

Elaborat tehničko-tehnološkog rješenja destilerije za proizvodnju single malt viskija

Novak, Josip

Master's thesis / Diplomski rad

2024

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:159:404596>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-23**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PREHRAMBENO-BIOTEHNOLOŠKI FAKULTET

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, rujan 2024.

Josip Novak
7740/PI

**ELABORAT TEHNIČKO-TEHNOLOŠKOG
RJEŠENJA DESTILERIJE ZA
PROIZVODNJU SINGLE MALT VISKIJA**

Rad je izrađen u Laboratoriju za tehnološko projektiranje na Zavodu za prehrambeno-tehnološko inženjerstvo Sveučilišta u Zagrebu Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta pod mentorstvom prof. dr. sc. Sandre Balbino.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Diplomski rad

Sveučilište u Zagrebu
Prehrambeno-biotehnološki fakultet
Zavod za prehrambeno tehnološko inženjerstvo
Laboratorij za tehnološko projektiranje

Znanstveno područje: Biotehničke znanosti
Znanstveno polje: Prehrambena tehnologija

Diplomski sveučilišni studij: Prehrambeno inženjerstvo

ELABORAT TEHNIČKO-TEHNOLOŠKOG RJEŠENJA DESTILERIJE ZA PROIZVODNJU SINGLE MALT VISKIJA

Josip Novak, 0058214844

Sažetak: Alkoholna industrija predstavlja jednu od najprofitabilnijih industrija današnjice, s velikim tržištima u Europi, Sjevernoj Americi i Aziji. Republika Hrvatska ne zaostaje u ovom pogledu za ostatkom svijeta, već i ona ima dugu tradiciju proizvodnje alkoholnih pića poput vina, piva i rakija sa značajnom količinom noviteta u području jakih alkoholnih pića poput džina, viskija, vodke i sl. Ovaj rad prikazuje Elaborat tehničko – tehnološkog rješenja destilerije za proizvodnju single malt viskija. Single malt je viski proizveden od jedne vrste žitarica, u ovom slučaju ječma, u jednoj destileriji, te je jedan od najpopularnijih vrsta viskija na svijetu. Najpoznatiji viskiji u ovoj kategoriji su škotski viskiji vrhunske kvalitete. Na temelju projektnog zadatka, obrađeni su podaci o optimalnoj lokaciji, potrebnoj opremi i radnoj snazi, izračunate bilance te je tehnološki proces opisan i prikazan pomoću blok sheme. Elaborat također sadrži tlocrtni prikaz i situacijski plan proizvodnog pogona.

Ključne riječi: elaborat tehničko-tehnološkog rješenja, destilerija, viski, slad, proizvodni proces

Rad sadrži: 54 stranice, 24 slike, 5 tablica, 51 literaturnih navoda

Jezik izvornika: hrvatski

Rad je u tiskanom i elektroničkom (pdf format) obliku pohranjen u: Knjižnici Sveučilišta u Zagrebu Prehrambeno-biotehnološkoga fakulteta, Kačićeva 23, Zagreb.

Mentor: prof. dr. sc. Sandra Balbino

Stručno povjerenstvo za ocjenu i obranu:

1. prof. dr. sc. Jasna Mrvčić
2. prof. dr. sc. Sandra Balbino
3. prof. dr. sc. Sanja Vidaček Filipec
4. prof. dr. sc. Damir Stanzer

Datum obrane: 25. studenog 2024.

BASIC DOCUMENTATION CARD

Graduate Thesis

University of Zagreb
Faculty of Food Technology and Biotechnology
Department of Food Engineering
Laboratory for Food Plant Design

Scientific area: Biotechnical Sciences

Scientific field: Food Technology

Graduate university study programme: Food Engineering

ELABORATE OF TECHNICAL-TECHNOLOGICAL SOLUTION OF DISTILLERY FOR PRODUCTION OF SINGLE MALT WHISKEY

Josip Novak, 0058214844

Abstract: The alcohol industry represents one of the most profitable industries of today, with largest markets in Europe, North America and Asia. The Republic of Croatia is not lagging behind in this regard, as it has a long tradition of producing alcoholic beverages such as wine, beer and schnapps, along with a significant number of innovations in the field of strong alcoholic beverages like gin, whisky, vodka and others. This paper presents a technical – technological solution report for a distillery producing single malt whisky. Single malt is a whisky made from one type of grain, in this case barley, in a single distillery, and is one of the most popular types of whisky in the world. The most well-known whiskies in this category are top quality Scottish whiskies. Using the project assignment, data on the optimal location, necessary equipment and workforce are processed, balances were calculated, and the technological process was described and illustrated using a block scheme. The paper also includes a facility layout plan and a site plan of the production facility.

Keywords: elaborate of technical-technological solution, distillery, whisky, malt, production process

Thesis contains: 54 pages, 24 figures, 5 tables, 51 references

Original in: Croatian

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

Mentor: Sandra Balbino, PhD, Full professor

Reviewers:

1. Jasna Mrvčić, PhD, Full professor
2. Sandra Balbino, PhD, Full professor
3. Sanja Vidaček Filipec, PhD, Full professor
4. Damir Stanzer, PhD, Full professor

Thesis defended: November 25th, 2024

Sadržaj

1. UVOD	1
2. TEORIJSKI DIO	2
2.1. TEHNOLOŠKO PROJEKTIRANJE U PREHRAMBENOJ INDUSTRIJI	2
2.1.1. Poduzetnička ideja	3
2.1.2. Projektni zadatak	3
2.1.3. Studije izvedivosti	3
2.1.4. Studije pilot postrojenja	4
2.1.5. Glavni i izvedbeni projekt	4
2.1.6. Zakonska regulativa i implementacija higijenskog standarda	4
2.2. ANALIZA ULAZNOG MATERIJALA	5
2.2.1. Ječam	5
2.2.2. Voda	8
2.2.3. Kvasci i enzimi	9
2.3. TEHNOLOŠKI POSTUPAK PROIZVODNJE	11
2.3.1. Sladovanje ječma	11
2.3.2. Mljevenje	12
2.3.3. Ukomljavanje	12
2.3.4. Separacija	13
2.3.5. Alkoholna fermentacija	13
2.3.6. Destilacija	14
2.3.7. Odležavanje i završna obrada	15
2.4. EVALUACIJA FINALNOG PROIZVODA	15
3. EKSPERIMENTALNI DIO	17
3.1. PROJEKTNI ZADATAK	17
3.2. ANALIZA MAKROLOKACIJE	17
3.3. ANALIZA MIKROLOKACIJE	19
3.4. ANALIZA SIROVINE	20
3.5. ANALIZA GOTOVOG PROIZVODA	22
4. REZULTATI I RASPRAVA	24
4.1. TEHNOLOŠKA KONCEPCIJA DESTILERIJE	24
4.2. BLOK SHEMA PROIZVODNJE	25
4.3. OPIS TEHNOLOŠKOG PROCESA	26
4.3.1. Prijem i obrada sirovine	26
4.3.2. Ukomljavanje	26
4.3.3. Fermentacija	26
4.3.4. Destilacija	27
4.3.5. Odležavanje	28

4.4.	POPIS UREĐAJA I DODATNE OPREME	29
4.5.	TABLIČNI POPIS UREĐAJA I ENERGETSKA BILANCA	42
4.6.	POTREBNA RADNA SNAGA	43
4.7.	MATERIJALNA BILANCA	43
4.8.	POPIS PROSTORIJA	45
4.9.	TLOCRT DESTILERIJE	46
4.10.	SITUACIJSKI PLAN	48
5.	ZAKLJUČAK	49
6.	LITERATURA	50

1. UVOD

Početak proizvodnje jakih alkoholnih pića započinje otkrićem ključnog procesa za proizvodnju jakih alkoholnih pića poznatog kao destilacija. Naziv destilacija potječe iz latinskog naziva *destillare* što znači kapati ili curiti. Ovaj proces separacije binarnih i višekomponentnih tekućih smjesa na čiste komponente zadržao je veliku važnost čineći 50 % kapitalnih i operativnih troškova u industrijskim procesima (Górak i Sorensen, 2014).

Prema Uredbi (EU) 2019/787 Europskog parlamenta i Vijeća o definiranju, opisivanju, prezentiranju i označavanju jakih alkoholnih pića (Uredba, 2019), ista moraju sadržavati najmanje 15 % vol. alkohola, namijenjena su za ljudsku potrošnju te imaju svoja posebna senzorska svojstva, proizvode se izravno (destilacijom, maceracijom ili dodavanjem aroma ili sladila etilnom alkoholu poljoprivrednog podrijetla) ili miješanjem jakog alkoholnog pića s jednim ili više drugih jakih alkoholnih pića, etilnim alkoholom poljoprivrednog podrijetla ili drugih alkoholnih pića, te se klasificiraju u 44 kategorije. Jednu od navedenih kategorija čini i glavna tema ovog rada, *viski* koji se prema Uredbi EU (Uredba, 2019) proizvodi isključivo destilacijom kaše žitnog slada, alkoholne je jakosti minimalno 40 % vol. te gotovi destilat dozrijeva najmanje tri godine u drvenim bačvama zapremnine do 700 litara. Pojam „*whisky*“ svoje podrijetlo pridaje keltskoj riječi „*uisge beatha*“ što u prijevodu znači „voda života“. Uzimajući navedeni podatak u obzir, domovinom viskija smatra se područje Irske i Škotske gdje su keltski narodi obitali, te su ove dvije države zadržale svoju vodeću poziciju u proizvodnji i kvaliteti ovog pića. Daljnjim razvojem tehnologije i širenjem potražnje za viskijem države poput SAD-a, Kanade, Japana, Indije i Francuske počinju konkurirati u proizvodnji i distribuciji (Piggott, 2017).

Svaki pojedini proces proizvodnje viskija pridonosi jedinstvenom aromatskom profilu konačnog proizvoda pri čemu osnovne komponente poput žitarica, vode i kvasca daju osnovne mirisne komponente te se tijekom fermentacije sintetiziraju dodani slojevi arome koji grade ukupni doživljaj gotovog proizvoda (Ashmore i sur., 2023). S obzirom na kompleksnost proizvodnje i mogućnosti varijacija aroma konačnog proizvoda, ovaj proces mnogi uspoređuju s umjetnošću.

Cilj ovog rada je predstaviti tehničko-tehnološko rješenje projekta destilerije za proizvodnju viskija lokacijski smještene u blizini grada Jastrebarsko uvažavajući pritom zakonsku regulativu i sustave osiguranja kvalitete.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. TEHNOLOŠKO PROJEKTIRANJE U PREHRAMBENOJ INDUSTRIJI

Projektiranje procesa u tehnološkom kontekstu obuhvaća niz intelektualnih i kreativnih rješenja za probleme koji nastaju prilikom izgradnje novih ili unapređenja postojećih postrojenja. To podrazumijeva razvoj ideje, analizu zahtjeva, odabir i prilagodbu tehnološkog postupka, izradu elaborata tehničko tehnološkog rješenja i izgradnju sukladno zakonskoj regulativi te puštanje u rad, kao i sve međukorake. Ovaj proces je jedinstvene prirode jer su procesna rješenja i/ili proizvodi uvijek originalni svojim karakteristikama te nijedan projekt nije potpuno identičan drugom zbog dinamičnosti i nepredvidivosti. Svaki novi projekt od samog početka nosi sa sobom brojne neizvjesnosti i rizike, uključujući vremenske, financijske, tehničke i ekološke, posebno kada je riječ o složenim tehnološkim procesima (Šef i Olujić, 1988).

S obzirom na kompleksnost projektiranja u prehrambenoj industriji, proces se provodi multidisciplinarno gdje sudjeluje projektni tim koji se uglavnom sastoji od arhitekta, prehrambenog tehnologa, elektro inženjera, strojara i građevinara.



Slika 1. Dijagram faza tehnološkog projektiranja (prema Balbino, 2016)

2.1.1. Poduzetnička ideja

Poduzetnička ideja predstavlja početni korak u realizaciji bilo kojeg poslovnog projekta. Ona se odnosi na zamisao o ponudi određenih materijalnih proizvoda ili usluga koji odgovaraju potrebama kupaca, s ciljem ostvarivanja profita. Iako ideja može biti inovativna, uvođenjem novog proizvoda ili procesa, nije nužno da bude originalna kako bi bila uspješna te se već postojeća ideja može prilagoditi specifičnim uvjetima koji rezultiraju efikasnijim radom i kvalitetnijim proizvodom ili uslugom (Balbino, 2016).

S obzirom da je sama ideja jedan od najbitnijih i početni korak u tehnološkom projektiranju, često se koristi tehnika *brainstorming*. U svom modernom obliku, tehnika *brainstorminga* potječe od 1940-ih godina koju je pokrenuo reklamni stručnjak Alex Osborn. Njegov cilj bio je reorganizirati sastanke kako bi se prevladale prepreke koje ometaju proces stvaranja ideja. Osim što učinkovito potiče generiranje ideja, može također doprinijeti izgradnji tima i poboljšanju sposobnosti rješavanja kreativnih problema. Postoji mnogo različitih verzija ove tehnike, uključujući individualne, elektroničke i neinteraktivne (nominalne) metode koja nadmašuje sve interaktivne metode u uspješnosti (Rickards, 2003).

2.1.2. Projektni zadatak

Nakon utvrđivanja poduzetničke ideje razvija se osnovni dokument za oblikovanje budućeg sustava tzv. projektni zadatak. Ovisno o vremenskim, pravnim, ekonomskim i tehnološkim zahtjevima investitora, uz pomoć stručnjaka projektanta opisuju se postojeći problemi i/ili nove potrebe i mogućnosti. S obzirom na opseg poslova u projektu razlikuju se racionalizacijski projekt, rekonstrukcijski projekt, projekt povećanja kapaciteta i projekt izgradnje novog industrijskog objekta (Balbino, 2016).

