilikom svakog od tri mjerenja. [34]

**Tablica 4. Parametri i njihove vrijednosti prilikom eksperimentalnog ispitivanja impulsnog sušenja [34]**

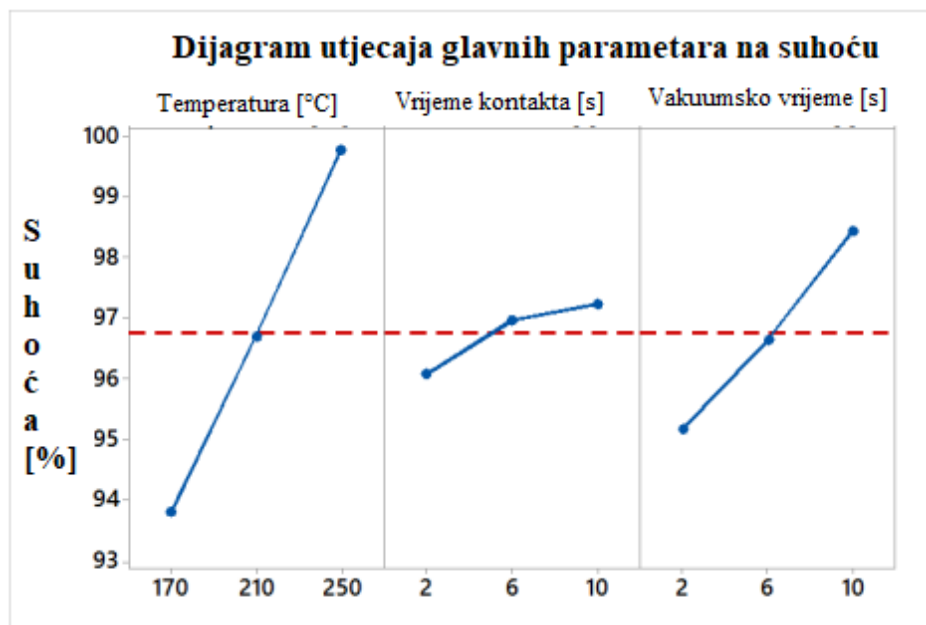
Parametri	Vrijednosti
Vrijeme kontakta, $t[s]$	2, 6, 10
Vakuumsko vrijeme, $v[s]$	2, 6, 10
Temperatura, $T[^\circ\text{C}]$	170, 210, 250

Kako bi rezultati ispitivanja bili što jasniji, vrijeme kontakta i vakuumsko vrijeme definirani su kao jedan parametar koji se naziva vrijeme ispitivanja. U grafu (Slika 31.) je prikazano kolika je suhoća diska postignuta, ovisno o osnovnim parametrima, pa je tako naprimjer papirnati disk gramature  $500\text{ g/m}^2$  u četiri sekunde postigao postotak suhoće od 92 %. [34]



**Slika 31. Performanse sušenja [34]**

Također, postavlja se pitanje o utjecaju pojedinih parametara na finalnu suhoću. Slika 32. prikazuje u kolikoj mjeri glavni parametri impulsnog sušenja utječu na finalnu suhoću papirnato disk. Iz grafa je jasno vidljivo kako je temperatura najutjecajnije nakon čega slijedi vakuumsko vrijeme. [34]



Slika 32. Dijagram utjecaja glavnih parametara na finalnu suhoću [34]

## 8.4. FORMCELL

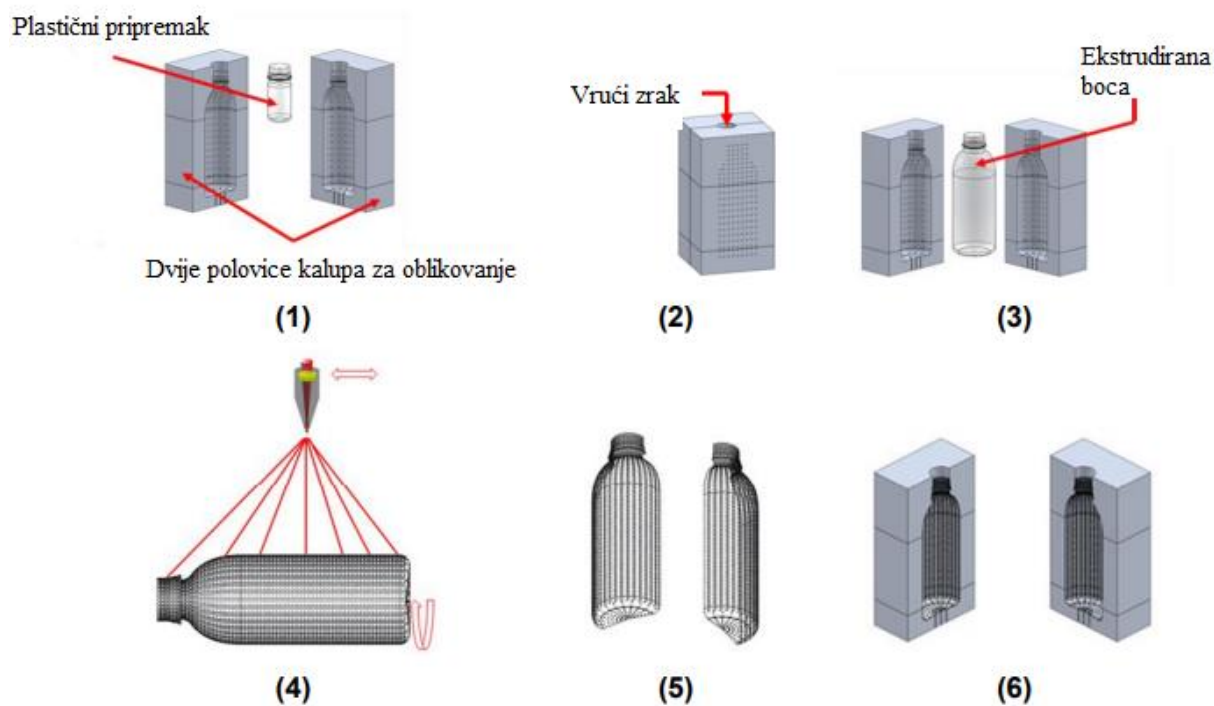
FORMCELL je tehnologija koja obuhvaća skup elemenata i metoda kojima se olakšava i ubrzava rekonfiguracija kalupa. Zbog svoje jednostavnosti tehnologija omogućava sastavljanje kalupa raznolikih oblika i veličina. [34]

