

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

**David Klepo**

Zagreb, 2022.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

Mentori:

Doc. dr. sc. Tomislav Stipančić, dipl. ing.

Student:

David Klepo

Zagreb, 2022.

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

Zahvaljujem se mentoru doc.dr.sc. Tomislavu Stipančiću na mnogim korisnim savjetima i pruženoj pomoći prilikom pisanja rada.

Zahvaljujem se svojoj obitelji i prijateljima na potpori i inspiraciji tijekom cijelog obrazovanja.

David Klepo



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



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

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum:	Prilog:
Klasa:	602-04/22-6/1
Ur. broj:	15-1703-22-

### DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **DAVID KLEPO** Mat. br.: 0035209000

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Automatizirana sortirnica za lješnjake**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Automated hazelnut sorting facility**

Opis zadatka:

Proces ručne obrade i sortiranja lješnjaka zamoran je i ponavljajući posao zbog velike količine te malih dimenzija lješnjaka. Osim toga, količina prašine koja nastaje tijekom procesa je značajna. Zbog tih razloga razvoj automatiziranih sustava za preradu i sortiranje lješnjaka je poželjan.

U radu je potrebno razraditi ideju linije za automatizirano drobljenje i sortiranje lješnjaka uključujući sljedeće:


- predvidjeti te opisati probleme koji se mogu pojaviti kod razvoja i realizacije linije za automatizirano drobljenje i sortiranje lješnjaka,
- koncipirati više varijanti rješenja, usporediti ih te vrednovanjem odabrati najpovoljnije,
- izraditi projektnu dokumentaciju odabranog rješenja koristeći CAD programsku podršku,
- osmisliti sustav za optički nadzor te fino odvajanje zaostalih nečistoća od jezgri lješnjaka,
- izraditi statističku analizu uroda.

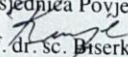
U radu je potrebno navesti korištenu literaturu te eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:  
11. studenog 2021.

Rok predaje rada:  
13. siječnja 2022.

Predvideni datum obrane:  
17. siječnja do 21. siječnja 2022.

Zadatak zadao:   
doc. dr. sc. Tomislav Stipančić

Predsjednica Povjerenstva:  
  
prof. dr. sc. Biserka Runje

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	III
POPIS TABLICA.....	VI
POPIS OZNAKA .....	VII
SAŽETAK.....	VIII
SUMMARY .....	IX
1. UVOD.....	1
2. LJEŠNJAK .....	2
2.1. Plod .....	3
2.2. Istarski duguljasti .....	5
2.3. Rimski .....	6
2.4. Proces pripreme lješnjaka za preradu.....	7
2.5. Upotreba lješnjaka.....	9
3. PROBLEMATIKA VEZANA UZ RAZVOJ SUSTAVA SORTIRANJA LJEŠNJAKA 11	
4. KONCEPTUALNA RJEŠENJA AUTOMATSKE SORTIRNICE .....	19
4.1. Prijedlog rješenja automatske sortirnice .....	20
4.2. Skladišni box.....	22
4.3. Transporteri .....	23
4.3.1. Klizne staze .....	23
4.3.2. Pužni transporter .....	24
4.3.3. Trakasti transporter .....	25
4.3.4. Ocjenjivanje transportera .....	26
4.4. Kalibrator .....	28
4.4.1. Bubanj s povećavajućim promjerima rupa.....	28
4.4.2. Kalibrator s valjcima .....	29
4.4.3. Ocjenjivanje kalibratora.....	30
4.5. Drobilica.....	31
4.5.1. Centrifugalna drobilica .....	32
4.5.2. Drobilica s valjkom/valjcima .....	33
4.5.2.1. Drobilica s jednim valjkom.....	33
4.5.2.2. Drobilica s dva valjka .....	35
4.5.3. Ocjenjivanje drobilica .....	36
4.6. Sustav grubog odvajanja ljuski .....	37
4.6.1. Grubo odvajanje zrakom.....	37
4.6.2. Grubo odvajanje bubnjem s rupama .....	39
4.6.3. Grubo odvajanje vibracijskim stolom.....	39

---

4.6.4. Ocjenjivanje varijanti grubog odvajanja ljuski .....	40
4.7. Sustav finog odvajanja ljuski .....	42
4.8. Koncept automatske sortirnice .....	43
5. SUSTAV OPTIČKOG NADZORA KVALITETE ČIŠĆENJA .....	45
5.1. Računalni vid .....	45
5.1.1. Pronalazak rubova na slici .....	46
5.1.2. Histogrami.....	48
5.2. Izrada baze podataka .....	48
5.3. Strojno učenje .....	51
5.3.1. k-NN model učenja .....	51
5.3.2. Konvolucijska neuronska mreža .....	55
5.4. Vizijska aplikacija.....	60
6. ANALIZA URODA LJEŠNJAKA I KVALITETE SORTIRANJA.....	62
7. ZAKLJUČAK.....	65
LITERATURA.....	66
PRILOZI.....	68

## POPIS SLIKA

Slika 1 Prikaz presjeka ploda lješnjaka .....	3
Slika 2 Prikaz plodova u grozdu a) Rimski lješnjak (kraći ovoj od ploda) b) Istarski duguljasti lješnjak (duži ovoj od ploda) c) Halski div (ovoj podjednako dug kao i plod).....	4
Slika 3 Prikaz lješnjaka u ljusci a) Istarski duguljasti lješnjak b) Rimski lješnjak c) Halski div (Merweille de Bollwiller) .....	4
Slika 4 Prikaz Istarskog duguljastog lješnjaka a) u ljusci b) očišćen od ljuske c) pržen i očišćen od kožice.....	5
Slika 5 Prikaz Rimskog lješnjaka a) u ljusci b) očišćen od ljuske c) pržen i očišćen od kožice .....	6
Slika 6 Prikaz različitih modela strojeva za kupljenje lješnjaka proizvođača Facma .....	7
Slika 7 Komušać lješnjaka .....	8
Slika 8 Sušara lješnjaka proizvođača Facma .....	8
Slika 9 Dijagram toka pripreme lješnjaka za preradu .....	9
Slika 10 Neki proizvodi tvrtke Ferrero koji sadrže lješnjake .....	10
Slika 11 Pojednostavljeni prikaz cilja sortirnice .....	11
Slika 12 Ljuska lješnjaka a) Istarski duguljasti b) Rimski .....	12
Slika 13 Lješnjaci nakon grubog odvajanja ljuske .....	13
Slika 14 Strojno pokupljeni Rimski lješnjaci .....	14
Slika 15 Strojno pokupljeni Istarski duguljasti lješnjaci .....	15
Slika 16 Komadići zaostali nakon sortiranja.....	15
Slika 17 Zaostali komadići ljuske priljepljeni na jezgri .....	16
Slika 18 Nepuknuti lješnjaci .....	17
Slika 19 Polovice jezgri.....	18
Slika 20 Linija za sortiranje lješnjaka .....	19
Slika 21 Dijagram toka čišćenja lješnjaka.....	20
Slika 22 Pojednostavljeni tlocrt automatske sortirnice S – skladište, T <sub>1</sub> , T <sub>2</sub> – transporteri, K – kalibrator, D – drobilica, G – sortirnica za grubo odvajanje ljuski, F – sortirnica za fino odvajanje ljuski.....	21
Slika 23 Odvajač zemlje i nečistoća od lješnjaka, proizvođača Facma .....	22
Slika 24 Skladišni box a) pojednostavljeni prikaz b)uzorak limenih ploča .....	22