2.1.3. Studije izvedivosti

Prema Lopez-Gomez i Barbosa-Canovas (2005) potrebno je provesti više preliminarnih studija izvedivosti u svim aspektima projektnog zadatka. Navedene studije potrebno je priložiti u konačnom projektnom dokumentu uz razvoj studija izvedivosti od preliminarnih studija produkata i sirovina do alternativnih tehnologija u prehrambenom procesnom inženjerstvu i tehnologiji hrane.

Ovaj dokument predstavlja prošireni tehnološki projekt s ekonomskom analizom te se iz ove studije može jasno vidjeti kolika je mogućnost realizacije poduzetničke ideje. U navedenom se upisuju podaci o poduzetniku i ideji, opis lokacije, sirovina i proizvoda, analiza tehnoloških procesa, analiza tržišta nabave sirovina i prodaje proizvoda, te proračun dobiti/gubitaka uz povrat investicijskog ulaganja (Balbino, 2016).

2.1.4. Studije pilot postrojenja

Po završetku dokumentacije i studija, laboratorijskih istraživanja i matematičkog modeliranja slijedi eksperimentalna faza studija u pilot postrojenju. Ova eksperimentalna faza koristi podatke iz svih provedenih studija i matematičkog modeliranja kako bi se dobili bolji podaci o procesnim faktorima i postigao precizan projekt postrojenja. Studije pilot postrojenja su fizičke simulacije koje se koriste zbog svoje jednostavnosti i isplativosti u usporedbi s industrijskim simulacijama, a omogućuju optimizaciju procesnih parametara i uvjeta u postrojenju kako bi uvećavanje postrojenja imalo najvišu moguću efikasnost. Potrebno je imati na umu kako model postrojenja ne smije biti previše jednostavan zbog mogućih odstupanja rezultata simulacije i pravog pogona (Lopez-Gomez i Barbosa-Canovas, 2005).

2.1.5. Glavni i izvedbeni projekt

Kako bi se postrojenje moglo realizirati potrebna je izrada navedenih glavnog i izvedbenog projekta.

Glavni projekt je prema Zakonu o gradnji (NN 39/19) skup međusobno usklađenih projekata kojima se daje tehničko rješenje građevine, prikaz smještaja građevine u prostoru i dokazuje ispunjavanje bitnih zahtjeva za građevinu te sadrži građevinski projekt, arhitektonski projekt, elektrotehnički projekt i strojarski projekt. Prethodno izradi glavnog projekta, ovisno o vrsti građevine i propisanog zakona izrađuje se; krajobrazni elaborat, geomehanički elaborat, prometni elaborat, elaborat tehničko-tehnološkog rješenja, elaborat zaštite na radu, elaborat zaštite od buke, konzervatorski elaborat ili bilo kojeg drugog potrebnog elaborata.

Izvedbeni projekt podloga je za izradu tehničkog rješenja te mora biti usklađen sa glavnim projektom (Zakon o gradnji, 2019).

2.1.6. Zakonska regulativa i implementacija higijenskog standarda

Svaki objekt prehrambene industrije u Republici Hrvatskoj mora zadovoljiti zakonodavstvo što su Zakon o gradnji (NN 39/19), Zakon o hrani (NN 18/23) i Zakon o higijeni hrane i mikrobiološkim kriterijima za hranu (NN 83/22). Subjekti koji se bave hranom također su obvezni slijediti specifične zakonske propise i uredbe, uključujući Uredbu Europskog parlamenta i Vijeća o higijeni hrane (br. 852/2004), Uredbu Europskog parlamenta i Vijeća o utvrđivanju određenih higijenskih pravila za hranu životinjskog podrijetla (br. 853/2004), Pravilnik o pravilima uspostave sustava temeljenih na načelima HACCP-a (NN 68/2015), Pravilnik o registraciji subjekata te odobravanju objekata u poslovanju s hranom (NN 123/2019) i Pravilnik o vođenju Upisnika registriranih i odobrenih objekata (NN 125/2008).

Projektiranje objekta prehrambene industrije sukladno higijenskom standardu svedeno je na navedene osnovne principe koje su standardizirali European Hygienic Engineering and Design Group i American National Standard Institute te oni glase:

- Materijali koji dolaze u kontakt s hranom moraju biti inertni kako ne bi došlo do migracije štetnih tvari u hranu
- Površine u kontaktu s hranom moraju biti glatke, polirane i neporozne kako bi se spriječilo nakupljanje čestica hrane, bakterija i jajašaca insekata te omogućilo učinkovito čišćenje i sanitacija
- Sve površine koje dolaze u kontakt s hranom moraju biti vidljive ili dostupne za inspekciju i lako rastavljive radi čišćenja i sanitacije
- Unutarnje zone opreme moraju omogućiti lako isušivanje tekućina kako bi se spriječilo nakupljanje ostataka hrane i sredstava za čišćenje
- Oprema mora biti dizajnirana tako da štiti hranu od vanjske kontaminacije i omogućuje lako čišćenje svih komponenti (Lopez-Gomez i Barbosa-Canovas, 2005).

Bitno je navesti kako je potrebno provjeriti kompatibilnost opreme, prehrambenog proizvoda te sredstava za čišćenje kako bi se zadovoljili svi higijenski uvjeti procesa.

Jedan od najvažnijih koraka za zadovoljavanje higijenskog standarda i održavanje kvalitete i sigurnosti proizvoda i procesa je implementacija HACCP sustava. HACCP sustav predstavlja sustavni pristup kontroli sigurnosti hrane kojem je prvi korak analiza opasnosti. Prema National Advisory Committee opasnost predstavlja bilo kakvo svojstvo tvari koje može uzrokovati rizik za zdravlje potrošača te se dijeli na biološku, kemijsku i fizičku opasnost. Posredno definiranju opasnosti slijedi određivanje kontrolnih i kritičnih kontrolnih točaka, njihovo praćenje i provođenje korektivnih mjera (Pierson i Corlett, 1992).

2.2. ANALIZA ULAZNOG MATERIJALA

2.2.1. Ječam

Hordeum vulgare vulgare L. ili poznatiji kao ječam je drevna i važna žitarica. Prema FAOSTAT (2023) u 2022. godini proizvedeno je 154.877.139,86 tona ječma čime zauzima 13. mjesto u svijetu s obzirom na količinu proizvodnje te su glavni proizvođači Rusija, Australija, Francuska, Njemačka i Kanada. Pretpostavlja se kako je ječam prvotno bio korišten kao ljudska hrana, no njegova upotreba se promijenila u žitaricu za stočnu hranu, slad i pivo zbog razvoja i povećane upotrebe pšenice i riže. Smatra se kako se samo 2 % ječma koristi kao prehrana za ljudsku populaciju, dok se trećina koristi za dobivanje slada, a dvije trećine kao stočna hrana (Baik i Ullrich, 2008).

Ječam je genetski veoma različita žitarica. Dijeli se na; proljetne i zimske sorte, dvoredne ili šestoredne, prisutnost ili odsutnost ljuske na žitarici, sladni ili stočni. Osim navedene podjele, ječam se s obzirom na sastav zrna može kategorizirati na vrste s normalnim, voskastim ili visokim sadržajem amiloze, visokim sadržajem lizina, visokim sadržajem β -glukana i bez proantocijanidina. Visoka varijabilnost sorti ječma pridonosi različitosti u kemijskim i fizičkim svojstvima svake sorte što omogućava uzgoj specifičnih sorti ovisno o namjeni. Jedina mana ove varijabilnosti je što svaki varijetet zahtjeva poseban način obrade koji nije uvijek jasne smjernice za proizvođače (Baik i Ullrich, 2008).

Anatomska građa ječma sačinjava se od zrna i vanjske ljuske ili ovojnice, koje su oblikovane od leme i palee. Nadalje zrno ječma je građeno od perikarpa, integumentata, sloja aleurona, endosperma i klice. Perikarp je zaštitni omotač cijelog zrna te se razvija iz stijenki jajnika, integumenti predstavljaju vanjske slojeve stanica, endosperm je građen od škroba te se nalazi unutar proteinske matrice i čini izvor hranjivih tvari za razvoj embrija. Vanjski sloj stanica endosperma koji sadrži enzime i proteinska tijela naziva se aleuron. Klica je smještena na donjem kraju zrna s leđne strane (Jadhav i sur., 2010).



Slika 2. Longitudinalni presjek zrna ječma (prema Grain Gallery, 2024)

Kemijski sastav zrna ječma uvelike je uvjetovan ekološkim uvjetima (temperatura, duljina dana, opskrba vodom dostupnost mineralnih tvari). Tablica 1. prikazuje kemijski sastav zrna ječma prema MacGregor-u (1993). Sastav lipida u zrnu je relativno nizak u usporedbi s kukuruzom i zobi te iznosi između 2 i 3 %, dok u različitim genotipovima može iznositi čak i 7 %. Stanične stijenke ječma građene su većinski od arabinoksilana (pentozani) i (1→3), (1→4)- β -D-glukana (kraće; β -glukani). β -glukani čine 75 % stanične stijenke škrobnog endosperma, a

arabinoksilani 20 %, dok staničnu stijenku aleurona čini 26 % β -glukana, a 71 % arabinoksilana. Ostali sastojci staničnih stijenki su celuloza, pentozani, glukomanan i fruktan koji se smatraju prehranbenim vlaknima. Proteini prisutni u sjemenkama ječma dijele se s obzirom na otapalo na; proteine topljive u vodi (albumine), topljive u otopinama soli (globulini), topljive u alkoholu (prolamini i hordeini) i topljive u lužinama (glutelini). Najzastupljeniji proteini u zrnu su prolamini koji čine od 35 do 50 % ukupnog dušika, a slijede ih albumini i globulini sa 15 do 30 %. Kao komponenta s najvišim udjelom u zrnu ječma, škrob ima udio od 58 do 64 % što također ovisi o okolišnim i genetskim faktorima. Škrob je građen od 20 do 30 % amiloze i od 70 do 80 % amilopektina, s time da amiloza varira od <1 % u voskastim do 45 % u visoko-amiloznim škrobovima.

Tablica 1. Prosječni sastav zrna ječma (MacGregor, 1993)

Komponenta	Udio (% suha tvar)
Škrob	60 – 64
Arabinoksilani	4,4 – 7,8
β -glukani	3,6 – 6,1
Celuloza	1,4 – 5,0
Jednostavni ugljikohidrati (glukoza, fruktoza, saharoza, maltoza)	0,41 – 2,9
Oligosaharidi (rafinoza, fruktozani)	0,16 – 1,8
Proteini	8 – 15
Lipidi	2 – 3
Minerali (pepeo)	3 – 3

Zabilješka: Ječam sadrži male količine vitamina B kompleksa, uključujući tiamin (B_1), riboflavin (B_2), nikotinsku kiselinu, piridoksin (B_6), pantetonsku kiselinu, biotin, folnu kiselinu i vitamin E

Kako bi se ječam mogao koristiti u svrhu fermentacije mora se prevesti u slad. Slad čine kontrolirano proklijala zrna ječma koja se naknadno suše u procesu sladovanja koji će biti detaljnije objašnjen u nastavku ovog rada (Beal i Mottram, 1994). Tijekom procesa klijanja sjemenki ječma, biopolimeri sjemenki moraju se razgraditi na svoje sastavne podjedinice te su ovi procesi važni za pivarsku i destilersku industriju koje ovise o sladu. Najznačajniji proces navedene razgradnje je hidroliza. Hidroliza je značajna za sam proces klijanja kako bi se sjemenki osigurali nutrijenti za klijanje, ali važna je i za industriju zbog toga što hidrolizom nastaju šećeri, aminokiseline i spojevi niske molekularne mase potrebni za rast, razvoj i

normalnu funkciju kvasaca (Jones, 2005). Slad se rijetko koristi kao hrana sam po sebi, već ga uglavnom koriste pivarska i destilerska industrija kao izvor fermentabilnih šećera i amilolitičkih i proteolitičkih enzima. Specifične vrste sladova koriste se u pivarstvu radi boje konačnog proizvoda te su dosta dobro istražene ove osobine slada, dok se razvoj okusa slada zapostavlja i potrebna su dodatna istraživanja o njegovoj aromi (Beal i Mottram, 1994).

2.2.2. Voda

Iako nije uvijek prepoznata kao takva, voda je jedna od najčešće korištenih i najvažnijih sirovina u prehrambenoj industriji. Voda ima velik utjecaj na kvalitetu konačnog proizvoda te je, ovisno o vrsti proizvoda i industrije u kojoj se koristi, potrebno precizno definirati potrebnu kvalitetu vode, odrediti parametre praćenja kvalitete vode te uspostaviti korektivne mjere u slučaju odstupanja (Poretti, 1990).

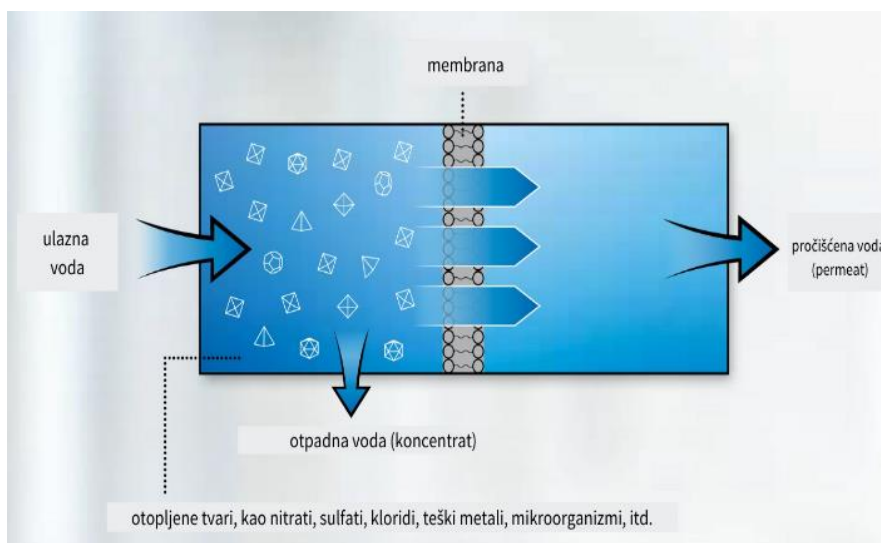
Nadalje, jedan od najvažnijih parametara za vodu u prehrambenoj industriji je higijenska ispravnost vode. Ovdje se misli na zadovoljavanje mikrobioloških i fizikalno-kemijskih zahtjeva za pitku vodu prema Zakonu o vodi za ljudsku potrošnju (NN 30/23), kako bi se voda uopće mogla koristiti kao sirovina za proizvodnju gotovog proizvoda. Nakon zadovoljavanja higijenskih standarda za ispravnost vode potrebno je zadovoljiti i zahtjeve proizvodnog procesa. Najčešće se navedene korektivne radnje svode na; uklanjanje ili korekcija (sadržaja) anorganskih tvari, uklanjanje organskih tvari, deaeracija i/ili degazacija i dodatna dezinfekcija i/ili sterilizacija.