Općenito, proizvodni proces komada od mokre papirnate mase u kalupima zasniva se na dva osnovna koraka, a to su vakuumsko oblikovanje papirnate mase u željeni oblik te sušenje u svrhu otklanjanja ostataka vode. U procesu oblikovanja mokra papirnata mase se usisava u kalup mrežaste strukture od nehrđajućeg čelika koja ima oblik konačnog proizvoda te nakon sušenja poprima oblik kalupa. [34]

FORMCELL tehnologija omogućava zamjenu mrežaste strukture čelika termoplastičnim materijalom koji ima potpuno istu funkciju, ali se lakše oblikuje te je mnogo jeftiniji. Termoplastičnim materijalom moguće dobiti oblik boce ekstruzijskim puhanjem. Ekstruzijsko puhanje koristi plastične epruvete koje se uobičajeno koriste u proizvodnji plastičnih boca. Plastična se epruveta postavlja između dva kalupa i upuhivanjem vrućeg zraka pod pritiskom stijenke epruvete se šire sve dok ne popune unutrašnju šupljinu kalupa i poprime željeni oblik proizvoda. Zatim se plastična boca željenog oblika vadi iz kalupa te se na njoj uz pomoć lasera buše male rupe. Laser buši velik broj malih rupa čiji je promjer od



200 do 250  $\mu\text{m}$  te se dobiva mrežasta struktura veoma slična onoj čeličnoj. Na kraju se formirana plastična mreža siječe na dva dijela te se svaka polovica postavlja u unutarnju šupljinu kalupa. [34]



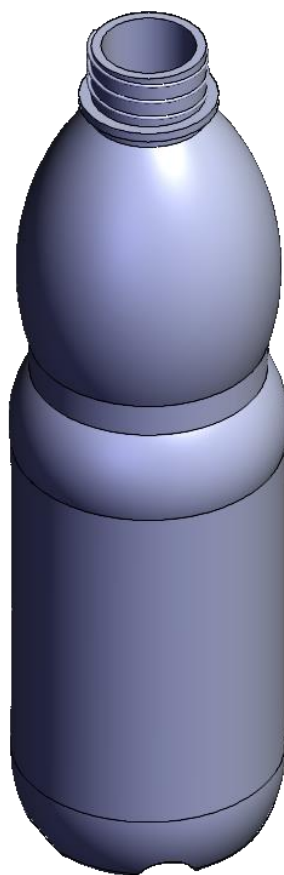
**Slika 33. Postupci procesa tehnologije FORMCELL primijenjene prilikom izrade papirnate boce za pivo [34]**

## 9. KONCEPT UVOĐENJA PAPIRNATE AMBALAŽE ZA PIVO U POSTOJEĆI SUSTAV PUNIONICE PIVA

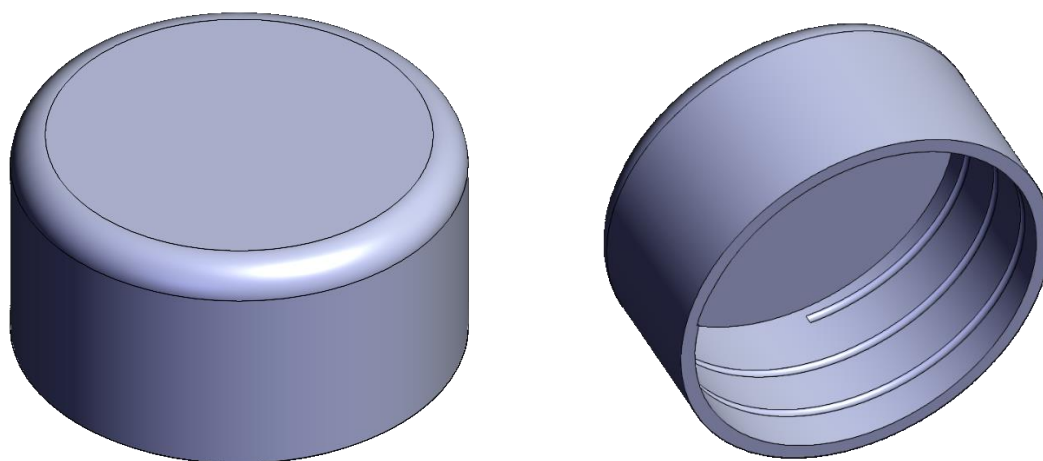
Glavna ambicija za pokretanje projekta papirnatih ambalaža za pivo jest postizanje cilja u vidu potpuno biorazgradive papirnatih ambalaža za pivo koja bi mogla obavljati svoje osnovne funkcije bez dodatka polimernih materijala. Stoga je u ovom poglavlju oblikovana u potpunosti biorazgradiva papirnata ambalaža za pivo te istražena mogućnost njene implementacije u već postojeći sustav punionice piva. Također, opisan je način pakiranja predložene ambalaže u svrhu što boljeg i kvalitetnijeg skladištenja.