Slika 25 Prikaz kose klizne staze .....	24
Slika 26 Prikaz dijelova pužnog transportera.....	24
Slika 27 Trakasti transporter .....	25
Slika 28 Trakasti transporter s gumenim profilom .....	26
Slika 29 CAD model pužnog transportera .....	27
Slika 30 CAD model trakastog transportera .....	27
Slika 31 Četka na trakastom transporteru .....	28
Slika 32 Kalibrator s bubnjem s povećavajućim promjerima rupa a) cijeli stroj b) bubanj ...	29
Slika 33 Kalibrator s valjcima (lijevo), smjer vrtnje para valjaka kalibratora .....	29
Slika 34 CAD model kalibratora.....	30
Slika 35 Odnos sile pritiska i deformacija lješnjaka .....	31
Slika 36 Prikaz potrebne sile za pucanje ovisno o debljini ljuske .....	32
Slika 37 Centrifugalna drobilica .....	33
Slika 38 Prikaz drobilice s jednim valjkom .....	34
Slika 39 Oblik valjka drobilice s jednim valjkom.....	34
Slika 40 Prikaz površine valjaka .....	35
Slika 41 Smjer vrtnje valjaka .....	35
Slika 42 a) odabrana drobilica s 2 valjka b) oblik valjaka .....	36
Slika 43 Presjek valjaka drobilice .....	37
Slika 44 Shematski prikaz zračnog sustava grubog odvajanja ljuske .....	38
Slika 45 Mrežica.....	38
Slika 46 Grubo odvajanje ljuske bubnjem s rupama .....	39
Slika 47 Vibracijski stol za grubo odvajanje ljuski .....	40
Slika 48 CAD model zračne sortirnice.....	41
Slika 49 a) Vibracijski stol za grubo odvajanje ljuski b) elektromotor s ekscentrom.....	42
Slika 50 Shematski prikaz finog odvajanja ljuske vizijskim sustavom .....	43
Slika 51 CAD model automatske sortirnice lješnjaka a – skladišni box, b – pužni transporter, c – kalibrator, d – drobilica, e – zračna sortirnica f – vibracijski stol, g – trakasti transporter, h – kućište vizijskog sustava .....	44
Slika 52 Prostor sivih tonova .....	45
Slika 53 RGB prostor boja .....	45
Slika 54 Histogram s prikazom R, G i B kanala .....	48
Slika 55 Grupna slika lješnjaka.....	49
Slika 56 Pronađeni lješnjaci na grupnoj slici .....	50



Slika 57 Istarski lješnjaci razvrstani u mapi.....	50
Slika 58 Primjer k-NN klasifikatora .....	52
Slika 59 Točnost k-NN korištenjem 3 klase razvrstavanja .....	52
Slika 60 Točnost k-NN korištenjem 2 klase razvrstavanja .....	53
Slika 61 Prikaz histograma Istarski lješnjak (lijevo), Rimski lješnjak (sredina), ljuska (desno) .....	53
Slika 62 Prepoznavanje unutar aplikacije k-NN modelom sa slikom kao ulazom .....	54
Slika 63 Prepoznavanje unutar aplikacije k-NN modelom sa histogramom kao ulazom .....	55
Slika 64 Shematski prikaz konvolucijske neuronske mreže .....	56
Slika 65 Prikaz konvolucijskog sloja .....	56
Slika 66 Prikaz max pooling sloja .....	57
Slika 67 Prikaz točnosti konvolucijske mreže s manje slojeva .....	58
Slika 68 Prikaz točnosti mreže s više slojeva.....	58
Slika 69 Prepoznavanje unutar aplikacije CNN modelom.....	59
Slika 70 Prepoznavanje unutar aplikacije CNN modelom – primjer 2 .....	60
Slika 71 Prikaz sklopa kućišta, kamere i osvjetljenja .....	60
Slika 72 Lijevo – položaj osvjetljenja, desno – mlaznice za ispuhivanje .....	61
Slika 73 Prikaz funkcije gubitaka i točnosti konvolucijske neuronske mreže s manje slojeva	68
Slika 74 Arhitektura konvolucijske mreže s manje slojeva .....	68
Slika 75 Prikaz funkcije gubitaka i točnosti konvolucijske mreže s više slojeva .....	69
Slika 76 Arhitektura konvolucijske mreže s više slojeva.....	69
Slika 77 CNN primjer 1 .....	70
Slika 78 CNN primjer 2 .....	70
Slika 79 k-NN model – primjer 1 .....	71
Slika 80 k-NN model - primjer 2 .....	71
Slika 81 k-NN model - primjer 3 .....	72

## POPIS TABLICA

Tablica 1 Najveći svjetski proizvođači lješnjaka bez ljuske u tonama .....	2
Tablica 2 Površine nasada u Hrvatskoj u hektarima .....	3
Tablica 3 Ocjenjivanje transportera za transport lješnjaka iz skladišta do kalibratora .....	26
Tablica 4 Ocjenjivanje kalibratora .....	30
Tablica 5 Ocjenjivanje drobilica .....	36
Tablica 6 Ocjenjivanje sustava za grubo odvajanje ljuski .....	40
Tablica 7 Prikaz koraka <i>Canny edge detection</i> algoritma .....	47
Tablica 8 Mase lješnjaka analiziranog dijela uroda, [kg].....	62
Tablica 9 Mase jezgri lješnjaka dobivenih iz analiziranog dijela uroda, [kg].....	63
Tablica 10 Masa odvojene ljuske grubim sortiranjem, [kg].....	63

**POPIS OZNAKA**

<b>Oznaka</b>	<b>Jedinica</b>	<b>Opis</b>
$a$	m	duljina skladišnog boxa
$a_z$	mm	razmak između žica mrežice
$b$	m	širina skladišnog boxa
$b_{lj}$	mm	debljina ljuske lješnjaka
$b_v$	mm	širina rupa vibrostola
$d_r$	mm	promjer rupa kalibratora
$d_v$	mm	promjer valjaka drobilice
$F_p$	N	sila potrebna za pucanje ljuske lješnjaka
$h$	m	visina skladišnog boxa
$r_{vd}$	mm	razmak valjaka drobilice
$r_{vk}$	mm	razmak valjaka kalibratora

## SAŽETAK

Povećanjem potražnje prehrambenih proizvoda i njihove raznolikosti, javlja se potreba za automatizacijom procesa prerade takvih proizvoda. Tržište nudi rješenja takvih strojeva, ali uglavnom za veće proizvođače koje se manjim proizvođačima, kakvi su gotovo svi u Hrvatskoj, ne isplati. Proizvodnja lješnjaka se u Hrvatskoj povećava radi podneblja koje odgovara biljci te se potražnja strojeva za sortiranje jezgri od ljuske povećava. U sklopu rada izrađen je koncept automatske sortirnice manjih dimenzija, cijenom prihvatljivijom manjim proizvođačima. Opisane su korištene metode odvajanja i rješenja svake zadaće su detaljno opisana i prikazana CAD modelom. Sustavima za grubo odvajanje ljuski uklanja većinu ljuske od jezgre lješnjaka, a u sklopu rada je dan koncept sustava finog odvajanja ljuske kojim se dodatno smanjuje opseg ljudskog posla odvajanjem preostalih ljuski. Grubo odvajanje ljuske testirano je na odabranim rješenjima te su dani rezultati takvih strojeva. Optički nadzor analiziran je kao sustav finog odvajanja.

Ključne riječi: automatizacija, lješnjak, računalni vid, sortiranje

## **SUMMARY**

By increasing the demand for food products and their diversity, there is a need to automate the process of processing such products. The market offers solutions for such machines, but mainly for larger manufacturers that are not worthwhile for smaller manufacturers, such as almost everyone in Croatia. Hazelnut production in Croatia is increasing due to the climate that suits the plant, and the demand for shell sorting machines is increasing. As a part of the work, the concept of an automated sorting machine of smaller dimensions was developed, at a price more acceptable to smaller producers. The separation methods used are described and the solutions of each task are described in detail and presented by a CAD model. Coarse shell separation systems remove most of the shell from the hazelnut kernel and the paper presents the concept of a fine shell separation system which further reduces the scope of human work. Rough shell separation was tested on selected solutions and the results of such machines were given and optical inspection is analyzed as fine separation system.