U prehrambenoj industriji najčešće se koriste membranski procesi kako bi se zadovoljili kriteriji za kvalitetu vode kao sirovine. Navedeni procesi koriste se zbog svoje selektivnosti, velike površine po jedinici volumena i zbog potencijala za kontrolu razine kontakta i/ili miješanja dviju faza. Vrlo su pogodni za obradu bioloških molekula jer se sam proces filtracije na membranama provodi na relativno niskim temperaturama i tlakovima, što smanjuje mogućnost pojave neželjenih posljedica (Charcosset, 2006).

S obzirom na veličinu pora i tlak primijenjen tokom filtracije dijele se ulazno na; mikrofiltraciju, ultrafiltraciju, nanofiltraciju i reverznu osmozu kao najučinkovitiji membranski proces.

Membrane za reverznu osmozu nemaju izražene pore, već je polimerni materijal postavljen tako da stvara slojevitou strukturu nalik na mrežu kroz koju prolazi voda zavojitim putem. Reverznom osmozom uklanjaju se i najmanji kontaminanti poput monovalentnih iona. Uzimajući u obzir navedeno, ultrafiltracija i nanofiltracija se također mnogu kategorizirati prema graničnoj molekularnoj težini membrane (molekularna težina pri kojoj membrana zadržava 90 % otopljene tvari u otopini) te su općeniti rasponi za ultrafiltraciju 2000 – 500000 Da i 250 – 2000 Da za nanofiltraciju. Membrane za reverznu osmozu se obično koriste u obliku filtracije s unakrsnim protokom i dostupne su kao spiralno namotani moduli, gdje su listovi membrane

namotani oko unutarnje cijevi gdje se skuplja permeat (Greenlee i sur., 2009).



Slika 2. Reverzna osmoza (prema Erwo, 2024)

2.2.3. Kvasci i enzimi

Kvasci predstavljaju ključan faktor u proizvodnji destiliranih alkoholnih pića te su mnoga istraživanja provedena na istima. Kvasci se s obzirom na svoje karakteristike dijele prema učinkovitosti fermentacije, koja se određuje ovisno o; iskorištavanju ugljikohidrata, brzini fermentacije, toleranciji na alkohol i stabilnosti kulture. Posljednjih godina postoji povećan interes za nove vrste kvasca koje mogu fermentirati širi raspon supstrata, što je posebno važno za ispunjavanje zahtjeva održivosti u industriji destiliranih pića. S obzirom da se ekološka pitanja od velike važnosti, proizvođači moraju smanjiti potrošnju energije, koristiti manje vode i bolje iskoristiti nusproizvode (Walker i sur., 2011). Soj kvasaca znatno utječe i na senzorska svojstva gotovog proizvoda putem metabolita koji se sintetiziraju tijekom fermentacije te iz ovog razloga, a ne samo zbog prinosa etanola, proizvođačima je bitan pažljiv odabir soja kvasca.

Sojevi kvasca koji se koriste temelje se na malom broju stabilnih komercijalnih sojeva *Saccharomyces cerevisiae*, koji uglavnom potječu iz tradicije pekarskog kvasca. Navedeni sojevi se mogu koristiti u tri oblika; kvaščevo mlijeko, prešani ili kvaščevo kolač i suhi kvasac. Tradicionalno se najčešće koristi prešani kvasac, no razvija se trend prelaska na kremasti oblik kvasca zbog lakšeg rukovanja i skladištenja. Potrebna su početna ulaganja u specijalizirane uređaje za rukovanje ovim oblikom kvasca, no preciznija kontrola nad inokulacijom i temperaturom čine ovu tehniku isplativijom. Kvasci se obično ne uzgajaju u destilerijama, već se dodaju sladovini uvođenjem u cijev sladovine, izravnim dodavanjem u fermentacijsku posudu (eng. *washback*) ili dodavanjem preko spremnika za suspenziju kvasca. Inokulum kvasca kreće se oko 0,4 % (m/v) te je potrebno sladovinu podesiti na temperaturu od 16 do 19

°C kako bi se postigla maksimalna temperatura fermentacije od 32 do 33 °C koja osigurava učinkovitu fermentaciju. Kvasci se u destilacijama ne recikliraju kako je to slučaj u industriji piva, već se preffermentirana komina prenosi u kotao za destilaciju što rezultira karakterističnom aromom gotovog proizvoda (Walker i sur., 2011).

Kako bi se proces fermentacije odvio uz najveće moguće iskorištenje procesa, moguće je korištenje enzima u tehnološkom postupku proizvodnje. Enzimi su proteinske molekule koje se mogu dobiti iz slada ili iz bakterija i kvasaca (komercijalno). Njihova uloga, kao biokemijskih katalizatora, je ubrzavanje kemijskih reakcija, u ovom slučaju hidrolize škroba na fermentabilne šećere. Bitno je naglasiti kako su optimalna temperatura i pH od presudne važnosti za optimalnu aktivnost enzima, gdje je temperatura specifična za svaki enzim, dok se pH, iako specifičan za svaki enzim, generalno kreće u granicama 5,0 – 5,7 (Sammartino, 2015).

Tri najbitnija, komercijalno dostupna enzima, za destilersku industriju su α i β -amilaza te glukoamilaza. β -amilaza razgrađuje lance škroba i dekstrina, razgrađujući ih na molekule maltoze i nerazgradive fragmente. Optimalna temperatura β -amilaze je 60 – 65 °C. Dok radi, β -amilaza, može razgraditi samo linearne 1-4 glikozidne veze i stoga ne može razgraditi amilopektin zbog grananja. Problem kod β -amilaze je što je njena aktivnost ograničena na razgradnju lanca samo s jednog kraja (nereducirajućeg) te zbog toga djeluje molekulu po molekulu dok ne dođe do točke grananja gdje se zaustavlja. Tu dolazi do izražaja α -amilaza (optimalna temperatura α -amilaze je 72 – 75 °C). α -amilaza također razgrađuje samo 1-4 glikozidne veze, ali može razgraditi molekulu škroba s bilo kojeg mjesta što rezultira velikim brojem manjih dekstrina i malom količinom fermentabilnih šećera. Nakon što α -amilaza razgradi škrob na dekstrine, potrebno je iste također prevesti u oblik koji će biti kvascima dostupan za provođenje fermentacije s obzirom da su dekstrini prevelike molekule da bi ušli u stanicu kvasca. Glukoamilaza cijepa molekule glukoze s lanca dekstrina u procesu koji se naziva saharifikacija. Ovaj enzim dodaje se u otopinu na temperaturama 58 – 60 °C (Scott Labs Ltd., 2024).

2.3. TEHNOLOŠKI POSTUPAK PROIZVODNJE

Na slici 3 prikazan je tehnološki postupak proizvodnje single malt viskija u obliku dijagrama tijeka.



Slika 3. Dijagram tijeka tehnološkog procesa proizvodnje single malt viskija (vlastita shema)

2.3.1. Sladovanje ječma

Sladovanje ječma predstavlja niz kemijskih i fizikalnih procesa koji prevode zrno ječma u slad. Ovaj proces može se podijeliti na nekoliko osnovnih koraka:

- **Priprema ječma:** Strani materijal potrebno je ukloniti iz ječma kako bi se slad mogao koristiti u proizvodnom procesu. Tanko i slomljeno zrno se uklanja te se ostala zrna razvrstavaju po veličini kako bi se osiguralo ujednačeno namakanje i klijanje. Ječam se skladišti najmanje tri mjeseca
- **Močenje:** Očišćeni ječam se stavlja u spremnike za namakanje kako bi se podigla

razina vlage zrna na 42 – 45 %. Namakanje također uklanja preostali strani materijal i omogućuje optimalne uvjete za klijanje.

- **Klijanje:** Namočeni ječam se prenosi u komore za klijanje pod kontroliranim uvjetima vlage, kisika i temperature. Klijanje aktivira amilolitičke i proteolitičke enzime. Trajanje klijanja ovisi o sorti ječma i uvjetima.
- **Sušenje:** Sladne klice se suše kako bi se proces klijanja zaustavio te se sadržaj vlage spušta na 3,5 – 4 %. Proces sušenja iznimno je bitan zbog toga što omogućuje razvoj arome, okusa, boje i enzimskog sastava slada.
- **Završna obrada:** Gotovi slad se hladi i čisti prije skladištenja. Skladištenje se provodi nekoliko tjedana do nekoliko mjeseci kako bi se postigle ujednačene razine vlage i omogućile ostale kemijske promjene na sladu. Neposredno prije isporuke, slad se miješa s obzirom na zahtjeve potrošača (Peterson i Foster, 1974).

2.3.2. Mljevenje

Proces mljevenja svodi se na smanjenje čestica slada kako bi se tijekom ukomljavanja omogućila ekstrakcija topljivih komponenti, primarno šećera i dušičnih spojeva. Međutim, nije dovoljno samo postići oslobađanje ovih sastojaka već je potrebno uzeti u obzir i brzinu filtracije sladovine. Mljevenjem se radi kompromis između potrebe za finim mljevenjem radi učinkovite ekstrakcije šećera i ostavljanja dovoljno dijelova ljuske za odgovarajuće odvajanje sladovine. Raspodjela veličine čestica sladovine ključna je za postizanje ravnoteže ovisno o sustavu odvajanja sladovine. Učinkovito mljevenje ključno je za visoke prinose ekstrakta i brzo cijeđenje. Sladovina koja nema optimalnu raspodjelu veličine čestica može dovesti do niskih prinosa ekstrakta i/ili sporog cijedenja, a u ekstremnim slučajevima i do zgušnjavanja sladovine (Crescenzi, 1987).

2.3.3. Ukomljavanje

Miješanje s vodom (ukomljavanje), tj. engleski „*mashing*“ važan je korak u procesu proizvodnje jer utječe na vrstu i kvalitetu konačnog proizvoda. Ukomljavanje je faza procesa u kojoj se sladni mljeveni materijal miješa s vodom te time hidrira, na određenoj temperaturi (obično od 63,5 do 64 °C), tako da se škrob želatinizira, a enzimi iz slada mogu učinkovito hidrolizirati škrob u fermentabilne šećere. Oni se zatim otapaju i ekstrahiraju u sladovinu. Nakon što se sladovina prvotno ocijedi, talog se dodatno ekstrahira s vodom na višim temperaturama (obično od 70 do 90 °C) (Russell i Stewart, 2014). Cilj ukomljavanja je proizvesti sladovinu koja sadrži odgovarajuće količine fermentabilnih šećera, hranjivih tvari za kvasce i spojeva arome. Konačni sastav sladovine ovisi o temperaturno-vremenskom profilu koji se primjenjuje. Cilj pri

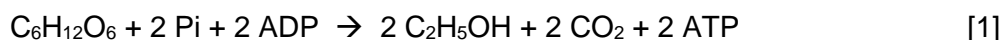
odabiru odgovarajućeg temperaturno-vremenskog profila je proizvesti sladinu sa željenim svojstvima (Montanari i sur., 2005). Aktivnost i vrste enzima najčešće korištenih u ovom procesu opisani su u poglavlju 2.2.3.

2.3.4. Separacija

Tijekom procesa separacije (eng. „*lautering*“) sladinu, tj. separacije slada, netopive tvari se odvajaju od sladinu. Netopivi dio sastoji se od ljuske i drugih netopivih materijala. Odvajanje sladinu spada u proces filtracije te je potrebno povratiti što je moguće više ekstrakta tijekom cijedenja. Pomoću separacije moguće je odrediti prinos ekstrakta koji je predstavljen omjerom mase ekstrakta i mase slada ili mase slada i dodatka (Hui i sur., 2007).

2.3.5. Alkoholna fermentacija

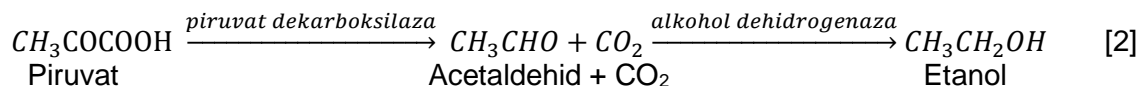
Alkoholna fermentacija je anaerobna transformacija šećera, uglavnom glukoze i fruktoze, u etanol i ugljični dioksid. Ovaj proces, koji provode kvasci i neke bakterije poput *Zymomonas mobilis*, može se sažeti ukupnom reakcijom [1] (Zamora, 2009):



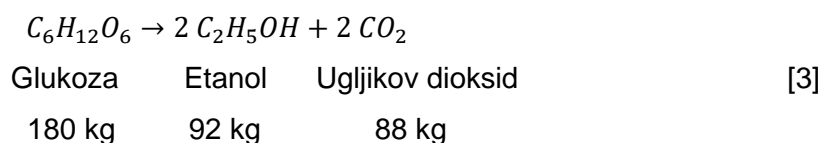
Vrsta kvasca koja dominira u proizvodnji alkoholnih pića širom svijeta je *Saccharomyces cerevisiae*, a posebni sojevi ove vrste koji se koriste u fermentaciji imaju snažan utjecaj na okus i aromu različitih pića. Najčešće korišteni soj kvasca za single malt viski, nazvan " DCL M tip" - za koji se smatra da je hibrid *S. cerevisiae* i *S. diastaticus* - posjeduje ograničenu amilolitičku aktivnost (Walker i Stewart, 2016).