### 9.1. Oblikovanje biorazgradive papirnatih boce za pivo i osnovni proces pakiranja

Biorazgradiva papirnata boca za pivo osmišljena je kako bi se mogla reciklirati, ali i u potpunosti razgraditi ako završi u prirodi. Zamišljena je kao ekološki održiva alternativa postojećim ambalažama za pivo. Kako bi se ovaj projekt ostvario, potrebno je bilo najprije razviti bocu, ali potom i koncipirati proizvodni proces kojim bi se vlakna celuloze oblikovala u bocu. Boca je **u potpunosti biorazgradiva, napravljena od vlakana celuloze**. Čep, koji uz pomoću navoja zatvara bocu, je također izrađen od vlakana celuloze te je u potpunosti biorazgradiv. Na slici 34. prikazan je koncept biorazgradive papirnatih boce za pivo, dok slika 35. prikazuje njen pripadajući čep. Boca je zapremnine 0,33 l te joj masa iznosi 20 grama. Najveći promjer boce iznosi 60 mm, dok je visina boce 200 mm.



**Slika 34. Koncept biorazgradive papirnate boce za pivo**



**Slika 35. Papirnati čep**

Kako bi se papirnate boce nakon punjenja pivom osigurale od oštećenja i vanjskih utjecaja tokom transporta i skladištenja (tzv. distribucijsko pakiranje), osmišljena je kartonska

kutija u koju su boce pohranjene: kartonska kutija sa pregradama (Slika 36.) predviđena je za smještaj 24 papirnate boce. Širina kutije iznosi 260 mm, duljina 390 mm, visina 250 mm, dok je debljina kartona 2 mm.

Proces pakiranja predviđa se takav da se nakon što su na liniji boce napunjene, začepljene i etiketirane, a kartonska kutija formirana, vakuumskom hvataljkom manipulatora (ili robota) uzima po 24 papirnate boce odjednom te ih umeće u kartonsku kutiju koja se zatim zatvara. Nakon što je kutija zatvorena, isti manipulator kutiju paletira – postavlja ju na europaletu (Slika 37.). Dimenzije kutija i europaleta omogućavaju da na europaletu stanu 54 kutije: šest redova po devet kutija (sveukupno 1296 boca). Nakon što je europaleta napunjena s 54 kutije, uz pomoć motalice se folijom omotava u svrhu zaštite i stabilnosti tokom transporta i skladištenja<sup>1</sup>.