Key words: automation, hazelnut, computer vision, sorting

## 1. UVOD

Prehrambena industrija jedna je od najvećih i najvažnijih industrija u svijetu, a porastom svjetske populacije zahtjevi za bržom proizvodnjom i preradom stalno se javljaju. S ciljem smanjenja cijene hrane, ali i repliciranja proizvoda koristeći minimalno sastojaka, javlja se potreba automatizacije proizvodnje hrane.

Automatizaciju prehrambene industrije izazovnije je provesti nego automatizaciju linija automobilske i farmaceutske industrije budući da je gotovo svaki proizvod prehrambene industrije drugačiji (razlikuju se po obliku, kvaliteti, teksturi, veličini, sadržaju alergena...). Također je potrebno ostvariti visoke standarde sanitacije strojeva i objekta u kojem se sirovine nalaze kako ne bi došlo do širenja neželjenih bolesti (zaraza, trovanja) te ako neka sirovina sadrži alergene, stroj je potrebno očistiti kako se ne bi prenijeli na sljedeću namirnicu koja će se prerađivati na tome stroju. Redovite sanitacije zahtijevaju jednostavne konstrukcije strojeva te njihovo lako rastavljanje i sastavljanje radi redovitog čišćenja koje može biti i nekoliko puta u jednoj smjeni [1].

Prema [2] površine nasada lijeske u Republici Hrvatskoj porasle su za gotovo 50% u razdoblju od 2010. do 2016. godine, te se potreba za strojevima čišćenja lješnjaka (plodovi stabla lijeske), radi povećanja profitabilnosti uzgoja ove kulture, povećava.

Kako su u Hrvatskoj većinom manji proizvođači (do nekoliko ha nasada), zadatak ovog rada je napraviti koncept automatske linije za lakše i učinkovitije sortiranje lješnjaka, odnosno odvajanja ploda od ljuske. Automatska sortirnica bit će osmišljena tako da zadovolji potrebe manjih proizvođača, odnosno da bude manjih dimenzija i protoka kako bi se smanjila ukupna cijena, kako bi manjim proizvođačima bila isplativa te uštedjela mukotrpan posao. U radu su nabrojani problemi na koje se mora obratiti pozornost prilikom realiziranja ovakvih sustava, dan je prijedlog više rješenja te je odabrano najpovoljnije sustavom bodovanja, izrađena je aplikacija optičkog nadzora za „fino“ odvajanje zaostale ljuske od jezgre lješnjaka te je dana analiza uroda i modula automatske linije s ključnom ulogom čišćenja.

## 2. LJEŠNJAK

Lijeska je veoma stara voćka, pronađeni ostaci peludi ukazuju da je lijeska postojala 8000 godina prije nove ere. Lješnjaci su među prvim plodovima koje su ljudi koristili za prehranu iz slobodne prirode. Smatra se da se lijeska počela uzgajati prije otprilike 2000 godina i to nakon što je donesena iz Male Azije u Grčku, a zatim i na područje današnje Italije. Nakon toga rimski legionari prenijeli su lijesku po cijeloj europskoj [2][3].

Najveći svjetski proizvođač lješnjaka je Turska koja proizvodi od 60 do 70% svjetske proizvodnje. Nakon Turske najveći proizvođači su Italija, Gruzija, Azerbajdžan, SAD, Španjolska...[2]

Tablica 1 prikazuje proizvedene količine jezgre lješnjaka najvećih proizvođača u svijetu.

**Tablica 1 Najveći svjetski proizvođači lješnjaka bez ljuske u tonama [2]**

Država	2015./2016.	2016./2017.
Turska	355000	301000
Italija	56250	58500
Gruzija	25000	20000
Azerbajdžan	20000	17500
SAD	11140	12800
Španjolska	10560	10080
Ostali	19200	19200

U Hrvatskoj se lijeska uglavnom uzgajala u Istri i to autohtone sorte za to područje, Istarski duguljasti i Istarski okruglasti. Nakon što je kraj Orahovice zasađen nasad 1980.-ih, uzgoj lijeske se proširio po čitavom kontinentalnom dijelu Hrvatske i to uglavnom 3 sorte: Istarski duguljasti, Rimski i Halski div (Merveille de Bollwiller). Sadnjom lješnjaka u kontinentalnom dijelu dovelo je do povećanja površine pod lijeskom za gotovo 50% u samo nekoliko godina.

Tablica 2 prikazuje trend rasta zasađene površine lijeske u Republici Hrvatskoj od 2010. do 2016. godine.

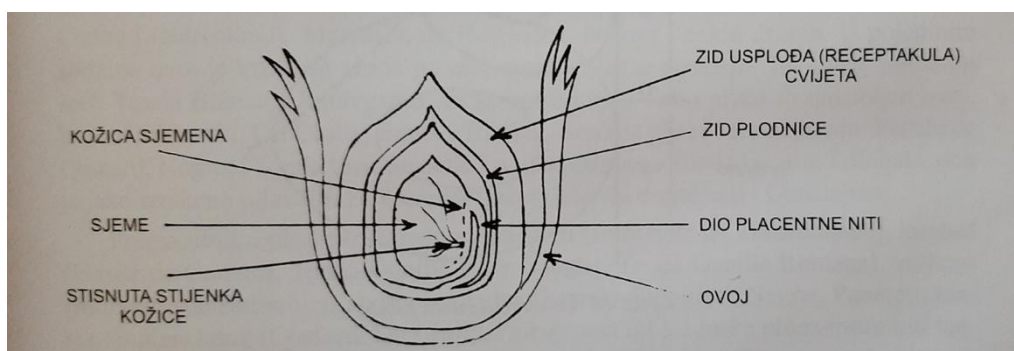
**Tablica 2 Površine nasada u Hrvatskoj u hektarima [2]**

Godina	2010.	2011.	2012.	2013.	2014.	2015.	2016.
Površina	2389	2400	2776	2649	2888	3015	3304

## 2.1. Plod

Plod lijeske sastoji se od ovoja (koji se komuša), ljuske te jezgre (sjemenke) unutar ljuske.

Slika 1 prikazuje shematski presjek ploda lješnjaka, najbitniji dijelovi za izradu ovog rada su ljuska, ovoj, jezgra te kožica sjemena. Ovoj se uklanja s lješnjaka već prilikom sakupljanja ili komušanja, ljuska prilikom drobljenja, a kožica se može ukloniti prženjem ili blanširanjem.



**Slika 1 Prikaz presjeka ploda lješnjaka [2]**

Pojedine sorte imaju različitosti u razvijenosti ovoja koji može biti dulji od ploda u ljusci, kao što je to istarski duguljasti, može biti iste dužine kao plod u ljusci, kao što je Halski div te može biti kraći od ploda kao što je Rimski lješnjak.

Duljina ovoja igra ulogu prilikom sakupljanja lješnjaka, ukoliko je ovoj duži od ploda, tada se lješnjaci moraju posebno komušati jer ne ispadaju sami iz ovoja. Ukoliko je ovoj jednako dug kao plod tada dio ploda ispadne, a dio ploda ostaje unutar ovoja. Kraći ovoj od ploda znači da će lješnjak ispadati iz ovoja te lješnjaci ne moraju biti posebno komušani.

Slika 2 prikazuje plod lješnjaka u grozdu te se vidi razlika u duljini ovoja što ima veliku važnost prilikom ručnog kupljenja, budući da tada plodovi ne moraju biti dodatno komušani ukoliko imaju kraći ovoj.