Kvasci predviđeni za fermentaciju mogu koristiti šećere anaerobno kao donore elektrona i izvore ugljika. *Saccharomyces cerevisiae* je etanogeni kvasac koji ima mogućnost fermentiranja glukoze, manoze, fruktoze, galaktoze, saharoze, maltoze i maltotrioze u etanol i ugljikov dioksid što je prikazano na primjeru sumarne jednadžbe [1]. Navedeni metabolički put omogućava stanicama kvasca da dobiju energiju i sposobnost redukcije u obliku NADH. Tijekom glikolize, glukoza se prvotno fosforilira pomoću ATP-a kako bi se proizveo fruktoza-1,6-bisfosfat, koji se zatim razdvaja pomoću aldolaze na dva spoja trioza fosfata. Naknadnom fosforilacijom nastaju dva trioza difosfata u kojima četiri atoma vodika prihvaćaju dvije molekule NAD⁺. U kasnijim fazama glikolize nastaju četiri molekule ATP-a, od kojih se dvije koriste za sintetiziranje dvije molekule pirogroždane kiseline. Preostale dvije molekule ATP-a čine jedini izvor energije za *S. cerevisiae* tijekom fermentativnog metabolizma. Zbog navedenog, fermentacija je energetski manje povoljna od respiratornog metabolizma koji se generalno odvija u aerobnim uvjetima s niskim koncentracijama glukoze (Walker i Stewart, 2016).

Pri završetku glikolize piruvat se dekarboksilira pomoću piruvat dekarboksilaze, nakon čega se međuprodukt, acetaldehid, reducira pomoću alkohol dehidrogenaze u etanol kako je prikazano u jednadžbi reakcije [2]



Teorijski (prema jednadžbi [3]), iz jednog kilograma glukoze može se proizvesti 511 grama etanola.



Međutim, u industrijskim fermentacijama stvarni prinosi su obično oko 90 % te teoretske vrijednosti, zbog toga što se dio fermentabilnih šećera koristi za sintezu nove biomase kvasca i za proizvodnju drugih metabolita. Sekundarni metaboliti fermentacije *S. cerevisiae* obuhvaćaju: više alkohola, poliole, estere, organske kiseline, ketone i aldehide. Iako ovi spojevi nastaju u mnogo manjim količinama nego etanol i ugljični dioksid, ključni su za okus konačnog proizvoda (Walker i Stewart, 2016).

2.3.6. Destilacija

Viski se tradicionalno destilira u kotlovima kruškolikog oblika, eng. „*pot stills*“, koji se sastoje od velikih bakrenih kotlova s uskim vratom, koji se zakrivljuju i ulaze u kondenzator. Navedeni kotlovi za destilaciju proizvode se u tri osnovna dizajna; „*onion*“ koji je najčešći, „*boil-ball*“ i „*lantern*“. Tradicionalni način zagrijavanja kotlova svodi se na grijanje ugljenom ili plinom, dok se u novije vrijeme kotlovi griju unutarnjim izmjenjivačima topline. S obzirom da se u većini slučajeva viski destilira dva puta, svaka destilerija mora imati barem dva kotla. Prva destilacija se provodi odmah nakon procesa fermentacije, punjenjem prevrele sladovine u kotao pomoću punilice. Kotao se puni između polovice i dvije trećine kapaciteta, kako bi se omogućilo širenje tekućine i pjene koja nastaje prilikom zagrijavanja i miješanja. Otopina se zatim zagrijava te alkoholne pare koje vriju pri nižoj temperaturi od vode (78,3 °C) prolaze kroz vrat kotla i nadalje kroz namotanu bakrenu cijev koja se nalazi unutar kondenzatora. Prvi destilat sadrži 21 do 24 % alkohola po volumenu (ABV). Druga destilacija slijedi odmah nakon prve. Tijekom druge destilacije, destiler je nužan pažljivo nadzirati proces. Proces se nadzire kroz „*spirit safe*“ uređaj koji se sastoji od nekoliko staklenih posuda u koje destilat može biti usmjeren pomoću vanjskih

ventila. Prva frakcija koja se skuplja u staklene posude naziva se „heads“ ili prednji tok, te se na njoj provodi test mutnoće jer dodavanjem vode ona postaje mutna zbog postojećih nečistoća. Ovu mutnoću izazivaju aldehidi, esteri, furfural i drugi spojevi nastali u procesu destilacije, koji daju viskiju poseban miris i okus. Prednji tok se vraća na ponovnu destilaciju (Hui i sur., 2006). Kada ABV dostigne otprilike 70 – 73 % te dođe do nestanka zamućenja destilata prilikom dodatka vode, destilat se kreće skupljati u spremnik za prihvaćanje viskija. Navedena srednja frakcija naziva se „hearts“ te se sakuplja u spremnik do otprilike 63 – 70 % ABV koliko bi navedena frakcija trebala sadržati. Kada ABV padne na navedenu razinu, prestaje sakupljanje destilata u prihvatnu posudu, no destilacija se nastavlja te se sakuplja zadnja frakcija, tzv. „tails“ dok se gotovo sav alkohol ne ukloni. Ostatak od destilacije se baca u otpad ili pretvara u stočnu hranu (Jacques i sur., 2003).

2.3.7. Odležavanje i završna obrada

Svježe destilirani viskiji obično imaju senzorske karakteristike koje se smatraju neprihvatljivima, zbog čega se tradicionalno ostavljaju na sazrijevanje u hrastovim bačvama nekoliko godina kako bi se dobio vrhunski proizvod (Piggott i sur., 1995). Prema Uredbi EU (Uredba, 2019), viski mora odležati najmanje tri godine u drvenim bačvama zapremnine do 700 litara kako bi se navedeni proizvod mogao etiketirati kao „whisky“. Procesi koji se odvijaju tijekom sazrijevanja su složeni i uključuju ekstrakciju sastojaka iz drva, isparavanje spojeva s niskom točkom vrelišta iz destilata te interakcije između sastojaka drva i destilata. Također je poznato da je karakter zrelog viskija usko povezan s udjelom nehlapljivih spojeva, pa se senzorske karakteristike zrelog viskija mogu predvidjeti kvantifikacijom navedenih spojeva. Međutim, zbog gubitka etanola i vode kroz drvo bačve, koncentracija mnogih hlapljivih komponenti u piću raste tijekom sazrijevanja. Etil esteri, posebno acetat, heksanoat, oktanoat, dekanoat i dodekanoat, imaju značajan utjecaj na miris i aromu viskija te povećanje ili smanjenje količine ovih estera može negativno utjecati na intenzitet arome konačnog proizvoda.

2.4. EVALUACIJA FINALNOG PROIZVODA

Single malt viski nije samo vrlo popularno alkoholno piće, već i proizvod visoke vrijednosti, osobito kad je dugo vremena, čak i desetljećima, odležavao u bačvama. Cijena po litri može lako doseći nekoliko stotina američkih dolara, britanskih funti ili eura. Zbog toga krivotvoreni viski može ozbiljno naštetiti gospodarstvu destilerije, osobito kada uzmemo u obzir da su mnoge destilerije mala poduzeća s malim brojem zaposlenih (Kiefer i Cromwell, 2017).

U proizvodnji pića od kompleksnih prirodnih sastojaka, uz uporabu biotehnoloških postupaka poput fermentacije i računalno kontroliranih procesa, svaki sastojak igra ulogu u razvoju arome i sastava konačnog proizvoda (Schneider, 2008). Napredak kromatografskih tehnika, posebno u kombinaciji s masenom spektrometrijom, omogućio je identifikaciju velikog broja spojeva u viskiju, uključujući hlapljive i nehlapljive sastojke koji značajno utječu na njegov okus i aromu.

Prema tome glavne skupine spojeva u viskiju dijele se na:

1. **Alkohole, karboksilne kiseline i estere:** Alifatski alkoholi (npr. propanol, butanol, pentanol), kiseline (npr. octena, oktanska, dekanska) i esteri nastaju tijekom fermentacije, destilacije i odležavanja. Ovi spojevi značajno doprinose aromi i okusu viskija.
2. **Alifatske karbonilne spojeve:** Većinu karbonilnih spojeva, poput acetaldehida, aldehida, ketona i acetala, proizvodi kvasac tijekom fermentacije. Oni također doprinose aromatskom profilu viskija.
3. **Spojeve sumpora i dušika:** Nastaju iz anorganskog sumpora i aminokiselina tijekom fermentacije i destilacije. Spojevi sumpora, poput tiazola i tiofena, te dušični spojevi, kao što su pirazini i piridini, pridonose karakterističnoj aromi viskija.
4. **Fenole:** Jednostavni fenoli (npr. fenol, krezoli, etil fenoli) i fenolni aldehidi (npr. vanilin, siringaldehid) nastaju razgradnjom organskih tvari tijekom termičkih procesa. Oni značajno utječu na dimljeni i drveni karakter viskija.
5. **Heterocikličke spojeve kisika:** Furfural i laktoni nastaju tijekom proizvodnih procesa, kao što su ukomljavanje i odležavanje u bačvama. Ovi spojevi doprinose kompleksnosti i punoći okusa viskija (Piggott, 2017).

Viski se uglavnom sastoji od dva glavna sastojka (etanol i voda) koji čine 99,9 % ukupnog volumena, pri čemu preostalih 0,1 % drugih tvari određuje ukupni karakter i aromu viskija. Senzorski atributi viskija mogu se podijeliti na aromu, okus, osjećaj u ustima, miris i izgled, koji se mogu najbolje prikazati kotačem aroma sadržanih u viskiju, te su u njemu prikazani svi atributi osim izgleda. Navedeni kotač dijeli se na petnaest kategorija s tri razine atributa koji su sve specifičniji približavanjem unutrašnjosti kotača. Aromatske tvari razvijaju se tijekom proizvodnog procesa te je oko dvije trećine spojeva već identificirano (npr. vanilin i drugi spojevi iz bačvi uzrokuje slatke arome). Okus viskija posljedica je prisutnosti tvari koje stimuliraju okusne pupoljke na površini jezika. Gorčina i kiselost igraju ključnu ulogu u okusu viskija, gdje je gorčina rezultat ekstrakcije tanina tijekom zrenja. Osjećaj u ustima (peckanje) i miris posljedica su visoke razine etanola i drugih alkoholnih spojeva. Izgled i bistroća čine glavnu ulogu u prihvaćanju proizvoda od strane potrošača. Boja viskija nastaje tijekom višegodišnjeg zrenja u bačvama, dok se bistroća postiže hlađenjem i filtracijom spojeva koji bi mogli uzrokovati talog u gotovom proizvodu (Jack, 2012).

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. PROJEKTNI ZADATAK

Nalaže se izrada elaborata-tehničko tehnološkog rješenja destilerije za proizvodnju single malt viskija s godišnjim kapacitetom proizvodnje od 37.500 L gotovog proizvoda. Elaborat sadrži osnovne i tehničke podatke za izradu ostalih projekata i elaborata potrebnih za zadovoljavanje uvjeta za izgradnju objekta i puštanje istog u pogon.

Objekt je predviđen kao jednoetažni samostojeći pogon koji svoj kapacitet ispunjava kroz 250 radnih dana u godini, tj. 5 dana u tjednu sa 8 satnim radnim danom u jednoj smjeni. Prema potrebi, u razdoblju povećane proizvodnje i potražnje za proizvodom uvodi se i druga smjena.

Ovim projektom detaljno je razrađen tehnološki opis sirovina i planiranog proizvoda, ambalažnog materijala i tehnološki koncept pogona, tj. smještaj linija za proizvodnju. Elaboratom tehničko-tehnološkog rješenja prikazana je blok shemu proizvodnje te energetska i masena bilanca proizvodnje. Popisom je navedena je sva potrebna oprema za izradu pogona sa opisom svake stavke, broj radnika, dodatna oprema i sve potrebne prostorije. Nadalje, elaborat sadrži tlocrtni prikaz proizvodnog pogona.

S ciljem optimizacije proizvodnje i ekonomičnog iskorištenja prostora, potrebno je obratiti pozornost na smještaj prostorija kako bi se proizvodni proces mogao provoditi bez zastoja ili smetnji. Uzimajući u obzir navedeno, u glavni proizvodni prostor potrebno je projektirati sve prateće proizvodne i neproizvodne sadržaje; prostor za prihvata i obradu sirovine, prostore za proizvodni proces i odležavanje proizvoda sa pomoćnim prostorijama, laboratorij za kontrolu kvalitete i razvoj, prostor za završnu obradu i pakiranje proizvoda, prostore za skladištenje (sirovine, polugotovi i gotovi proizvod, ambalaža, dodatna oprema), prostor za urede i sobe za sastanke, sanitarne prostorije, garderobe i prostor za odmor radnika.

Elaborat-tehničko tehnološkog rješenja potrebno je izraditi sukladno zakonskoj regulativi važećoj u Republici Hrvatskoj s naglaskom na poštivanje uredbi Europske Unije kako bi se osigurala standardizirana kvaliteta proizvoda. Shodno tome, potrebno je omogućiti provedbu proizvodnog procesa sukladno načelima HACCP sustava, dobre higijenske i proizvođačke prakse te drugih sustava osiguranja kvalitete (ISO, BRC, itd.).

3.2. ANALIZA MAKROLOKACIJE

Planirani smještaj pogona je u prostoru središnje Hrvatske, točnije u makroskopsku regiju sjeverozapadne Hrvatske. Radi se o prostoru Zagrebačke županije, jedne od najrazvijenijih Hrvatskih županija uz Grad Zagreb i Istarsku županiju. Županija je treća u Hrvatskoj po broju stanovnika sa 299.985 stanovnika prema popisu 2021. godine. Administrativna podjela svodi se na 9 gradova i 25 općina.