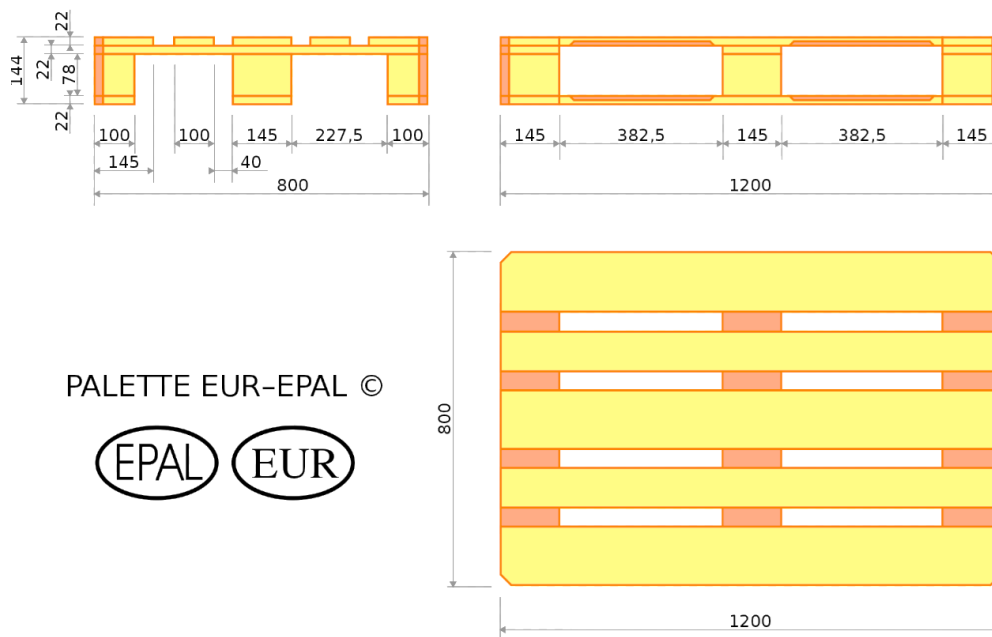


**Slika 36. Kartonska kutija s pregradama koja omogućuje smještaj 24 papirnate boce**

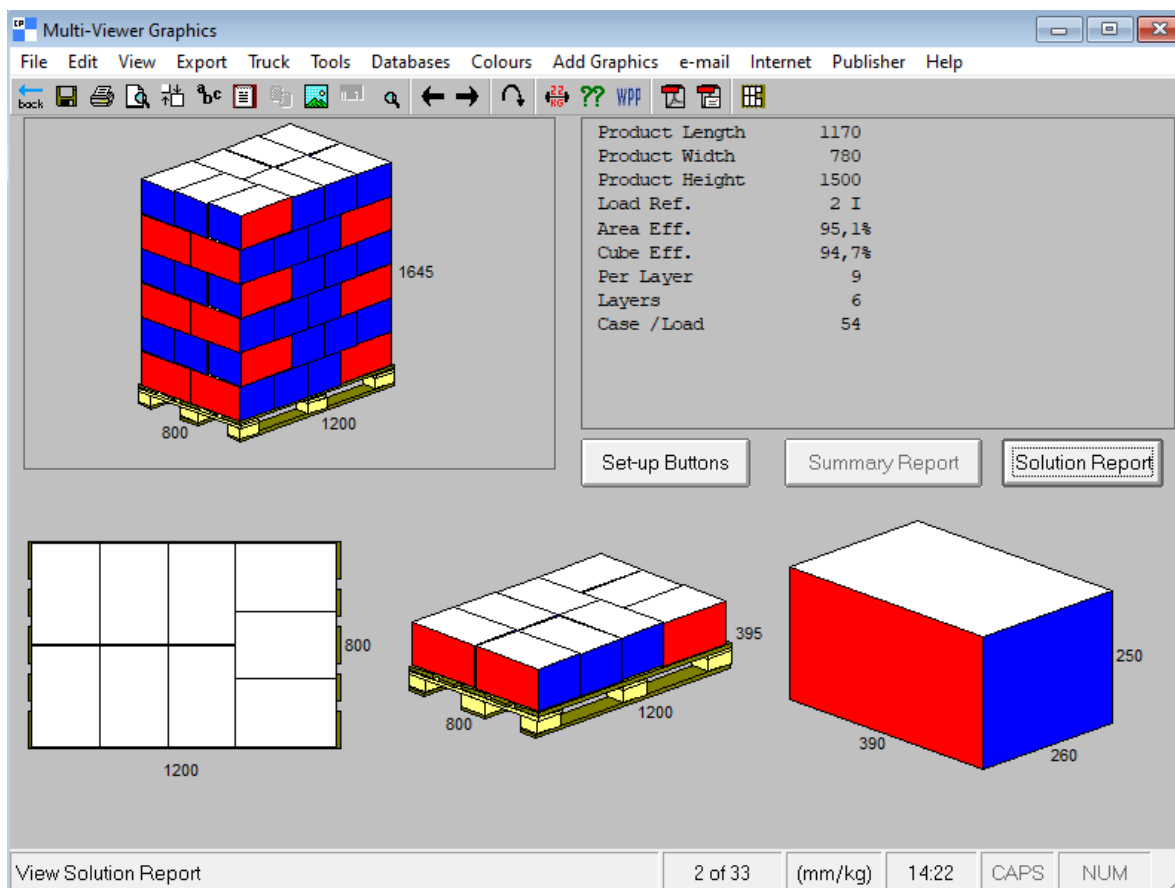
Kako bi se prikazalo slaganje napunjenih kutija na europaletu, korišten je softver Cape Pack. [35] Na slici 38. prikazano je slaganje jednog reda kutija na paleti kao i kutijama potpuno napunjena paleta.

---

<sup>1</sup> Prije transporta i skladištenja i sama kutija mora biti označena, no to se ovdje neće razmatrati.



Slika 37. Europaleta i njene dimenzije



Slika 38. Prikaz slaganja kutija na europaletu u softveru Cape Pack

## 9.2. Postojeći sustav za proizvodnju piva i punjenje piva u PET ambalažu

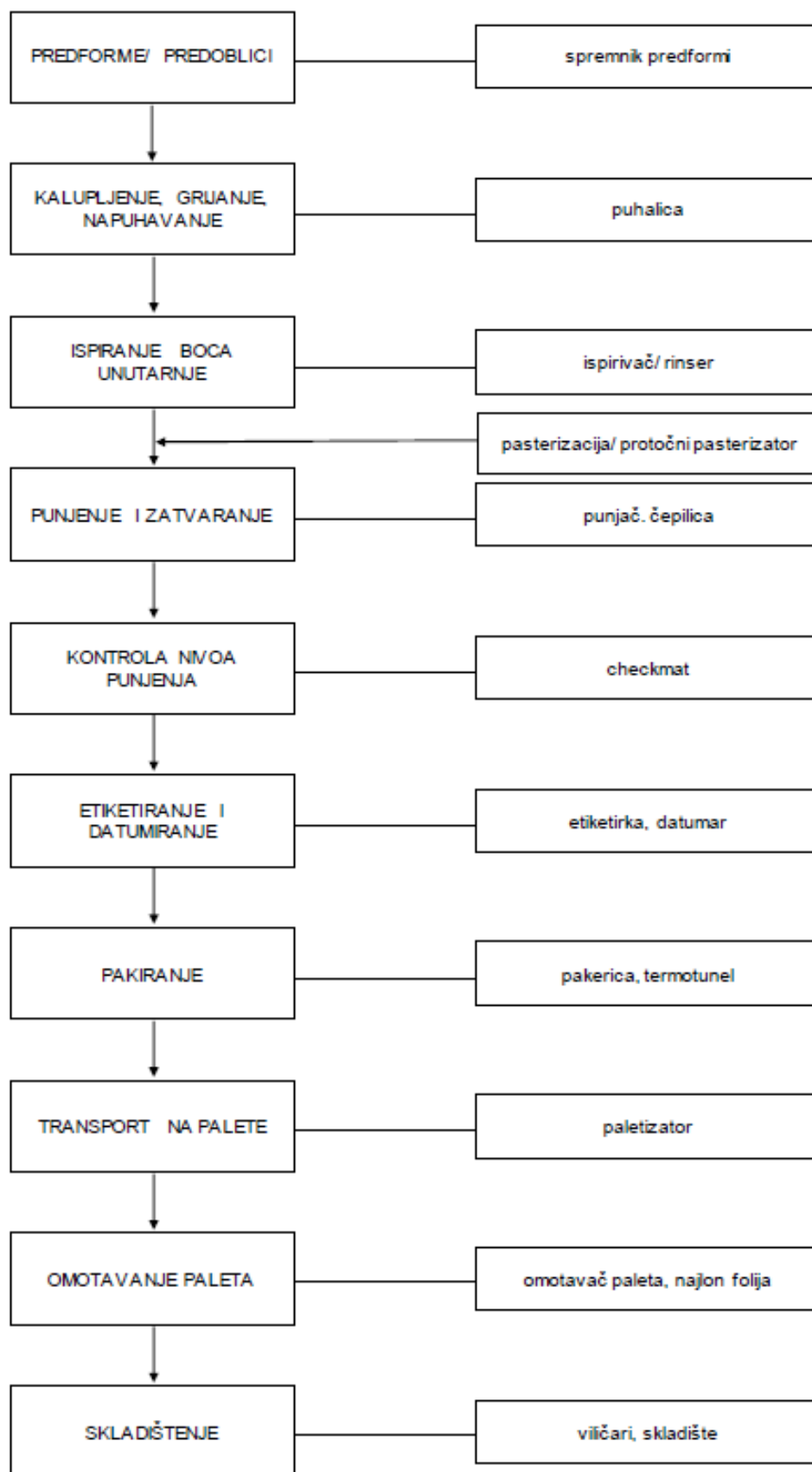
U postojećem pogonu za punjenje piva u PET ambalažu postavljeno je više strojeva u jednoj liniji. Strojevi obavljaju niz funkcija kao što su: punjenje, zatvaranje, etiketiranje, kontrola nivoa punjenja, pakiranje i ostalo.