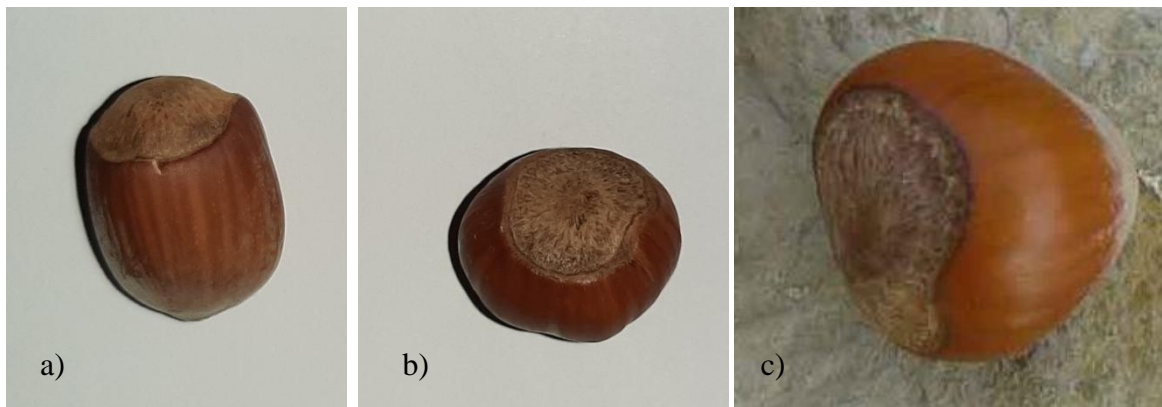


**Slika 2 Prikaz plodova u grozdu**

**a) Rimski lješnjak (kraći ovoj od ploda) b) Istarski duguljasti lješnjak (duži ovoj od ploda) c) Halski div (ovoj podjednako dug kao i plod)**

Lješnjaci se razlikuju i prema obliku ploda te može biti okruglast (Rimski), ovalan (Istarski duguljasti) i valjkast (Halski div). Postoje i ostali oblici kao npr. spljošteni, kratki, dugi, no nisu bitni za daljnju izradu ovog rada.

Slika 3 prikazuje lješnjake u ljusci te se jasno vidi razlika u obliku ploda. Istarski duguljasti kako i ime kaže ima jednu dimenziju izraženiju od drugih te je duguljastog ovalnog oblika, Rimski lješnjak je okruglast dok je Halski div valjkast.



**Slika 3 Prikaz lješnjaka u ljusci**

**a) Istarski duguljasti lješnjak b) Rimski lješnjak c) Halski div (Merweille de Bollwiller)**

Prilikom izrade vizijske aplikacije za inspekciju lješnjaka, korištene su samo sorte Istarski duguljasti i Rimski te su opisani nešto opširnije.

## 2.2. Istarski duguljasti

Istarski duguljasti lješnjak je stara hrvatska sorta iz okolice grada Pazina. Istraživanjima je utvrđeno da ova sorta redovito i dobro rodi, a često je i rodnije od ostalih sorti, stoga ni ne čudi da je jedna od glavnih sorti na području Hrvatske. Prilikom uzgoja ovoj sorti je potrebno osigurati oprašivače, a to su Rimski i Halski div. Istarski lješnjak je dobar oprašivač sorti Rimskog lješnjaka te su te dvije sorte najčešće posađene zajedno na plantažama. Ovoj je dulji od ploda i spojen pri vrhu stoga se javlja problem mehanizacije berbe (stroj za kupljenje ne uspije iskumušati sav plod što predstavlja problem daljnjoj obradi) zato što plod ne ispada iz ovoja. Plod ove sorte je velik i ovalno duguljast, prosječne duljine 26,2 mm, širine 20,1 mm i debljine 17,6 mm. Ljuska je dosta debela i svijetlosmeđe boje s tamnim, gustim i tankim crtama te sa sivim dlačicama pri vrhu, ljuska je dobro popunjena sjemenkom, a randman sjemenki iznosi oko 43%. Kožica se prženjem lako uklanja na većini jezgri.

Slika 4 prikazuje plod Istarskog lješnjaka i to u ljusci, oljušten te pržen, na Slika 2 prikazan je grozd Istarskog duguljastog lješnjaka. Jasno se mogu uočiti tamne crte koje lješnjak ima na ljusci te vršak koji je pun dlačica. Oljušten lješnjak također je duguljast sa zašiljenim vrškom. Prilikom prženja kožica se vrlo dobro uklanja te ostane samo jezgra lješnjaka koja poprimi zlatno smeđu boju.

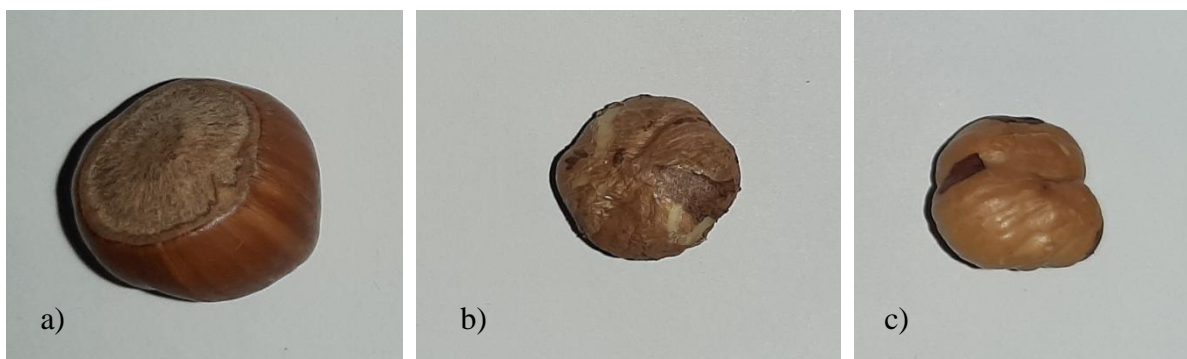


**Slika 4 Prikaz Istarskog duguljastog lješnjaka  
a) u ljusci b) očišćen od ljuske c) pržen i očišćen od kožice**

### 2.3. Rimski

Rimski lješnjak potječe iz južne Europe i rasprostranjena je diljem Europe. Ova sorta služi kao oprašivač za sortu Istarski duguljasti i Halski div. Ova sorta redovito i obilno rađa i to krajem kolovoza ili početkom rujna. Ovoj je kraći ili jednako dug kao duljina ploda u ljusci, a pri vrhu je širok pa plodovi prilikom sazrijevanja lako ispadaju što olakšava mehanizaciju berbe. Plod je okruglastog oblika s prosječnom duljinom 20 mm, širinom 24 mm, i debljinom 21 mm. Ljuska je glatka i srednje debela, svijetlosmeđe boje s tamnim crtama. Randman sjemenki iznosi od 37 do 47%, ovisno o klimatskim uvjetima. Kožica se prženjem odvaja nešto manje dobro nego kod Istarskih lješnjaka.

Slika 5 prikazuje plod Rimskog lješnjaka i to u ljusci, oljušten te pržen, na Slika 2 prikazan je grozd Rimskog lješnjaka. Isto kao i kod Istarskog duguljastog, mogu se uočiti tamne crte na ljusci ploda. Oljušten lješnjak također je okruglast kao i u ljusci, čime se na pogled lako razlikuje od Istarskog duguljastog. Prilikom prženja kožica se vrlo dobro uklanja, ali nešto manje dobro nego kod Istarskog.



**Slika 5 Prikaz Rimskog lješnjaka**  
a) u ljusci b) očišćen od ljuske c) pržen i očišćen od kože

## 2.4. Proces pripreme lješnjaka za preradu

Lješnjak raste na stablu lijeske u grozdu s jednim do deset lješnjaka (najčešće 2) te su opisani oblici i dane slike u poglavlju 2.1.