Zagrebačka županija obrubljuje Grad Zagreb sa zapadne, južne i istočne strane što pogoduje ubrzanom razvoju zbog male udaljenosti od glavnog grada. Kako je Republika Hrvatska centralizirano nastrojena država, glavni grad Zagreb predstavlja za objekt veliki potencijal za distribuciju proizvoda, marketing i dobavu radne snage. Kroz Zagrebačku županiju također prolaze najvažnije prometnice poput Autocesta A1, A2, A3 i A4 koje omogućuju odličnu povezanost lokacije sa ostatkom Hrvatske, te samim time laku dobavu sirovina za proizvodnju, energenata i vode. Osim navedenog, županija graniči sa susjednom državom Republikom Slovenijom koja predstavlja novo tržište za dobavu sirovina i prodaju gotovog proizvoda, čime se povećava potencijal ove makrolokacije.

S obzirom da poljoprivreda čini trećinu gospodarstva ove županije, dobava sirovina za proizvodni proces pojednostavljuje se zbog brojnih polja u okolici objekta koja su u mogućnosti proizvoditi ječam. Industrija i trgovina čine ostale dvije trećine gospodarstva. Uska povezanost pogona za destilaciju sa navedenim granama gospodarstva utvrđuje odabir lokacije za igradnju pogona.

Izgradnja navedenog objekta sa geoprometnog i geoekonomskog stajališta je opravdana, te sa društvenog aspekta omogućuje nastavak razvoja županije, alkoholne industrije i otvaranje novih radnih mjesta za lokalno stanovništvo.



Slika 4. Zagrebačka županija (prema Wikipedija, 2024)



ZAGREBAČKA ŽUPANIJA



ZAGREBAČKA ŽUPANIJA



Slika 5. Administrativna podjela i prikaz glavnih prometnica koje prolaze kroz Zagrebačku županiju (prema Ministarstvu turizma i sporta, 2018)

3.3. ANALIZA MIKROLOKACIJE

Predviđena mikrolokacija planiranog objekta nalazi se na površini gradskog središta Jastrebarsko, točnije u gospodarskoj zoni Jalševac.

Gospodarska zona Jalševac udaljena je od Grada Zagreba 35 kilometara. Jedna je od najvećih gospodarskih zona u Hrvatskoj s površinom od 354,3 hektara, u kojoj se nalazi 25 gospodarskih subjekata sa oko 1000 zaposlenika. S obzirom na smještaj uz paneuropski koridor VC (povezuje Baltik s Jadranskom regijom) i povezanosti s tržištem Europske Unije, gospodarska zona nudi brojne geostrateške prednosti. Izravno je povezana sa autocestom A1 i cestama E65 i E71, kao i također državnim cestama D1 i D310. Najbliža željeznica nalazi se na 1 kilometar udaljenosti (Rijeka – Zagreb – Koprivnica – Botovo, glavni europski željeznički pravac C-E71), najbliža morska luka je na 120 kilometara udaljenosti (Rijeka), te najbliža zračna luka nalazi se na 40 km udaljenosti (međunarodna zračna luka Zagreb) (Grad Jastrebarsko, 2021).

Izgradnja pogona predviđena je u katastarskoj općini 312606 Jastrebarsko, na katastarskoj čestici 3303/2 ukupne površine 6566 m². Čestica ima izravan cestovni pristup, te se nalazi u

blizini već postojećih gospodarskih subjekata na navedenom području, što potvrđuje adekvatnu infrastrukturu za izgradnju objekta.



Slika 6. Položaj odabrane katastarske čestice 3303/2 (prema Katastar, 2024)

3.4. ANALIZA SIROVINE

Ječam je najvažnija žitarica u globalnoj proizvodnji slada. U procesu sladovanja najčešće se koriste dvije vrste ječma: ječam sa šest redova zrna i ječam s dva reda zrna. Ječam s dva reda zrna daje slad s višim udjelom ekstrakta, svjetlije boje i s nižom razinom enzima u usporedbi s ječmom sa šest redova zrna (Broderick, 1977).

U proizvodnji planirana je dobava gotovog slada od proizvođača u vrećama od 25 kg. Sladovanje se opisuje kao kontrolirani proces klijanja žitarica s ciljem postizanja specifičnih fizičkih i biokemijskih promjena unutar zrna, koje se potom stabiliziraju sušenjem. Tri ključna koraka u ovom procesu su: namakanje, kojim se omogućuje zrnima da upiju dovoljno vode (povećanje vlage s 12 % na barem 40 %); klijanje, koje potiče rast embrija, proizvodnju enzima i djelomičnu razgradnju endosperma; te sušenje, koje osigurava dugotrajnu stabilnost finalnog proizvoda (Gupta i sur., 2010). Različite karakteristike zrna, poput strukture endosperma, sadržaja škroba, proteina i svojstava staničnih stijenki, prepoznate su kao faktori koji utječu na

upijanje vode tijekom namakanja ječma, pri čemu slabo povezani, brašnasti endosperm omogućuje bolji protok vlage i enzima te se lakše razgrađuje hidrolitičkim enzimima tijekom sladovanja (Ogushi i sur. 2002; Swanston i sur., 1995). Kao rezultat procesa sladovanja, dolazi do povećanja aktivnosti enzima, topljivih proteina i razgradnje škroba u jednostavne šećere, uz razvoj tipične boje i okusa te konačni sadržaj vlage u proizvedenom sladu iznosi približno 35 do 40 g/kg, što ga čini visoko higroskopskim proizvodom (Gupta i sur., 2010). S obzirom na kompleksnost navedenog procesa sladovanja i količinu potrebne opreme i prostora za izradu istog, ječam se u pogon destilerije doprema kao već gotovi slad.

Voda potrebna za provođenje procesa priprema se reverznom osmozom što uključuje postupak pročišćavanja vode kroz polupropusnu membranu koja uklanja otopljene soli, minerale, bakterije i druge nečistoće. Voda prolazi pod visokim tlakom kroz membranu, filtrirajući kontaminante, te se time postiže visok stupanj čistoće što je od izrazite važnosti za sigurnost i aromu konačnog proizvoda i održavanje opreme.

Najvažnija sirovina u proizvodnji viskija su kvasci za fermentaciju slada. Specifični soj kvasca *Saccharomyces cerevisiae* korišten u fermentaciji viskija utječe na količinu proizvedenog alkohola i razine spojeva koji oblikuju okus i aromu konačnog proizvoda. Iako većina sojeva proizvodi slične spojeve okusa, njihova koncentracija varira ovisno o soju, pa je pažljiv odabir ključan za konzistentnost fermentacije i kvalitetu viskija. Većina destilerija koristi nekoliko stabilnih komercijalnih sojeva *S. cerevisiae*, uglavnom izvedenih iz pekarskih/pivskih kvasaca. Destilacijski kvasci razlikuju se od pivskih po tome što potpuniije fermentiraju sladovinu, iskorištavajući šećere poput maltoze, glukoze i maltotrioze, što je ključno za proizvodnju single malt viskija te ovi sojevi se koriste samo jednom po fermentacijskom ciklusu. Iako postoji velik broj potencijalnih sojeva za proizvodnju destiliranih pića, u industriji viskija koristi se samo nekoliko komercijalnih sojeva, uključujući Distiller's M i MX (Kerry Bio-Science), Pinnacle kvasac (AB Mauri) i DistillMax kvasac (Lallemand). Ovi kvasci se uzgajaju u velikim količinama na bazi melase šećerne trske i šećerne repe, a dostupni su u tekućem, komprimiranom i suhom obliku. Proizvođači kvasaca također razvijaju nove sojeve, posebno za bioetanol, što ima potencijalni korisni učinak i za proizvodnju viskija (Walker i Hill, 2016).

Tablica 2. Prednosti i nedostaci kvasca *Saccharomyces cerevisiae* (prema Walker i Hill, 2016)

Prednosti	Nedostaci
Sekvenca genoma i genetski alati dobro razvijeni	Ne može fermentirati ksilozu, arabinozu, celobiozu, ksilobiozu, laktozu, maltodekstrine, itd.
Relativno tolerantan na stres	Flokulacija (poželjna i nepoželjna)
Razvijen za industrijske procese fermentacije većih kapaciteta	Akumulira glicerin, trehalozu, glikogen (smanjuje se prinos etanola)
Posjeduje GRAS (<i>generally recognized as safe</i>) status	Raste isključivo u aerobnim uvjetima
Proizvodi poželjne komponente arome	Pozitivan na <i>Crabtree</i> efekt i potisnut glukozom
Podnosi visoke koncentracije etanola (>20 % v/v)	Neki genetski sojevi su nestabilni

3.5. ANALIZA GOTOVOG PROIZVODA

Viski je jako alkoholno piće smeđe boje proizvedeno fermentacijom slada i destilacijom istog, sa predodređenim vremenom odležavanja što mu daje kompleksnu aromu te svake godine raste na popularnosti u ovoj kategoriji alkoholnih napitaka. Planirani udio alkohola u gotovom proizvodu iznosi 40 %.

Okus i aroma viskija uvelike ovise o složenoj mješavini sastojaka koji potječu iz raznih faza procesa i podliježu raznim promjenama. Razlike u aromi povezuju se s varijacijama u proizvodnim procesima, no identifikacija određenih spojeva nositelja okusa je znatno teže (Piggott, 2017).

Kontrola kvalitete novog viskija uglavnom se provodi od strane panela za organoleptičku procjenu sa najmanje četiri ili pet obučanih ocjenjivača (Piggott i sur., 1989). Trenutno još uvijek ne postoji model okusa viskija jer su svi dosadašnji pokušaji bili neuspješni. Istraživanja koja su provedena na sastavu tekućine pokazala su da postoje složeni odnosi koji utječu na oslobađanje spojeva arome u viskiju. Glavni faktori jačina alkohola i nehlapljivi sastojci u matriksu viskija, te razrjeđivanjem alkohola za senzorsku analizu dolazi do promjena u oslobađanju spojeva topljivijih u etanolu nego u vodi i samim time se osporava validnost senzorske analize (viski iz uvoda). Osim organoleptičke analize provodi se spektrofotometrijsko određivanje apsorbancije na 430 i 525 nanometara i određivanje razina topljivih čvrstih tvari, ukupnih fenola i reduciranih šećera. Nadalje koristi se i tekućinska kromatografija za mjerenje

šećera, furana i produkata razgradnje lignina poput vanilina (Piggott i Conner, 2003).

Punjenje gotovog proizvoda, viskija, provodi se u staklene boce od 700 mL sa odgovarajućim staklenim čepovima prikazanim na slici 7. Na staklene boce se nakon punjenja lijepi etiketa brenda, boce se spremaju u transportne kutije, te se na kraju transportne kutije slažu na euro palete.



Slika 7. Staklena boca i odgovarajući čepovi (prema Bumbar, 2024)

4. REZULTATI I RASPRAVA

4.1. TEHNOLOŠKA KONCEPCIJA DESTILERIJE

Prema projektnom zadatku ovog elaborata tehničko – tehnološkog rješenja provodi se projektiranje i gradnja destilerije za proizvodnju single malt viskija. Destilerija je projektirana tako da zadovoljava zakonsku regulativu Republike Hrvatske i Europske unije, te se implementiraju higijenski standardi, dobra proizvođačka praksa te standardi za kvalitetu.

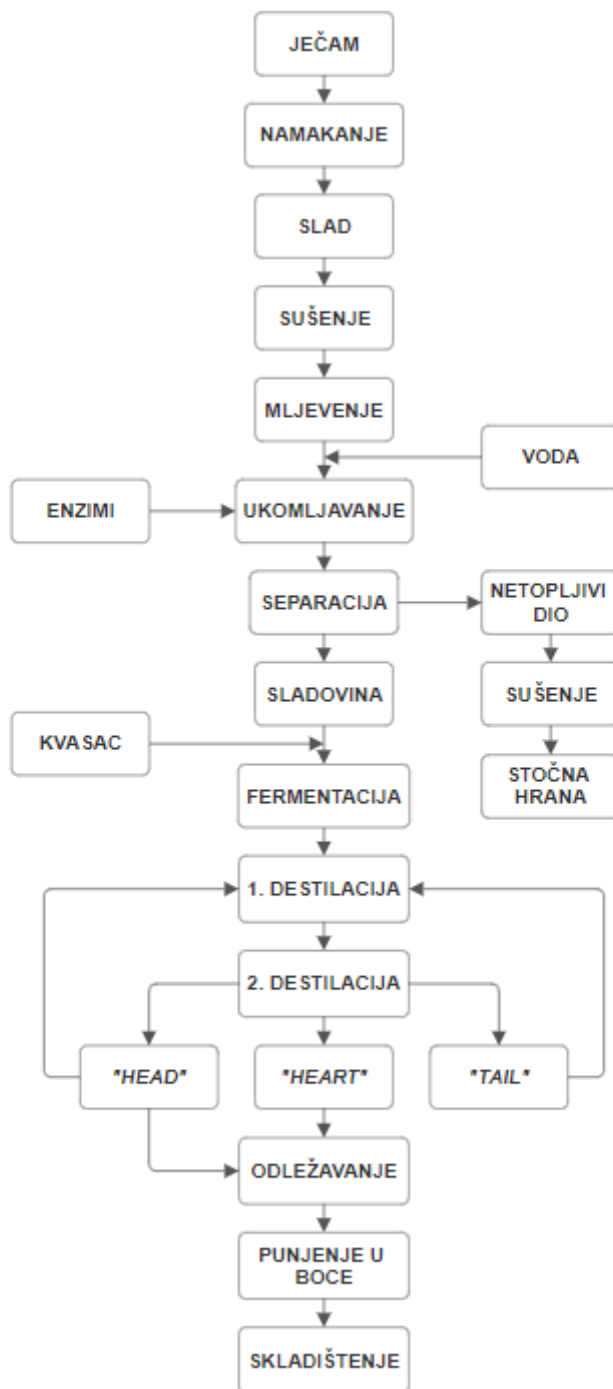
Destilerija sadrži proizvodni i neproizvodni dio koji su jasno odijeljeni. Proizvodni dio osmišljen je u obliku slova „L“ te sadrži prostor za prijem sirovina, prostor za primarnu obradu sirovina, glavni proizvodni prostor, prostor za skladištenje i odležavanje proizvoda u bačvama i prostor za završnu obradu proizvoda te skladište ambalažnog materijala i laboratorij kao dva pomoćna prostora. Neproizvodni prostor sadrži mušku i žensku garderobu sa pripadajućim muškim i ženskim toaletom, kotlovcu, čajnu kuhinju, dva uredska prostora i prostor za sastanke. Svi prostori povezani su hodnikom u skladu sa visokim higijensko-sanitarnim kriterijima.