Na slici 39. prikazana je shema tehnološkog procesa punjenja piva u PET ambalažu s pripadajućim strojevima i opremom.

Jedna od razlika između linije za punjenje piva u PET ambalažu i one za punjenje u staklenu ambalažu, jest da se punjenje piva u PET boce realizira bez vakuum faze, koja je kod punjenja u staklenu ambalažu nužna.

PET boce se nakon ispiranja sterilnom i deaeriranom vodom ispiru s CO<sub>2</sub> pod atmosferskim uvjetima u cilju uklanjanja zraka (kisika) iz boce i stavljaju pod protutlak, odnosno izjednačava se tlak u boci s tlakom u „kapi“ punjača i pivo slobodnim padom puni bocu. [24]

Kao što je vidljivo iz shematskog prikaza na slici 39., tehnološki proces punjenja piva u PET ambalažu započinje na puhalici (Slika 40.) injekcijskim puhanjem, odnosno kalupljenjem, grijanjem i napuhavanjem predoblika nakon čega se dobiva željeni oblik PET ambalaže. Zatim slijedi unutarnje ispiranje boca te pasterizacija, a nakon toga boce dolaze do punjača i čepilice gdje se pune pivom i potom zatvaraju predviđenim čepovima koji su također plastični, najčešće napravljeni od polietilena visoke gustoće (PEHD). Današnji punjači za pivo osmišljeni su tako da se pivo ne miješa s povratnim zrakom. Inače bi moglo doći do oksidacije koja bi negativno utjecala na biološku stabilnost proizvoda. Iz tog je razloga konstruiran trokomorni stroj za punjenje (Slika 41.), koji u odnosu na raniji jednokomorni punjač ne dopušta miješanje piva s povratnim zrakom iz boce. Trokomorni stroj za punjenje ima potpuno odvojene komore za pivo, povratni zrak iz boce i ugljikov dioksid te se na taj način sprječava oksidacija i eventualna infekcija piva do koje bi moglo doći zbog povratnog zraka.



**Slika 39. Shematski prikaz tehnološkog procesa punjenja piva u PET ambalažu s pripadajućim strojevima i opremom [24]**



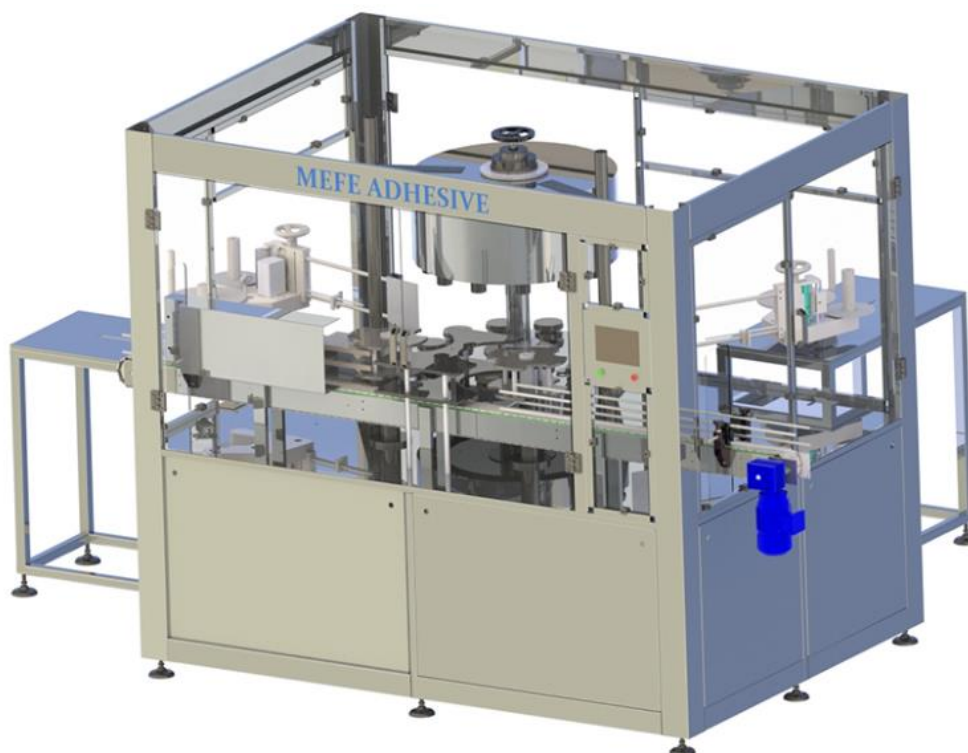
**Slika 40. Automatizirani rotacijski stroj za puhanje PET ambalaže za pivo [36]**



**Slika 41. Trokomorni stroj za punjenje piva u PET ambalažu [36]**

Nakon punjenja i zatvaranja boce odlaze na kontrolu nivoa punjenja te etiketiranje i datumiranje, što se obavlja na stroju za etiketiranje (Slika 42.). Obaveza svakog proizvođača jest da na bocu stavi deklaraciju o svome proizvodu na kojoj se nalazi naprimjer: naziv proizvođača, naziv proizvoda te podaci o kvaliteti proizvoda. Također, na etiketi je nužno istaknuti rok trajanja proizvoda. Pored osnovne etikete koja dolazi na trup boce, primjenjuju se i etikete manjeg formata koje se lijepe na konusni dio boce te imaju dekorativnu svrhu.