Nakon sazrijevanja uglavnom u rujnu, grozdovi poprimu smeđu boju te otpadaju sa stabla. Ovisno o obliku ovoja, lješnjak će ispasti ili će ostati unutar ovoja što igra ulogu prilikom ručnog skupljanja.

Slika 6 prikazuje različite modele vučenog stroja za kupljenje lješnjaka proizvođača Facma. Princip strojeva je da usisavaju sve sa zemlje s time da ukoliko ima bočne četke kao na prvoj, drugoj i četvrtoj slici, tada nije potrebna ljudska snaga. Ukoliko stroj nema četke potrebni su ljudi koji crijevima usisavaju lješnjake koji se unutar stroja pročišćavaju od trave, prašine i ovoja.



**Slika 6 Prikaz različitih modela strojeva za kupljenje lješnjaka proizvođača Facma [6]**

Strojnim kupljenjem lješnjak se odmah komuša (plod lješnjaka u ljusci odvaja se od komušine), a ako se kupljenje obavlja ručno tada se mora posebno komušati na komušaću. Ručno kupljenje je manje zastupljeno, ali i dalje postoji, pogotovo kod proizvođača koji imaju manje površine nasada. Komušanje je dugotrajan i monoton proces gdje radnik mora sipati lješnjake u stroj (još uvijek u ovoj) te paziti da se stroj ne zagušuje. Proces je dosta spor te je sve češća praksa da se iznajmi stroj za kupljenje i njime iskomuša urod. Slika 7 prikazuje komušać lješnjaka pogonjen kardanom s traktora.



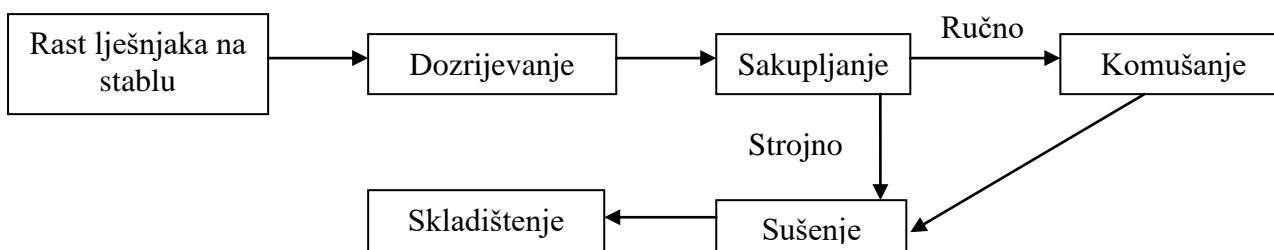


**Slika 7 Komušać lješnjaka [7]**

Nakon što su lješnjaci iskomušani, suše se na suncu ili u sušarama kako bi se postigla vlažnost ploda oko 7%. Kad je željena vlažnost ploda postignuta, tada su lješnjaci spremni za daljnju preradu. Slika 8 prikazuje sušaru lješnjaka. Sušenje u sušarama postiže se ventilacijom vrućeg zraka, a lješnjaci unutar sušare se miješaju središnjim vijkom. Proces u sušarama traje znatno manje nego sušenje na zraku. Nakon sušenja lješnjaci se skladište i spremni su za daljnju obradu.



**Slika 8 Sušara lješnjaka proizvođača Facma [6]**



Slika 9 Dijagram toka pripreme lješnjaka za prerađu

## 2.5. Upotreba lješnjaka

Lješnjak je namirnica visoke energetske vrijednosti, a ovisno o sorti iznosi 600 do 680 kalorija na 100 grama. Kvaliteta lješnjaka ovisi o sadržaju masnoće (uglavnom između 52,5% i 72,4%), ali također sadrže i proteine (10,9% do 22,6%), ugljikohidrate (3,7% do 9,9%), vitamine (B1, B2, B6, C, E) te mnogobrojne minerale i organske kiseline. [2]

Lješnjaci su jako zdrava i vrijedna namirnica te pomaže u:

- sprječavanju kardiovaskularnih bolesti
- sprječavanju nastanku tumora
- poboljšanju pamćenja i mentalnih sposobnosti
- smanjivanju lošeg kolesterola
- jačanju imuniteta [8].

Lješnjaci se najčešće konzumiraju sirovi, ali se mogu konzumirati i prženi, blanširani, ušećerani itd. Također se lješnjaci prerađuju te se izrađuje maslac od lješnjaka, raznorazni namazi, sladoled, no koriste se kao dodatak čokoladama, kolačima i mnogim drugim desertima. Hladnim prešanjem lješnjaka proizvodi se ulje lješnjaka koje je izrazito dobar lijek za problematičnu kožu, a kao nusprodukt dobije se brašno lješnjaka koje se koristi u izradi palačinki.

Slika 10 prikazuje neke proizvode tvrtke Ferrero, desno na slici nalazi se Nutella koja je daleko najpoznatiji proizvod od lješnjaka u svijetu.

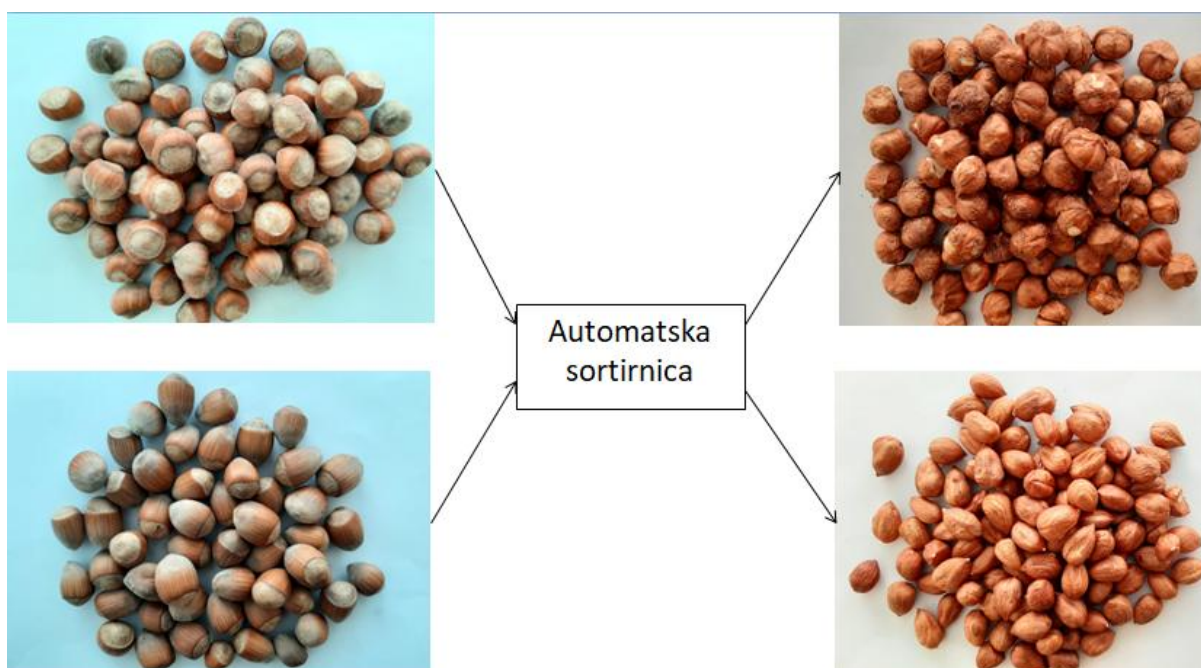


Slika 10 Neki proizvodi tvrtke Ferrero koji sadrže lješnjake [9]

### 3. PROBLEMATIKA VEZANA UZ RAZVOJ SUSTAVA SORTIRANJA LJEŠNJAKA

Prije nego li se krene opisivati probleme koji se javljaju prilikom sortiranja lješnjaka, potrebno je znati koji je točan zahtjev za sortirnicu. Cilj zamišljene automatske sortirnice jest odvajanje cjelovite jezgre lješnjaka od ljuske kako bi se dobili čisti sirovi lješnjaci koji su najčešće prodavani, stoga je potrebno osmisлити kako oljuštiti lješnjak i tu ljusku odvojiti od jezgri lješnjaka.