Ulaz sirovine i izlaz gotovog proizvoda osmišljeni su na suprotnim krajevima destilerije, te se nalaze u blizini prometnica za jednostavan prijem sirovina i otpremu gotovog proizvoda. Prema situacijskom planu destilerije također je predviđen prostor za parkirna mjesta za djelatnike i goste na navedenoj katastarskoj čestici.

Proizvodnja je koncipirana u šaržnom obliku sa šaržama od 8 sati. U navedenoj šarži provodi se jedan proces dvostruke destilacije od 1000 L koja čini okosnicu dnevne proizvodnje. Mljevenje slada, ukomljavanje i separacija provode se u trodnevnim intervalima u skladu sa trajanjem fermentacije od tri dana, te je jedan fermentacijski ciklus od 3000 L dovoljan za tri dvostruke destilacije. Sirovine se dopremaju u destileriju periodički ovisno o potrebama proizvodnje. Pranje, punjenje i etiketiranje boca provodi se svakodnevno te se otprema gotovog proizvoda provodi ovisno o narudžbama ili se gotovi proizvod skladišti na paletama u transportnim kutijama. Laboratorijska testiranja i kontrola kvalitete provode se svakodnevno.

4.2. BLOK SHEMA PROIZVODNJE

Na slici 8 prikazana je blok shema proizvodnje single malt viskija.



Slika 8. Blok shema proizvodnje single malt viskija (vlastita fotografija)

4.3. OPIS TEHNOLOŠKOG PROCESA

4.3.1. Prijem i obrada sirovine

Kako bi proizvodnja viskija započela potrebno je zaprimiti i pripremiti slad. U većini slučajeva proizvodnja slada iz ječma ne provodi se u destilerijama, već se slad proizvodi zasebno u postrojenjima specijaliziranim za njegovu proizvodnju. Gotovi slad se naručuje i doprema u destileriju gdje započinje proizvodni proces obrade. Prvotno se dopremljeni slad melje na određenu veličinu čestica koja je optimizirana za najveće moguće iskorištenje ekstrakcije šećera, bez nuspojave grudanja zbog presitnog mljevenja. Mljeveni slad se zatim prebacuje u spremnik za ukomljavanje prethodno napunjen vodom.

4.3.2. Ukomljavanje

Uređaj za ukomljavanje puni se vodom i prethodno mljevenim sladom u omjeru 4:1 (npr. 4 t vode na 1 t slada) te se prilikom punjenja smjesa dobro miješa pomoću miješalica ugrađenih u sustav uređaja za ukomljavanje ili po potrebi ručno. Po završetku punjenja potrebno je provjeriti pH i namjestiti ga u granicama od 5,0 do 5,7 te zatim kreće zagrijavanje smjese sustavom cijevnih izmjenjivača topline. Tijekom procesa ukomljavanja dodaju se enzimi α -amilaza, β -amilaza i glukoamilaza. Proces se provodi po režimu dvofaznog infuzijskog ukomljavanja gdje se smjesa prvotno zagrijava do otprilike 58 - 63 °C. Kada smjesa dostigne navedeni temperaturni interval, dodaju se enzimi β -amilaza i glukoamilaza te se temperatura zadržava određen vremenski period. Nakon tog smjesa se opet zagrijava do otprilike 72 – 75 °C, te se postizanjem tog temperaturnog intervala dodaje enzim α -amilaza. Smjesa se zadržava na navedenoj temperaturi određeno vrijeme do ukupnog vremenskog trajanja procesa od 1 sat do 1 sat i 30 minuta. Po završetku, smjesa se hladi na sobnu temperaturu i ispumpava u separator koji odjeljuje sladovinu i kruti netopljivi dio smjese. Sladovina se zatim prenosi u fermentor i priprema za fermentaciju. Kruti netopljivi dio smjese se smatra otpadom, te se on sprema u posebne spremnike kako bi se kasnije mogao podvrgnuti sušenju i iskoristiti kao stočna hrana.

4.3.3. Fermentacija

Po završetku ukomljavanja i separacije sladovine, ista se prenosi u fermentor, tj. fermentacijsku posudu. Tradicionalno se koriste fermentacijske posude od drveta zbog mikroorganizama koji se potencijalno mogu nalaziti u pukotinama drveta, čime se doprinosi kompleksnosti arome po završetku fermentacije, no sve češća je uporaba fermentora od nehrđajućeg čelika zbog lakšeg održavanja što je i slučaj u ovoj destileriji. Važno je naglasiti da

se sladovina hladi do otprilike 34 °C, što je optimalna temperatura za rast i razvoj korištenih kvasaca, te da se sladovina ne puni do vrha posude kako ne bi došlo do prelijevanja zbog pjenjenja razvojem CO₂. Kvasci koji se koriste u procesu fermentacije mogu doći u 3 različita oblika; tekući kremasti oblik, sušeni oblik u obliku kolača i potpuno suhi oblik. U ovom procesu fermentacije koristi se tekući kremasti oblik kvasca Saccharomyces cerevisiae, DCL M-tip zbog njegove mogućnosti hidrolize maltoze i proizvodnje arome tipične za „Scotch“ viski. Proces fermentacije provodi se oko 72 sata znači da je ova fermentacija duga. Razlog dugog vremena fermentacije je dopuštanje kvascima da u potpunosti završe fermentaciju čime se razvijaju razne aminokiseline, esteri i kiseline koji dodaju cvjetne i citrusne arome gotovom proizvodu. Tijekom fermentacije smjesa se stalno provjerava i po potrebi aerira kako bi kvasci iskoristili što je više moguće fermentabilnih šećera i proizveli alkohol. Smjesi se može dodati još sladovine ili kvasaca kako bi učinkovitost procesa fermentacije bila zadovoljavajuća. Fermentacija završava nakon otprilike 72 sata te u novonastaloj smjesi, tzv. eng. „wash“, se nalazi 7 – 8 % ABV (alcohol by volume), te slijedi proces destilacije.

4.3.4. Destilacija

Destilacija započinje punjenjem fermentirane sladovine u prvu bakrenu destilacijsku posudu te se zagrijava pomoću sustava cijevnih izmjenjivača topline (indirektno zagrijavanje pregrijanom parom). Smjesa se zagrijava do 78 °C gdje se temperatura zadržava, jer započinje isparavanje etilnog alkohola. Alkoholna para isparava u sužavajuću cijev (eng. *lyne arm*) koja je spojena na kondenzator. U kondenzatoru dolazi do ukapljivanja isparenog alkohola dok većina vode ostaje u kotlu. Proizvedeni destilat u kotlu za prvu destilaciju sadrži otprilike 20 do 25 % ABV te se isti prebacuje u kotao za drugu destilaciju. Prvi destilat se ponovo destilira u kotlu za drugu destilaciju koji su generalno manjeg kapaciteta. Uloga inženjera u drugoj destilaciji od iznimne je važnosti. Prednji destilat, tzv. „head“, sakuplja se otprilike 30 minuta od početka druge destilacije te se vraća nazad u kotao za prvu destilaciju. Pomoću testa mutnoće i mjerenjem gustoće, inženjer odlučuje kada kreće preusmjeravanje sakupljanja srednjeg destilata, tzv. „heart“, u drugu prihvatnu posudu. Navedeni destilat predstavlja mladi viski koji sadrži 65 do 70 % ABV i priprema se za odležavanje. Sakupljanje srednjeg destilata traje otprilike 3 sata, te se zatim sakupljanje opet preusmjerava. Zadnji destilat, tzv. „tail“, vraća se natrag u kotao za prvu destilaciju dok se sav alkohol ne ukloni. Ukupno vrijeme trajanja destilacije iznosi 4 do 8 sati uz pažljivo praćenje procesa.



Slika 9. Bakreni kotlovi za destilaciju (Anonymus, 2024)

4.3.5. Odležavanje

Novostvoreni destilat je proziran i sadrži visok sadržaj alkohola (otprilike oko 63,5 % ABV), te mu nužno slijedi odležavanje u bačvama. Viski mora odležavati u bačvama najmanje 3 godine kako bi se uopće mogao nazivati viski te jeftiniji viskiji generalno odležavaju zakonski minimum, dok bolji i skuplji viskiji odležavaju znatno duže (čak 10 do 21 godinu) kako bi došlo do dubljeg razvoja aromatskog profila. Bačve u kojima viski odležava volumena su 225 L u kojima viski odležava najmanje 3 godine uz mogućnost odležavanja i više čime se povećava kvaliteta gotovog proizvoda.. Navedene bačve izrađene su od hrasta zbog njegove prozračnosti i izdržljivosti, te se može koristiti više vrsta hrasta koje daju različite okusne profile viskiju, npr. američki bijeli hrast daje okus vanilije i karamele, europski hrast ljutinu i gorčinu, mizunara hrast daje okus sandalovine, kokosa i orijentalnih začina itd. Tijekom skladištenja dolazi do smanjenja udjela alkohola i općenitog volumena tekućine unutar bačve zbog evaporacije od otprilike 2 % po godini, no dolazi i do prijenosa tanina, estera i etera iz drveta bačve u viski što pridonosi razvijanju arome gotovog proizvoda. Viski se u redovitim vremenskim intervalima provjerava na smanjenje volumena, okreću se bačve i provodi se testiranje okusa kako bi se odredilo vrijeme odležavanja kada je viski dosegao vrhunac aromatskog dozrijevanja. Na kraju odležavanja viski se po potrebi može prebaciti u spremnike od nehrđajućeg čelika kako bi se oslobodile bačve

za novi destilat, te slijedi punjenje viskija u boce uz filtraciju ako su primjetne nečistoće i skladištenje.

4.4. POPIS UREĐAJA I DODATNE OPREME

1. Podna vaga



Slika 10. Podna vaga (Probus, 2024)

Specifikacije uređaja:

- Tip: 4BA1500NA-A+
- Kapacitet: 1500 kg
- Dimenzije (dužina x širina x visina): 1000 mm x 1000 mm x 50 mm
- Težina: 350 kg
- Snaga: 1,1 kW
- Namjena: Mobilna vaga s navoznom rampom za vaganje tereta na paletama u skladištu, primarno za vaganje nabavnog i mljevenog slada

2. Mlin za slad



Slika 11. Mlin za istiskivanje zrna slada (Czech Brewery System, 2024)

Specifikacije uređaja:

- Tip: MMR – 600M
- Kapacitet: 2,8 – 10 t h⁻¹
- Dimenzije (dužina x širina x visina): 1370 mm x 1140 mm x 913 mm
- Težina: 972 kg
- Snaga: 1,5 kW
- Namjena: Robustan stroj za nježno stiskanje i drobljenje slada s mogućim postavkama širine zubaca čime se mijenja struktura mljevenog proizvoda

3. Uređaj za ukomljavanje



Slika 12. Industrijski ukomljivač (Letina, 2024)

Specifikacije uređaja:

- Tip: MT20
- Kapacitet: 2000 L
- Dimenzije (promjer tijela x visina): 1960 mm x 3150 mm
- Snaga: 2,2 kW
- Namjena: Kotao sa zagrijavanjem na paru u kojem se miješaju voda i mljeveni slad pomoću ugrađenog agitatora kako bi se škrob pretvorio u šećere

4. Separator



Slika 13. Industrijski separator (Letina, 2024)

Specifikacije uređaja:

- Tip: LT20
- Kapacitet: 2000 L
- Dimenzije (promjer tijela x visina): 1960 mm x 3150 mm
- Snaga: 1,5 kW
- Namjena: Spremnik u kojem se sladovina odvađa od zrna slada gdje spremnik djeluje kao sito s prorezanim dnom koje drži zrno i filtrira sladovinu

5. Fermentor



Slika 14. Cilindrišno konični fermentor (Letina, 2024)

Specifikacije uređaja:

- Tip: ZB3000A15
- Kapacitet: 3000 L
- Dimenzije (promjer tijela x visina): 1400 mm x 3963 mm
- Radni tlak: 2,5 bar
- Radna temperatura: -5 °C – 30 °C
- Namjena: Spremnik od nehrđajućeg čelika sa konusnim dnom koristi se za proces fermentacije sladovine te taloženje sedimenta uz moguću aeraciju fermenta bez potrebe za pretakanjem u drugi spremnik

6. Destilator



Slika 15. Sustav za destilaciju (Degong Brew Systems, 2024)

Specifikacije uređaja:

- Tip: DG-1000L
- Kapacitet: 1000 L
- Dimenzije (dužina x širina x visina): 3800 mm x 1600 mm x 5500 mm
- Materijal: SUS304/SUS316/Crveni bakar
- Snaga: 15 kW
- Namjena: Bakreni destilator namijenjen destilaciji sladovine te drugoj destilaciji prvog destilata sa mogućnostima odvajanja destilata u 4 sekcije

7. IBC spremnik



Slika 16. IBC spremnik (Radin, 2024)

Specifikacije spremnika:

- Zapremnina: 1000 – 1055 L
- Dimenzije (dužina x širina x visina): 1200 mm x 1000 mm x 1160 mm
- Težina: 60 kg
- Namjena: Spremnik od polietilena visoke gustoće (HDPE) namijenjen skupljanju destilata i kratkoročnom skladištenju tekućina