**Slika 42. Stroj za etiketiranje PET ambalaže za pivo [36]**

Nakon etiketiranja, boce se pomiču do uređaja tj. stroja gdje se objedinjeno pakiraju. Najčešći su strojevi koji koriste termoskupljajuće folije (Slika 43.). Jedno objedinjeno pakovanje napunjenih PET boca za pivo vrlo često sadrži šest boca koje se u stroju za omatanje omataju termoskupljajućom folijom. Folija se izlaže vrućem zraku kako bi se stisnula uz stijenke boca. Nakon hlađenja je folija čvrsto pripijena uz boce te osigurava sigurnost pakiranja tokom transporta i skladištenja.



**Slika 43. Stroj za zamatanje termoskupljajućom folijom [36]**

Pri kraju tehnološkog procesa objedinjena (sekundarna) pakovanja (boca) dolaze do stanice za paletiranje (Slika 44.) gdje se ostvaruje tercijarno pakovanje. Stanica za paletiranje

je uobičajeno robotska. Kada je paleta napunjena, slijedi stroj za omatanje (*motalica*) koji omotava paletu debelom folijom. Omotane palete viličarima se odvoze na skladištenje.



Slika 44. Paletizator s robotskom rukom [36]

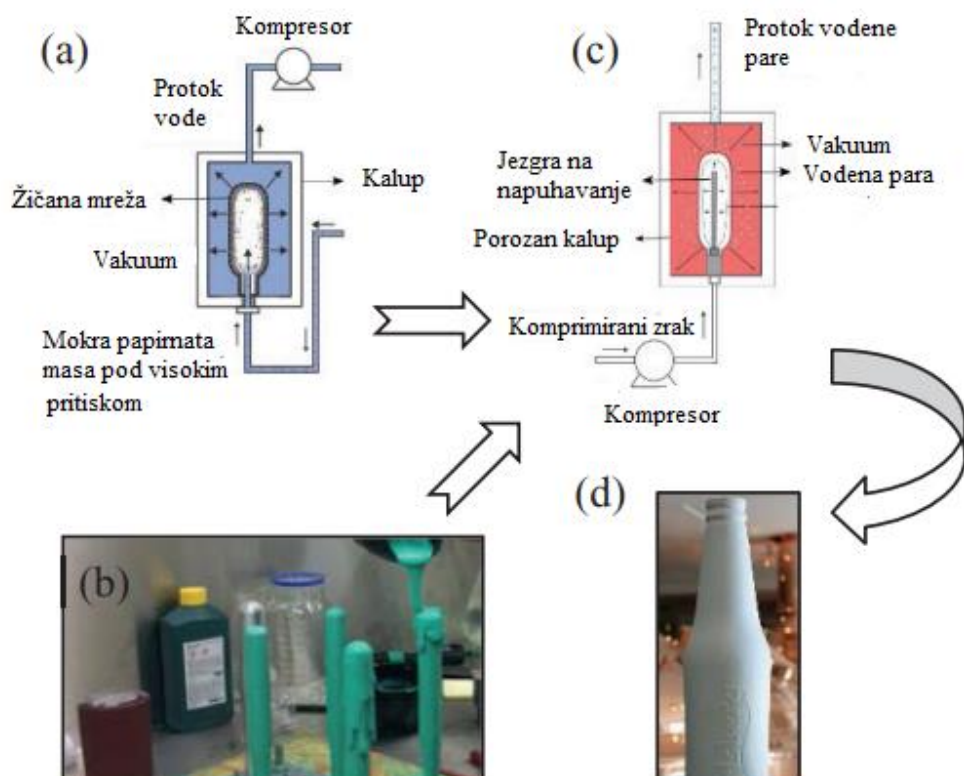
### 9.3. Uvođenje papirnat ambalaže u postojeći sustav punionice piva

Za racionalno uvođenje papirnat ambalaže u proizvodnju nameće se mogućnost iskorištavanja već postojećih sustava za proizvodnju i punjenje piva u PET ambalažu, a kakav je obrađen u prethodnoj točki. Naime, u svrhu ostvarenja željenog cilja punjenja piva u papirnat boce, implementirala bi se oprema potrebna za proizvodnju papirnatih boca u postojeći sustav, a uklonili postojeći strojevi koji se odnose na PET boce: zapravo, samo je jedan stroj koji bi postao suvišan, a to je onaj za injekcijsko puhanje (puhalica), dok bi svi preostali strojevi iz postojećeg sustava i nadalje bili korisni. Ipak, potrebna je provjera, posebno punjača, a i transportnog sustava između radnih stanica, s obzirom na razlike u mehaničkim svojstvima između PET i papirnatih boca.

Proces proizvodnje papirnatih boca moguće je podijeliti u tri osnovna koraka, a to su: priprema mokre papirnatih mase, proizvodnja biorazgradive papirnatih ambalaže te etiketiranje i premazivanje. Pripremu mokre papirnatih mase moguće je napraviti mehaničkim ili kemijskim putem. Najčešće se koristi mehanička priprema mokre papirnatih mase u kojoj dolazi do raščlanjivanja vlakana celuloze kako bi se mogao postići željeni oblik boce. [37]

Druga faza proizvodnje papirnatih boca sastoji se od formiranja boce te sušenja. Bez obzira na vrstu korištene papirnatih mase, sušenje je uvijek ključan faktor u proizvodnji papirnatih boca. Proces sušenja zahtijeva značajan utrošak energije. Energija je potrebna za uklanjanje vode iz mokre papirnatih mase čime se dobiva mreža papirnatih vlakana, a zatim i za dodatno sušenje mreže papirnatih vlakana kako bi se ona u potpunosti osušila. [37]