Slika 11 prikazuje pojednostavljeni cilj sortirnice lješnjaka. Zadaća sortirnice je da prvo zdrobi lješnjake u ljusci te je nakon toga potrebno odvojiti tu ljusku, kao i nečistoće koje se mogu naći uz lješnjake (prvenstveno se odnosi na prašinu, travu i komadiće zemlje). Finalni proizvod sortirnice je očišćeni lješnjak. Na gornjim slikama je prikazan Rimski lješnjak u ljusci i oljušten i očišćen, a na donjima je prikazan Istarsku duguljasti. Nije predviđeno da sortirnica odvaja Istarski od Rimskog budući da su na plantažama posađeni odvojeno.



Slika 11 Pojednostavljeni prikaz cilja sortirnice



Problemi i zadaće za koje treba osmisliti rješenje prije nego li se krene razvijati koncept su:

- 1) **Zadaća drobljenja ljuske** – kako bi se jezgra mogla odvojiti od ljuske potrebno je ljusku zdrobiti, odnosno potrebno je primijeniti silu na lješnjak u ljusci s ciljem da pukne samo ljuska, a da jezgra ostane čitava. Kako bi se to moglo ostvariti potrebno je prvo osušiti lješnjak na željenu vlažnost (otprilike 7% kako je spomenuto u poglavlju prije) kako bi se jezgra volumenski smanjila i odvojila od ljuske. Cilj drobljenja je da ljuska pukne po pola kako je prikazano na Slika 12, jer se tada jezgra najlakše odvaja od ljuske, odnosno sama ispada van. Principi drobljenja i detaljniji opis ove zadaće dani su u sljedećem poglavlju.



Slika 12 Ljuska lješnjaka a) Istarski duguljasti b) Rimski

- 2) **Zadaća odvajanja ljuske** – nakon što je lješnjak zdrobljen, potrebno je odvojiti ljusku od jezgri lješnjaka kako bi plod mogao prodavan ili dalje prerađivan. Ljusku je moguće odvajati pomoću zraka ili mehaničkim putem. Ukoliko se ljuska odvaja od jezgre lješnjaka pomoću zraka, potrebno je narediti jačinu struje zraka ovisno o vlažnosti ploda te će ljuska odletjeti u zrak zbog manje gustoće i veće površine od lješnjaka, a lješnjaci će proći u odvojeni spremnik namijenjen jezgrama. Ukoliko se mehaničkim putem odvaja ljuska, tada se odvaja principom da kroz rupe posebnih oblika propada ljuska, a jezgra ostane na lješnjaku. Problem mehaničkog odvajanja je da će polovice vrlo vjerojatno sve propasti u smeće, a mogu biti iskorištene za daljnju preradu. Ovakvim principima nije moguće odvojiti svu ljusku, te se to naziva dalje u tekstu „grubo“ odvajanje ljuske. Grubim odvajanjem moguće je odvojiti i preko 90% (rezultati prikazani u poglavlju 6), stoga je potrebno koristiti i tzv. „fino“ odvajanje ljuske. Fino odvajanje ljuske obavlja se optičkim, ultrazvučnim ili laserskim nadzorom. No i taj nadzor nije savršen, a kako su

ljuske veoma tvrde i nije dozvoljeno da ijedna ostane na plodu, na kraju se još vrši ljudski nadzor i odvajanje preostalih ljuski.

Slika 13 prikazuje lješnjake nakon grubog odvajanja ljuske, mogu se uočiti neodvojene ljuske, nezdrobljeni lješnjaci, ostaci kožice jezgre i dijelovi placentne niti te ljuska zaostala na jezgri.



Slika 13 Lješnjaci nakon grubog odvajanja ljuske

- 3) Problem prašine i komada zemlje** – zasigurno najveći problem koji se javlja prilikom sortiranja lješnjaka. Prašina se nalazi na ljusci lješnjaka, budući da se kupe s poda, i to u znatno većoj količini na Rimskim lješnjacima jer ispadaju iz ovoja i ljuska je u direktnom dodiru sa zemljom. Prašina se isto tako javlja zbog komada zemlje koji su usisani strojem za kupljenje, zajedno s lješnjacima. Prilikom usisavanja komadići zemlje usisani su strojem i prilikom prolaska kroz komušać, komadi zemlje usitnjeni su i velika količina je izbačena na njivi, međutim neki komadi usitnjeni su na veličinu približnu veličini lješnjaka, te prolaskom kroz stroj ti komadi završe zajedno s lješnjacima u vreći. Daljnjom preradom lješnjaka, komadi zemlje usitnit će se i ta prašina će se skupljati na jezgrama i dizati se u zrak čime će štetiti radnicima u prostoriji. Osim što šteti ljudima, prašina šteti i strojevima pri čemu može uzrokovati ubrzano trošenje pokretnih dijelova.



**Slika 14** Strojno pokupljeni Rimski lješnjaci

Slika 14 prikazuje strojno pokupljene Rimske lješnjake, te su zaokruženi komadi zemlje. Na slici je vidljivo i kako su ljuske lješnjaka također prašnjave što predstavlja velik problem u daljnjoj preradi lješnjaka. Rješenje za prljave lješnjake i komade zemlje je ispiranje vodom, za što postoje posebni strojevi. Komadi zemlje u pokupljenim lješnjacima također se smanjuju pravilnom pripremom tla za kupljenje, odnosno ravnanjem valjkom tla ispod stabala.

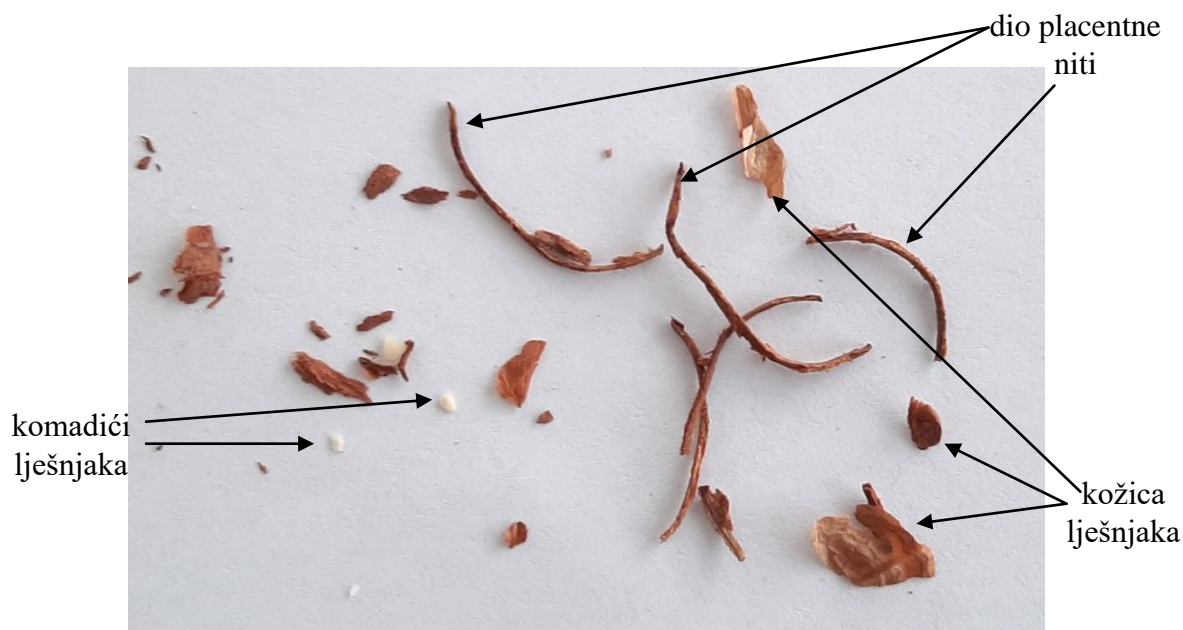
- 4) Problem neiskomušanih lješnjaka** – neiskomušani lješnjaci javljaju se kao problem kod sorte Istarski duguljasti, jer je ovoj te sorte duži od samog ploda te plodovi u većem dijelu ne ispadaju iz ovoja prilikom sazrijevanja. Ovi lješnjaci prilikom sortiranja prema veličini bit će svrstani u veću veličinu te je moguće da budu nezdobljeni nakon prolaska kroz drobilicu. Ukoliko su zdobljeni prilikom prolaska kroz drobilicu, jezgra će ostati unutar ljuske i to zato što je ovoj tanak i elastičan te neće puknuti kao ljuska i pritom će zadržati ljusku i jezgru. Postoji mogućnost da se odvajanjem pomoću zraka neiskomušani lješnjaci svrstaju zajedno sa ljuskom umjesto s jezgrom jer se površina povećava te samim time i sila kojom zrak djeluje na lješnjak. Slika 15 prikazuje strojno pokupljene Istarske duguljaste lješnjake te su na slici označeni neiskomušani lješnjaci (ovoj nije odvojen od ploda). Postotak neiskomušanih nije velik, ali je svakako potrebno obratiti pažnju i na taj problem.