8. Bačva za odležavanje



Slika 17. Bačva za odležavanje od američkog drveta (Oakbarrels.shop, 2024)

Specifikacije bačve:

- Tip: American White Oak Missouri/Pennsylvania
- Zapremnina: 225 L
- Dimenzije: 950 mm (visina) x 690 mm (promjer kaljuže) / 570 mm (promjer glave)
- Namjena: Drveni spremnik namijenjen odležavanju gotovog proizvoda destilacije s namjerom razvoja arome

9. Peristaltička pumpa



Slika 18. Peristaltička pumpa za tekućine (Pavin, 2024)

Specifikacije uređaja:

- Tip: Mori AS20
- Dimenzije (dužina x širina x visina): 500 mm x 500 mm x 600 mm
- Težina: 365 kg
- Namjena: Peristaltička pumpa namijenjena pumpanju tekućina tijekom proizvodnje između uređaja ili iz uređaja u spremnik

10. Spremnik od nehrđajućeg čelika



Slika 19. Zatvoreni spremnik od nehrđajućeg čelika (Letina, 2024)

Specifikacije spremnika:

- Tip: Z1000A8
- Kapacitet: 1000 L
- Dimenzije (promjer tijela x visina): 797 mm x 2611 mm
- Namjena: Zatvoreni međuspremnik od nehrđajućeg čelika namijenjen za kratkoročno skladištenje odležanog proizvoda prije punjenja u boce

11. Sterilizacija i pranje boca



Slika 20. Uređaj za sterilizaciju i pranje boca (Koletnik, 2024)

Specifikacije uređaja:

- Tip: Koletnik STN 18
- Kapacitet: 400 – 1350 boca h⁻¹
- Dimenzije (dužina x širina x visina): 1000 mm x 850 mm x 1000 mm
- Snaga: 0,6 kW
- Namjena: Uređaj za pranje i sterilizaciju boca pomoću tekućine za sterilizaciju filtrirane kroz mikrofiltere (Biosteril ili 2 % otopina H₂SO₃)

12. Punilica



Slika 21. Poluautomatizirana punilica (KMS Malerič, 2024)

Specifikacije uređaja:

- Tip: SP 3/6
- Volumen: 55 L
- Dimenzije (dužina x širina x visina): 750 mm x 600 mm x 1650 mm
- Snaga: 1 kW
- Namjena: Samostojeća poluautomatska punilica namijenjena punjenju gotovog odležanog proizvoda u boce

13. Filtar



Slika 22. Pločasti filtar (Rover Pompe, 2024)

Specifikacije uređaja:

- Tip: Colombo 6
- Kapacitet: 200 – 300 L h⁻¹
- Dimenzije (dužina x širina x visina): 400 mm x 270 mm x 280 mm
- Snaga: 0,37 kW
- Namjena: Filtar uređaj za filtriranje gotovog proizvoda iz bačvi u međuspremnik za punjenje

14. Dodatna oprema za laboratorij

- Digitalni refraktometar
- Alkoholometar
- Hidrometar
- pH metar
- Uređaj za mjerenje električne provodnosti i TDS
- Termometar
- Laboratorijska vaga
- Laboratorijsko posuđe

4.5. TABLIČNI POPIS UREĐAJA I ENERGETSKA BILANCA

Tablica 3 prikazuje popis uređaja i potrebne opreme sa količinom, kapacitetom, dimenzijama i instaliranom snagom električne energije. Prema podacima iz tablice izračunava se energetska bilanca koja obuhvaća snagu uređaja koji se koriste u procesu proizvodnje, te ona iznosi u planiranom objektu 71,75 kW.

Tablica 3. Popis uređaja i opreme

Uređaj/spremnik	Količina	Kapacitet	Dimenzije D x V x Š (mm)	Snaga (kW)
Podna vaga	2	1500 kg	1000 x 1000 x 50	1,1
Mlin za slad	2	2,8 – 10 t h ⁻¹	1370 x 1140 x 913	1,5
Uređaj za ukomljavanje	1	2000 L	Ø 1960 x 3150	2,2
Separator	1	2000 L	Ø 1960 x 3150	1,5
Fermentor	1	3000 L	Ø 1400 x 3963	-
Destilator	1	1000 L	3800 x 1600 x 5500	50
IBC spremnik	20	1000 – 1055 L	1200 x 1000 x 1160	-
Bačva za odležavanje	500	225 L	Ø 69 / Ø 57 x 95	-
Peristaltička pumpa	3	-	500 x 500 x 600	1,5
Spremnik od nehrđajućeg čelika	5	1000 L	Ø 797 x 2611	-
Uređaj za sterilizaciju i pranje boca	3	400 – 1350 boca h ⁻¹	1000 x 850 x 1000	0,5
Poluautomatska punilica	5	55 L	750 x 600 x 1650	1
Filtar	5	200 – 300 L h ⁻¹	400 x 270 x 280	0,37

4.6. POTREBNA RADNA SNAGA

U tablici 4 prikazana je potreba za radnom snagom u obliku radnih mjesta kao broj zaposlenika na svakom radnom mjestu. Planirani pogon sadrži 19 stalno zaposlenih osoba.

Tablica 4. Potrebna radna snaga za planirani objekt

Radno mjesto	Broj djelatnika
Prihvat sirovina i eksport gotovog proizvoda	1
Mljevenje slada	2
Rad u procesu proizvodnje (ukomljavanje, fermentacija, destilacija, odležavanje)	3
Prehrambeni tehnolog (pogon i laboratorij)	1
Punjenje, etiketiranje, pakiranje	5
<i>Skladištar</i>	1
Logistika	2
<i>Promocija i komercijalizacija</i>	1
Računovodstvo	1
Čistač	1
Direktor	1
	Σ 19

4.7. MATERIJALNA BILANCA

Prema projektnom zadatku, planirani godišnji kapacitet destilerije iznosi 37.500 L viskija te se prema zadanom kapacitetu računa materijalna bilanca.

1. Ulazni materijal za 37.500 L gotovog proizvoda

U praksi je uobičajeno za dobivanje 1 L gotovog viskija sa udjelom alkohola od 40 % potrošnja otprilike 1,5 kg slada od ječma, 6 - 7 L vode i 50 do 100 g kvasca. Sukladno navedenim podacima godišnja potrošnja sirovina iznosi:

- Ječmeni slad: $1,5 \text{ kg slada} \times 37.500 \text{ L} = 56.250 \text{ kg slada}$ [4]
- Voda : $6 \text{ L vode} \times 37.500 \text{ L} = 225.000 \text{ L vode}$ [5]

- Kvasac: $0,1 \text{ kg kvasca} \times 37.500 \text{ L} = 3.750 \text{ kg kvasca}$ [6]

2. Gubitci kroz proces

Tijekom odležavanja viskija dolazi do isparavanja viskija iz bačvi (tzv. anđeoski dio) prilikom čega nastaje godišnji gubitak od oko 2 %. S obzirom da viski mora odležavati minimalno 3 godine ukupan gubitak iznosi:

$$37.500 \text{ L} \times 0,02 \text{ godišnje} \times 3 \text{ godine} = 2.250 \text{ L} \quad [7]$$

Što nakon 3 godine dozrijevanja iznosi:

$$37.500 \text{ L} - 2.250 \text{ L} = 35.250 \text{ L viskija} \quad [8]$$

3. Nusproizvodi

Tijekom pripreme sladovine uklanja se oko 85 % mase slada u obliku otpadnog ječma što na godišnjoj razini iznosi:

$$0,85 \times 56.250 \text{ kg slada} = 47.812,5 \text{ kg otpadnog ječma} \quad [9]$$

Tijekom procesa destilacije približno 90 % vode uklanja se u obliku otpadne vode što na godišnjoj razini iznosi:

$$0,9 \times 225.000 \text{ L vode} = 202.500 \text{ L otpadne vode} \quad [10]$$

Tijekom fermentacije, šećeri se iz sladovine pretvaraju u alkohol i ugljični dioksid gdje se oko 50 % mase fermentiranog šećera pretvori u ugljični dioksid. Uz pretpostavku da se iz 1,5 kg slada dobije 0,5 kg fermentabilnog šećera na godišnjoj razini to iznosi:

$$0,5 \text{ kg šećera} \times 37.500 \text{ L} = 18.750 \text{ kg šećera} \quad [11]$$

Što u obliku CO₂ iznosi:

$$0,5 \times 18.750 \text{ kg šećera} = 9.375 \text{ kg CO}_2 \quad [12]$$

Tijekom destilacije, prednja i posljednja frakcija destilacija se najčešće odbacuju ili ponovno destiliraju u sljedećem ciklusu te one čine neželjene frakcije. S obzirom da otprilike 10 – 15 % ukupnog volumena novog alkoholnog pića otpada na ove frakcije na godišnjoj razini to iznosi:

$$0,15 \times 37.500 L = 5.625 L \text{ neželjenih frakcija} \quad [13]$$

Navedene neželjene frakcije sakupljaju se u IBC spremnike kako bi se mogle sigurno zbrinuti po završetku procesa proizvodnje.

4.8. POPIS PROSTORIJA

Tablica 5 prikazuje popis prostorija sa odgovarajućim površinama istih te ukupnom površinom planiranog pogona. Prostorije su planirane na način da se proizvodni proces kreće u obliku slova L uz dovoljno prostora za manipulaciju opremom i nesmetano kretanje radnika.

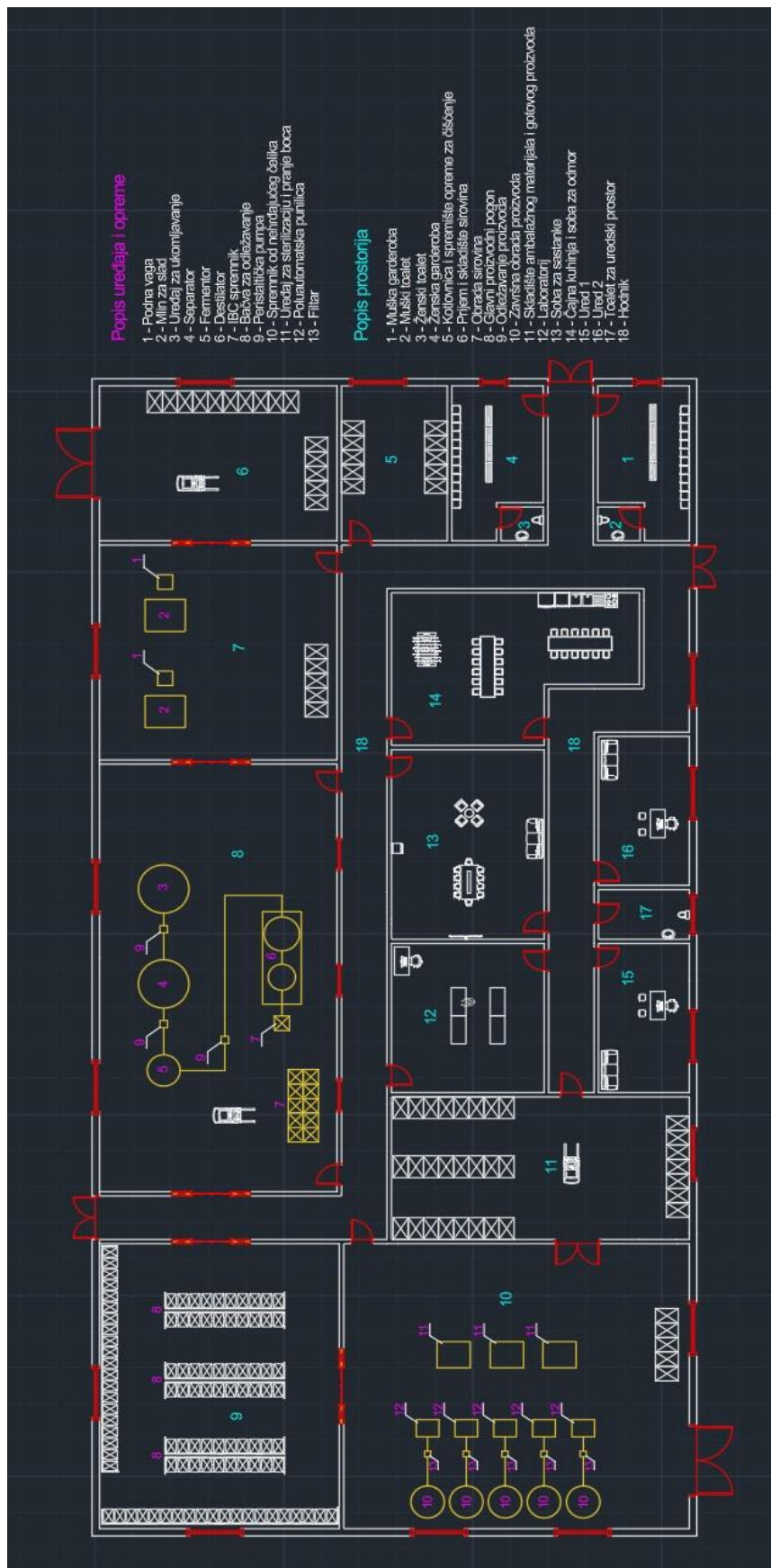
Tablica 5. Popis prostorija sa odgovarajućom površinom

Oznaka	Prostorija	Površina (m ²)
1	Muška garderoba	56,6
2	Muški toalet	6,5
3	Ženski toalet	6,5
4	Ženska garderoba	56,6
5	Kotlovnica i spremište opreme za čišćenje	74,9
6	Prijem i skladište sirovina	167,9
7	Obrada sirovina	233,2
8	Glavni proizvodni pogon	463,9
9	Odležavanje proizvoda	312,3
10	Završna obrada proizvoda	450,2
11	Skladište ambalažnog materijala i gotovog proizvoda	194,0
12	Laboratorij	104,0

13	Soba za sastanke	132,3
14	Čajna kuhinja i soba za odmor	146,4
15	Ured 1	61,8
16	Ured 2	61,8
17	Toalet za uredski prostor	20,5
18	Hodnik	408,4

4.9. TLOCRT DESTILERIJE

Slika 23 prikazuje tlocrt predviđenog pogona destilerije za proizvodnju single malt viskija. Tlocrt je izrađen u programu za tehnološko crtanje AutoCAD te prikazuje raspored svih prostorija navedenih u tablici 5 sa pripadajućim oznakama.