Nakon što je mreža papirnatih vlakana osušena, ona se priprema za kalupljenje. Kalupljenje se sastoji od dva osnovna koraka. Prvi korak uključuje oblikovanje geometrije boce u kalupu za oblikovanje (Slika 45.(a)). Kalup za oblikovanje sa unutrašnje je površine prekriven žičanom mrežom te postavljen naopako, a papirnata masa se u kalup ubrizgava pod visokim tlakom. Istovremeno, s vanjske strane kalupa osigurava se vakuumsko usisavanje. To rezultira gubitkom zaostale vode u papirnatih masi, dok žičana mreža s unutrašnje strane kalupa zadržava papirnatu masu u obliku boce. Sljedeći korak jest uklanjanje vode apsorbirane u vlaknima celuloze. Oblikovana papirnata masa se prenosi u kalup za sušenje (Slika 45.(c)). Kalup za sušenje izrađen je od poroznog materijala te je prethodno zagrijan na 140°C. Oblikovana mokra papirnata masa postavlja se između kalupa za sušenje te silikonske jezgre na napuhavanje (Slika 45.(b)). Jezgra se pod visokim pritiskom unutar mokre oblikovane mase napuhuje te tako pritišće papirnatu masu na unutarnju stijenku kalupa za sušenje. Čim mokra boca dođe u dodir sa kalupom za sušenje, zaostala voda u celuloznim vlaknima se pretvara u paru. Para se zatim isisava te se oblikovana i u potpunosti osušena boca (Slika 44. (d)) izvadi iz kalupa i linijom odlazi dalje na premazivanje, punjenje i etiketiranje. [37]



**Slika 45. (a) Kalup za oblikovanje; (b) Jezgra na napuhavanje; (c) Kalup za sušenje; (d) Oblikovana i osušena biorazgradiva papirnata boca za pivo [37]**

Razvitak cjelokupne proizvodnje papirnate ambalaže zahtijeva identifikaciju ključnih alata postrojenja. Neke od karakteristika koje potrebni alati trebaju imati jesu [37]:

- Sposobnost uklanjanja vode iz mokre papirnate mase.
- Replikacija geometrije alata na papirnatu masu.
- Ravnomjeran raspored papirnate mase kroz cijelu geometriju boce.
- Prohod kanala za odvod uklonjene vode.
- Sposobnost postizanja velikog broja proizvodnih ciklusa.
- Materijal alata mora biti otporan na koroziju i neutralan prema mokroj papirnatost masi i vodi.
- Sposobnost održavanja temperature iznad 100°C (po potrebi i 200°C u svrhu ubrzavanja procesa sušenja)
- Minimirati utrošak energije tokom cijelog procesa.

## 10. ZAKLJUČAK

Pivo je jedno od najpopularnijih alkoholnih pića te je sigurno kako se njegova popularnost diljem svijeta nikada neće smanjiti. Iako je svaki gutljaj piva užitak, s druge strane postavlja se pitanje ambalaže za pivo i što s njom nakon konzumacije toliko omiljenog alkoholnog pića. Problem staklene ambalaže djelomično je riješen, budući da se staklena ambalaža, ako se njom adekvatno rukuje nakon konzumacije, može posebnim procesom pranja ponovno puniti. S druge strane, plastična i metalna ambalaža velik su problem te je njihova održivost upitna. Naime, velika većina iskorištene plastične i metalne ambalaže ne zbrinjava se na pravilan način te završava na deponijima iako su obje vrste ambalaže napravljene od materijala pogodnih za recikliranje. Također, osim stvaranja velikih količina ambalažnog otpada, pivovare se susreću i s problemom utroška enormne količine energije te emisije stakleničkih plinova u procesu proizvodnje svih triju prethodno spomenutih ambalaži za pivo. Iz tog je razloga nužno razmišljati u smjeru održivosti te ulagati u razvijanje inovativnih ambalaži za pivo koje bi odgovorile na suvremene probleme pivovara diljem svijeta. Kao najbolje rješenje istaknula se papirnata ambalaža za pivo na bazi celuloznih vlakana koja bi bila u potpunosti biorazgradiva, a dokaz tome jest što je jedan od najvećih svjetskih proizvođača piva, kompanija Carlsberg, već otpočela razvoj vlastitog prototipa.

U ovome je radu oblikovana biorazgradiva papirnata ambalaža te je predložen način njenog korištenja tj. postupanja s njom u procesu pakiranja. Također, razmotrena je mogućnost implementacije papirnate boce u već postojeći sustav za proizvodnju i punjenje piva u plastičnu ambalažu te je opisan proces proizvodnje biorazgradive papirnate ambalaže za pivo.

Zaključeno je kako bi za proizvodnju i punjenje papirnate ambalaže bilo potrebno zamijeniti male segmente već postojećeg postrojenja, tj. trebalo bi postojeće puhalice za plastičnu ambalažu zamijeniti postrojenjem za proizvodnju papirnate ambalaže koje sadrži dva osnovna alata, a to su kalup za oblikovanje te kalup za sušenje s pripadajućom jezgrom na

napuhavanje. Također, predložen je način pakiranja boca u vidu kartonskih kutija koje bi svojim dimenzijama odgovarale slaganju na europalette te bi time bile pogodne za transport i skladištenje tj. distribuciju.

Na osnovi svega razmatranog u ovome radu, može se zaključiti kako bi biorazgradiva papirnata ambalaža dugoročno doista mogla biti okolišno i ekonomski održivo rješenje ambalaže za pivo, no svakako su potrebna daljnja ulaganja u istraživanja a posebno primjenu, čiji financijski teret čak i neki svjetski proizvođači piva nerado prihvaćaju. Ipak, spremnost na usvajanje novih tehnologija uvijek se pokazivala dugoročno isplativom, a danas k tome zbog potrebe rješavanja posebno istaknutog problema očuvanja prirodnog i zdravog okoliša.