Slika 15 Strojno pokupljeni Istarski duguljasti lješnjaci

- 5) **Problem sitnih komadića lješnjaka** – prilikom drobljenja lješnjaka moguće je da jezgre budu malo oštećene. To se događa prilikom udara u drobilicu ili prilikom udara jezgri lješnjaka prilikom transporta. Dijelovi koji otpadaju s lješnjaka u najvećem su dijelu kožica i dijelovi placentne niti lješnjaka koja ostaje slijepljena na jezgru, ali otpadnuti komadići mogu biti i komadići jezgre. Takvi komadići uklanjaju se dodatnim prolaskom kroz zrak ukoliko je to potrebno.



Slika 16 Komadići zaostali nakon sortiranja

Slika 16 prikazuje komadiće otpadnute direktno s ploda lješnjaka te su označeni na slici.

- 6) Problem zaostale ljuske na jezgri** – prilikom drobljenja te sortiranja lješnjaka zrakom ili mehaničkim putem, postoji mogućnost da komadić ljuske ostane priljepljen na jezgri lješnjaka. Ovaj problem javlja se kod Rimskog lješnjaka te predstavlja velik problem prilikom ljudskog nadzora jer ih je teško uočiti. Komadiće ljuske, koji tako ostanu priljepljeni, nije teško odvojiti (nije potrebna velika sila odvajanja). Komadići će otpasti ukoliko se lješnjak samo protrlja kroz ruke jer je uglavnom priljepljen dijelom kože koji se nije odvojio od ljuske. Slika 17 prikazuje lješnjake na kojima je ostao komadić ljuske priljepljen na jezgri, katkada je to i gotovo polovica ljuske, ali jezgra svakako ispada lako van.



**Slika 17** Zaostali komadići ljuske priljepljeni na jezgri

- 7) Problem nezdrobljenih lješnjaka** – drobljenjem lješnjaka postoji mogućnost da ljuska ne pukne dovoljno da se razdvoji i da jezgra ispadne van. Ovaj se problem može javiti neovisno o principu drobljenja, ali je riječ o veoma malom postotku ovakvih lješnjaka. Do toga dolazi ukoliko sila primijenjena na plod nije dovoljno velika. Rješenje problema i zašto se javlja opisano je u poglavlju 4. Slika 18 prikazuje takve lješnjake te se jasno vidi da jezgra ne može ispasti van osim ako se ta ljuska ne zdrobi.



**Slika 18** Nepuknuti lješnjaci

**8) Problem polovica jezgri** – ovaj problem nije problem kao ostali nabrojani, jer ne predstavlja opasnost za ljude ili otežani rad stroja. Lješnjaci su uglavnom prodavani svježi i oljušteni te se prodaju cijele nepuknute jezgre. Ukoliko se pojavljuju polovice prilikom sortiranja lješnjaka, potrebno ih je odvojiti i prirediti za daljnju preradu. Polovice su zdravi lješnjaci, jedino su prilikom drobljenja jezgre puknule ili zbog prevelike sile upotrijebljene prilikom drobljenja ili zbog niskog postotka vlažnosti u plodu te lako pucaju. Problem se javlja i prilikom grubog sortiranja, budući da polovice mogu završiti s ljuskama u otpadu. Ako je grubo sortiranje zrakom, zrak otpuše polovice u otpad zajedno s ljuskama, a ako je grubo sortiranje izvršeno mehanički, tada polovice propadaju kroz rupe. Slika 19 prikazuje polovice jezgri nastale na prethodno opisane načine. Polovice se najčešće usitnjavaju te upotrebljavaju prilikom izrade kolača ili prilikom izrade namaza i ostalih stvari nabrojanih u poglavlju 2.5.