Slika 23. Tlocrt pogona destilerije (vlastita slika)

4.10. SITUACIJSKI PLAN

Slika 24. prikazuje planirani objekt u odnosu na katastarsku česticu u kojoj se nalazi. Katastarska čestica locirana je u Zagrebačkoj županiji, na području grada Jastrebarsko u gospodarskoj zoni Jalševac. Navedeni situacijski plan izrađen je u programu za tehnološko crtanje AutoCAD.



Slika 24. Situacijski plan planiranog pogona destilerije (vlastita slika)

5. ZAKLJUČAK

Ovaj elaborat tehničko – tehnološkog rješenja predlaže izradu pogona destilerije za proizvodnju single malt viskija, te s obzirom na eksperimentalne podatke i sukladno provedenoj raspravi, moguće je doći do sljedećih zaključaka:

1. Odabrana makrolokacija predviđenog pogona je Zagrebačka županija, specifično grad Jastrebarsko zbog svoje izvrsne prometne povezanosti i jake poljoprivrede, čime se olakšava dobava sirovina i otprema gotovog proizvoda.
2. Pogon je mikrolokacijski predviđen u gospodarskoj zoni Jalševac kao jednoj od najvećih gospodarskih zona u Republici Hrvatskoj, na parceli 3303/2 ukupne površine 6566 m².
3. Pogon je projektiran u skladu sa zakonskom regulativom Republike Hrvatske i Europske Unije te ima površinu od 3200 m² što uključuje proizvodni i neproizvodni dio koji su jasno odijeljeni.
4. Proizvodni dio pogona predstavljaju prostor za prijem sirovina, prostor za primarnu obradu sirovina, glavni proizvodni prostor, prostor za odležavanje proizvoda u bačvama i prostor za završnu obradu proizvoda sa pomoćnim prostorijama poput skladišta ambalažnog materijala i laboratorija.
5. Neproizvodni dio pogona predstavljaju muški garderobni prostor i ženski garderobni prostor sa pripadajućim toaletima, kotlovnica, čajna kuhinja, dva uredska prostora te ured za sastanke.
6. Planirani godišnji kapacitet destilerije iznosi 37.500 L viskija za što je potrebno utrošak od 56,25 t ječma, 225.000 L vode i 3,75 t kvasaca. Energetska potrošnja destilerije prema elaboratu predviđena je na 71,75 kW električne energije.
7. Prerada podrazumijeva mljevenje i ukomljavaње slada, separaciju slada od sladovine, fermentaciju i destilaciju u predviđenim uređajima, te zatim skladištenje viskija u hrastovim bačvama volumena 225 L najmanje 3 godine, nakon šega slijedi punjenje u boce uz filtraciju.
8. Radna snaga planirana je s obzirom na njihov stupanj obrazovanja i potrebe radnih mjesta za te je predviđeno zapošljavanje 19 stalnih zaposlenika za nesmetan rad destilerije.

6. LITERATURA

Ashmore PL, DuBois A, Tomasino E, Harbertson JF, Collins TS (2023) Impact of Dilution on Whisky Aroma: A Sensory and Volatile Composition Analysis. *Foods* **12**(1276), <https://doi.org/10.3390/foods12061276>

Baik BK, Ullrich SE (2008) Barley for food: Characteristics, improvement, and renewed interest. *Journal of Cereal Science* **48**(2), 233-242. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2008.02.002>

Balbino S (2016) Tehnološko projektiranje (skripta predavanja), Prehrambeno biotehnološki fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.

Beal AD, Mottram DS (1994) Compounds contributing to the characteristic aroma of malted barley. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **42**(12), 2880-2884, <https://doi.org/10.1021/jf00048a043>

Broderick H (1977) *El Cerveceros en la Practica: Un Manual para la Industria Cervecera*, 2. izd., Assn. de Maestros Cerveceros de las Americas, Wisconsin

Charcosset C (2006) Membrane processes in biotechnology: An overview. *Biotechnology Advances* **24**(5), 482-492, <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2006.03.002>

Crescenzi AM (1987) Factors governing the milling of malt. *Journal of the Institute of Brewing* **93**(3), 193-201, <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.1987.tb04498.x>

FAOSTAT (2024) Crops and livestock products, <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
Pristupljeno 22. kolovoza 2024.

Górak A, Sorensen E (2014) *Distillation: Fundamentals and Principles*, Elsevier Inc., Oxford

Grad Jastrebarsko (2021) Izgradnja zajedničke osnovne i zelene infrastrukture u gospodarskoj zoni Jalšovec u gradu Jastrebarskom, https://www.jastrebarsko.hr/dokumenti/1_gz_jalsevac_info.pdf. Pristupljeno 7. rujna 2024.

Greenlee LF, Lawler DF, Freeman BD, Marrot B, Moulin P (2009) Reverse osmosis desalination: Water sources, technology, and today's challenges. *Water Research* **43**(9), 2317-2348, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.03.010>

Gupta M, Abu-Ghannam N, Gallagher E (2010) Barley for Brewing: Characteristic Changes during Malting, Brewing and Applications of its By-Products. *Compr Rev Food Sci Food Saf.* **9**(3), 318-328, <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2010.00112.x>

Hui YH, Castell-Perez E, Cunha LM, Guerrero-Legarreta J, Liang HH, Lo YM i sur. (2006) Handbook of Food Science, Technology, and Engineering, Opseg 4, Taylor & Francis Group, Boca Raton

Hui YH, Chandan RC, Clark S, Cross N, Dobbs J, Hurst WJ i sur. (2007) Handbook of Food Products Manufacturing, John Wiley & Sons, Hoboken

Jack FR (2012) 19 - Whiskies: composition, sensory properties and sensory analysis. Alcoholic Beverages: Sensory Evaluation and Consumer Research, 379-392, <https://doi.org/10.1533/9780857095176.3.379>

Jacques KA, Lyons TP, Kelsall DR (2003) The Alcohol Textbook, 4. izd., Nottingham University Press, Nottingham

Jadhav SJ, Lutz SE, Ghorpade VM, Salunkhe DK (1998) Barley: Chemistry and Value-Added Processing. Critical Reviews in Food Science and Nutrition **38**(2), 123-171. <https://doi.org/10.1080/10408699891274183>

Jones BL (2005) Endoproteases of barley and malt. Journal of Cereal Science **42**(2), 139-156, <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2005.03.007>

Kiefer J, Cromwell AL (2017) Analysis of single malt Scotch whisky using Raman spectroscopy. Analytical Methods **3**, <https://doi.org/10.1039/C6AY02907H>

López-Gómez A, Barbosa-Cánovas GV (2005) Food Plant Design, Taylor & Francis Group, Boca Raton

MacGregor AW, Macrae R, Robinson RK, Sadler MJ (1993) Barley, in Encyclopaedia of Food Science, Food Technology, and Nutrition. Academic Press, New York, 1993, 308

Montanari L, Floridi S, Marconi O, Tironzelli M, Fantozzi P (2005) Effect of mashing procedures on brewing. European Food Research and Technology **221**, 175-179, <https://doi.org/10.1007/s00217-005-1166-8>

Ogushi K, Lim P, Barr AR, Takahashi S, Asakura T, Ito K. (2002) Japanese barley meets Australia: quality performance of malting barley grown in different countries. Journal of the Institute of Brewing **108**(3), 303-309, <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2002.tb00555.x>

Peterson GA, Foster AE (1974) Malting Barley in the United States. Advances in Agronomy **25**, 327-378, [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60784-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60784-1)

Pierson MD, Corlett Jr. DA (1992) HACCP: Principles and Applications, Chapman & Hall, New York

Piggott JR (2017) 15 – Whisky. Current Development sin Biotechnology and Bioengineering, 435-450, <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63666-9.00015-7>

Piggott JR, Conner JM (2003) Whiskies. Fermented Beverage Production, https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0187-9_11

Piggott JR, Conner JM, Paterson A (1995) Flavour development in whisky maturation. Developments in Food Science **37**, 1731-1751, [https://doi.org/10.1016/S0167-4501\(06\)80261-X](https://doi.org/10.1016/S0167-4501(06)80261-X)

Piggott JR, Sharp R, Duncan EB (1989) The science and technology of whiskies, Longman Scientific & Technical, Harlow

Poretti M (1990) Quality control of water as raw material in the food industry. *Food Control* **1**(2), 79-83, [https://doi.org/10.1016/0956-7135\(90\)90089-U](https://doi.org/10.1016/0956-7135(90)90089-U)

Pravilnik (2008) Pravilnik o vođenju Upisnika registriranih i odobrenih objekata te o postupcima registriranja i odobravanja objekata u poslovanju s hranom. Narodne novine 125, Zagreb. https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2008_10_125_3580.html Pristupljeno 22. studenog 2024.

Pravilnik (2015) Pravilnik o pravilima uspostave sustava i postupaka temeljenih na načelima HACCP sustava. Narodne novine 68, Zagreb. https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2015_06_68_1307.html Pristupljeno 22. studenog 2024.

Pravilnik (2019) Pravilnik o registraciji i odobravanju objekata te o registraciji subjekata u poslovanju s hranom. Narodne novine 123, Zagreb. https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019_12_123_2434.html Pristupljeno 22. studenog 2024.

Rickards T (2003) Brainstorming Revisited: A Question of Context. *International Journal of Management Reviews*, **1**(1) <https://doi.org/10.1111/1468-2370.00006>

Russel I, Stewart G (2014) Whisky: Technology, Production and Marketing, Elsevier Ltd., Oxford

Sammartino M (2015) Enzymes in Brewing. *MBAA TQ* **52**(3), 156-164, <https://doi.org/10.1094/tq-52-3-0818-01>

Schneider T (2008) Scotch Single Malt Whisky. Zur Chemie einer besonderen Spirituose. *Chemie in unserer Zeit* **42**(4), 264-269, <https://doi.org/10.1002/ciuz.200800451>

Scott Labs Ltd. (2024) Enzymes: Essential process aids. <https://scottlabsltd.com/content/files/documents/sll/craft%20distilling%20resources/enzymes%20article.pdf> Pristupljeno 24. kolovoza 2024.

Swanston J, Ellis R, Stark JR (1995) Effects on Grain and Malting Quality of Genes Altering Barley Starch Composition. *Journal of Cereal Science* **22**, 265-273, <https://doi.org/10.1006/JCRS.1995.0063>

Šef F, Olujić Ž (1988) Projektiranje procesnih postrojenja, SKTH, KUI, Zagreb

UREDBA (EU) br. 787/2019 Europskog parlamenta i Vijeća od 17. travnja 2019. o definiranju, opisivanju, prezentiranju i označivanju jakih alkoholnih pića, upotrebi naziva jakih alkoholnih pića u prezentiranju i označivanju drugih prehrambenih proizvoda, zaštiti oznaka zemljopisnog podrijetla za jaka alkoholna pića, upotrebi etilnog alkohola i destilata poljoprivrednog podrijetla u alkoholnim pićima te stavljanju izvan snage Uredbe (EZ) br. 110/2008. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/hr/TXT/?uri=CELEX%3A32019R0787> Pristupljeno 21. studenog 2024.

UREDBA (EZ) br. 852/2004 Europskog parlamenta i Vijeća od 29. travnja 2004. o higijeni hrane. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/?uri=CELEX%3A32004R0852> Pristupljeno 21. studenog 2024.

UREDBA (EZ) br. 853/2004 Europskog parlamenta i Vijeća od 29. travnja 2004. o utvrđivanju određenih higijenskih pravila za hranu životinjskog podrijetla. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/?uri=celex%3A32004R0853> Pristupljeno 21. studenog 2024.

Walker G, Brosnan J, Bringhurst T, Jack FR (2011) Selecting new distilling yeasts for improved fermentation and for sustainability. *The Worldwide Distilled Spirits Conference*, <http://dx.doi.org/10.13140/2.1.3628.6084>

Walker GM, Hill AE (2016) *Saccharomyces cerevisiae* in the Production of Whisk(e)y. *Beverages* **2**(38), <https://doi.org/10.3390/beverages2040038>

Walker GM, Stewart GG (2016) *Saccharomyces cerevisiae* in the Production of Fermented Beverages. *Beverages* **2**(30), <https://doi.org/10.3390/beverages2040030>

Zakon (2019) Zakon o gradnji. *Narodne novine* 153, Zagreb. https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019_04_39_802.html Pristupljeno 21. kolovoza 2024.

Zakon (2022) Zakon o higijeni hrane i mikrobiološkim kriterijima za hranu. *Narodne novine* 83, Zagreb. https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2022_07_83_1248.html Pristupljeno 23. kolovoza 2024.

Zakon (2023) Zakon o hrani. *Narodne novine* 18, Zagreb. https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2023_02_18_302.html Pristupljeno 23. kolovoza 2024.

Zakon (2023) Zakon o vodi za ljudsku potrošnju. Narodne novine 30, Zagreb. https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2023_03_30_509.html Pristupljeno 23. kolovoza 2024.

Zamora F (2009) Biochemistry of Alcoholic Fermentation. Wine Chemistry and Biochemistry, 3-26, https://doi.org/10.1007/978-0-387-74118-5_1

Ovu napomenu izbrisati prije predaje-Zadnja (ne numerirana) stranica diplomskog rada (u trenutku predaje diplomskog rada Odboru, u ovoj Izjavi elektronski treba upisati ime i prezime, a prije obrane vlastoručno se potpisuju svi isprintani i ukoričeni primjerci diplomskog rada. Nakon obrane Izjava se u pdf formatu dodaje **kao skenirana potpisana stranica)**

IZJAVA O IZVORNOSTI

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

Vlastoručni potpis