## 11. LITERATURA

- [1] <https://pivnica.net/beerfest-zanimljivosti-o-pivu/2137/>, Pristupljeno: 2022-10-10
- [2] Lubina, A.: *Ponuda i potražnja na hrvatskom tržištu piva*, Završni rad, Sveučilište u Splitu, Ekonomski fakultet, Split, 2018.
- [3] Franović, K.: *Tehnološki proces proizvodnje piva*, Završni rad, Veleučilište u Karlovcu, Odjel sigurnosti i zaštite, Karlovac, 2018.
- [4] Kunze, W: *Tehnologija sladarstva i pivarstva*, 1996.
- [5] <https://www.staropramen.com/hr-HR/blogs/beerpedia/all-categories/many-forms-of-hops>, Pristupljeno: 2022-10-12
- [6] <https://brewshop.hr/2021/05/19/slad/>, Pristupljeno: 2022-10-12
- [7] [https://hr.wikipedia.org/wiki/Pivski\\_kvasac](https://hr.wikipedia.org/wiki/Pivski_kvasac), Pristupljeno: 2022-10-14
- [8] <https://zaognom.com/tag/ukomljavanje/>, Pristupljeno: 2022-10-15
- [9] <https://gospodarski.hr/rubrike/ostalo/prilog-broja-kako-proizvesti-pivo/>, Pristupljeno: 2022-10-16
- [10] Kušter, D.: *Uloga filtracije u proizvodnji piva*, Završni rad, Veleučilište u Karlovcu, Stručni studij prehrambene tehnologije, Karlovac, 2016.
- [11] Brdsko, J.: *Digitalizacija procesiranja u procesu proizvodnje piva sa svrhom povećanja dostupnosti i učinkovitosti proizvodne opreme*, Sveučilište u Zagrebu, Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Zagreb, 2021.
- [12] Rodin, A.: *Ambalaža kao element marketinga*, Ludbreg, 1977.
- [13] Kunica Z.: *Automatizacija pakiranja*, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb

- [14] Miočić, L.: *Osiguravanje kvalitete u procesu razvoja inovativne ambalaže*, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Grafički fakultet, Zagreb, 2015.
- [15] Meler, M.: *Osnove marketinga*, Ekonomski fakultet u Osijeku, Osijek, 2005.
- [16] Mrzlečki, K.: *Utjecaj dizajna ambalaže na prodaju piva*, Diplomski rad, Sveučilište Sjever, Odjel za ambalažu, recikliranje i zaštitu okoliša, Koprivnica, 2020.
- [17] <https://hocupivo.com/test-oksidacije-piva/>, Pristupljeno: 2022-11-01
- [18] <https://pivnica.net/pivo-i-ambalaza/2588/>, Pristupljeno: 2022-11-02
- [19] Kovačević, A.: *Proizvodnja injekcijskim prešanjem*, Završni rad, Veleučilište u Karlovcu, Specijalistički diplomski stručni studij strojarstva, Karlovac, 2019.
- [20] Šcerdev O., Muratti Z.: *Pakiranje, ambalaža i zaštita okoliša*, Stručni rad, 2008.
- [21] Babić, D.: *Suvremeni svijet i problemi s ambalažom*, Stručni rad, Hrvatska akademija tehničkih znanosti, Zagreb, 2017.
- [22] Lambaša Belak, Ž., Radić, T.: *Gospodarenje ambalažnim otpadom*, Šibenik
- [23] Gumhalter Malić, L.: *Izješće o gospodarenju otpadnom ambalažom u Republici Hrvatskoj u 2019. godini*, Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, Zagreb, 2020.
- [24] Gagula, G.: *Modeliranje promjena fizikalno-kemijskih svojstava piva tijekom skladištenja u različitoj ambalaži*, Doktorska disertacija, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, 2017.
- [25] <https://www.ambalaza.hr/hr/casopis/2014/6/staklena-ambalaza-potrosacima-ulijeva-najvise-povjerenja,174,13305.html>, Pristupljeno: 2022-11-10
- [26] <https://pivnica.net/povratne-boce/4743/>, Pristupljeno: 2022-11-12
- [27] Brlečić, M.: *Organizacija procesa prikupljanja i reciklaže staklene ambalaže*, Završni rad, Sveučilište sjever, Tehnička i gospodarska logistika, Varaždin, 2017.
- [28] Kovačić, L.: *Migracija aluminijske u sustavu svijetlo pivo – ambalaža*, Završni rad, Veleučilište u Karlovcu, Stručni studij prehrambena tehnologija – pivarstvo, Karlovac, 2019.
- [29] Marciuš, F. K.: *Recikliranje PET ambalaže*, Diplomski rad, Sveučilište Sjever, Odjel za ambalažu, recikliranje i zaštitu okoliša, Koprivnica, 2021.



- [30] Živković, S., Miljenović, D., Fajdetić, B., Miočić K.: *Izveštaj o ugljikovom otisku 2020.*, Ekonomski fakultet u Rijeci, Rijeka, 2021.
- [31] <https://www.coca-colacompany.com/news/coca-cola-unveils-paper-bottle-prototype>,  
Pristupljeno: 2022-11-20
- [32] <https://www.carlsberg.com/en/green-fibre-bottle/>, Pristupljeno: 2022-11-21
- [33] <https://www.paboco.com/bottle>, Pristupljeno: 2022-11-23
- [34] Didone, M., Tosello, G., Kirilov, K., Bardenstein, A., Østergaard, S.: *Green Fiber Bottle: Towards a Sustainable Package and Manufacturing Process*, Technical University of Denmark, Department of Mechanical Engineering, Danska, 2017.
- [35] <https://www.esko.com/en/products/cape-pack>, Pristupljeno: 2022-11-25
- [36] <https://www.alantech.in/>, Pristupljeno: 2022-11-26
- [37] Saxena P., Bissacco, G., Bedka, F. J., Stolfi, A.: *Tooling for production of the Green Fiber Bottle*, Technical University of Denmark, Department of Mechanical Engineering, Danska, 2018.