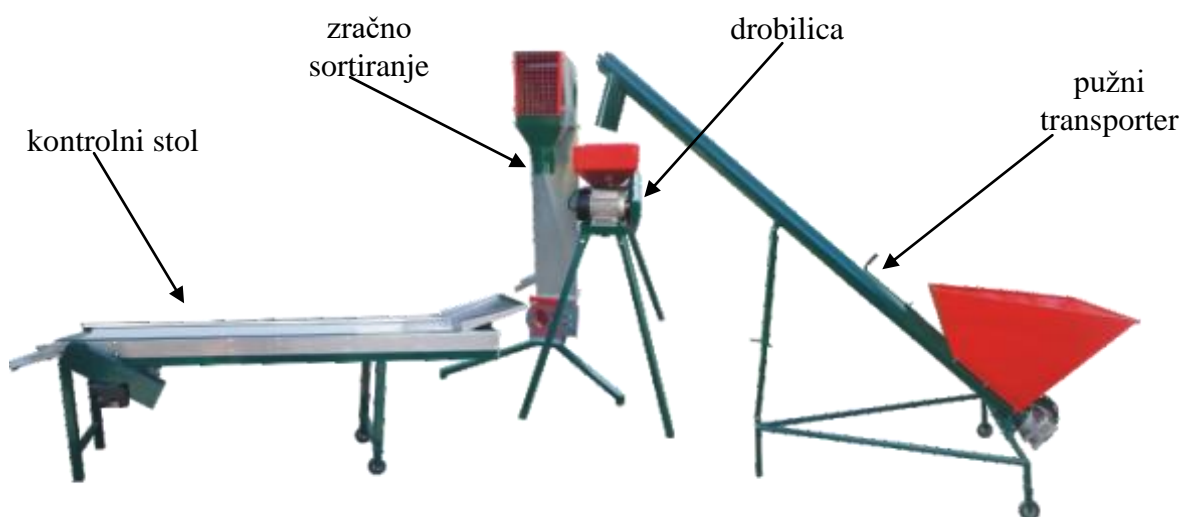


**Slika 19 Polovice jezgri**



#### 4. KONCEPTUALNA RJEŠENJA AUTOMATSKE SORTIRNICE

Zahtjevi sortirnice opisani su u poglavlju 3, a to je da odvoji jezgru od ljuske kako bi se jezgra lješnjaka mogla konzumirati ili dalje prerađivati. Kako su u Hrvatskoj uglavnom manji proizvođači, odnosno obiteljska poljoprivredna gospodarstva, strojevi za sortiranje koji se najčešće koriste su za manje količine te se ljuska samo grubo odvaja pomoću njih. Takvi strojevi sastoje se od kalibratora, drobilice te jednog od sustava grubog sortiranja (zračni ili mehanički). Slika 20 prikazuje liniju za sortiranje lješnjaka koja se sastoji od transportera, drobilice, zračnog sortiranja te transportera koji služi kao kontrolni stol. Prije nego su lješnjaci ubačeni u ovakvu liniju za preradu, moraju biti iskalibrirani, odnosno sortirani po veličini. Kalibriranje se vrši kako bi se za svaku kalibražu razmaknuli valjci radi drobljenja svih lješnjaka, ukoliko se to ne uradi prije drobljenja, tada će manji lješnjaci ostati nezdobljeni. Princip rada ove linije jest da se namjesti razmak valjaka za drobljenje (ovisno o kalibraži), lješnjaci se ubace u transporter koji ih šalje do drobilice. Drobilica drobi ljusku, a jezgra ostaje čitava te zajedno putuju do zračne sortirnice. Zračna sortirnica pomoću zraka uzdiže ljusku u predviđeni dio za otpad, a jezgra prolazi dalje do kontrolnog stola gdje se ljudskim radom nadziru i uklanjaju preostale ljuske.



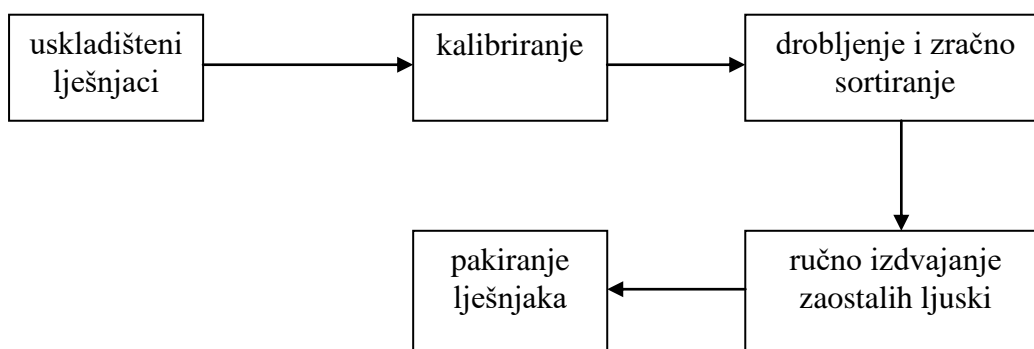
Slika 20 Linija za sortiranje lješnjaka [7]



Najčešće manji proizvođači imaju samo kalibrator, drobilicu i sustav za grubo sortiranje.

Posjedovanjem takvih strojeva znači puno uloženog ljudskog rada, jer je lješnjake potrebno više puta prebacivati.

Dijagram na Slika 21 prikazuje proces potreban za obavljanje zadaće sortiranja, ukoliko se posjeduje navedeni sustav. Svaka strelica predstavlja ručno prebacivanje lješnjaka, što znači da je potrebno svaki lješnjak prenijeti minimalno 4 puta te još jednom prilikom prodaje. To je izrazito mukotrpan proces ukoliko se posjeduju veće količine lješnjaka. Linija opisana na Slika 20 izbacuje samo jedno prebacivanje i to između drobljenja i ručnog izdvajanja ljuski, što je i dalje previše. U radu je dano rješenje kojim se lješnjaci prebacuju znatno manje puta.



Slika 21 Dijagram toka čišćenja lješnjaka

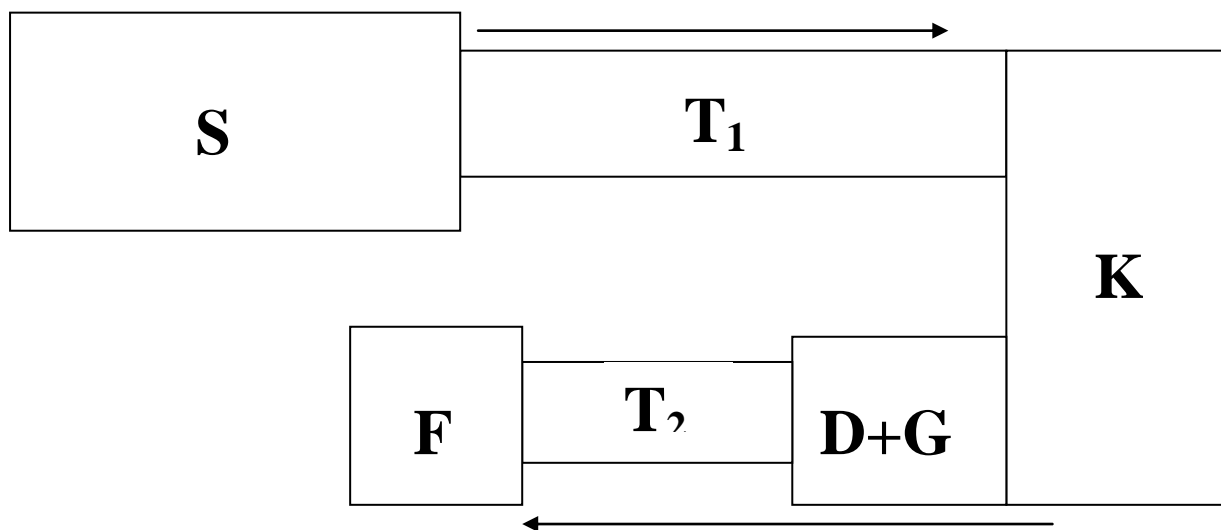
#### 4.1. Prijedlog rješenja automatske sortirnice

Potrebno je osigurati tok lješnjaka od skladišta do pakiranja sa minimalnim ljudskim radom. Ljudski rad će ostati prilikom završne inspekcije za preostale ljuske, te prenošenje za pakiranje, budući da se lješnjaci uglavnom još jedan dan nakon čišćenja prosuše. Automatska pakirница nije dio ovog rada, već je potrebno dobiti samo čiste lješnjake, Slika 11 prikazuje cilj sortirnice.

Dijagram toka automatske sortirnice zapravo je isti kao dijagram dan na Slika 21, razlika u tome je što strelice ne predstavljaju ručno prebacivanje lješnjaka, već se to obavlja transporterima ili utjecajem gravitacije.

Slika 22 prikazuje pojednostavljeni prikaz tlocrta automatske sortirnice. Lješnjaci su uskladišteni u skladišni prostor S. Na skladišni prostor spojen je transporter  $T_1$  kojim su lješnjaci preneseni do kalibratora. Pomoću kalibratora K, lješnjaci su sortirani prema veličini kako bi se izbjegli nezdobljeni lješnjaci. Gravitacijskom silom lješnjaci iz kalibratora padaju u drobilicu D. drobilica drobi ljusku i, također pomoću gravitacijske sile, vodi lješnjake i

ljusku prema sustavu za grubo odvajanje ljuske od jezgri. Sustav za grubo odvajanje ljuski G, odvaja većinu ljuski s lješnjaka te pomoću gravitacije, lješnjaci s preostalom ljuskom prolaze do transportera  $T_2$ . Pomoću transportera  $T_2$  lješnjaci se prenose do sustava za fino odvajanje ljuske F. Pomoću sustava za fino odvajanje ljuske, uklanja se većina preostale ljuske. Nakon toga potrebno je još odraditi kontrolu očišćenih lješnjaka, jer je nedopustivo da ijedna ljuska preostane. Smjer toka linije prikazan je strelicama.



**Slika 22** Pojednostavljeni tlocrt automatske sortirnice  
**S** – skladište, **T<sub>1</sub>**, **T<sub>2</sub>** – transporteri, **K** – kalibrator, **D** – drobilica,  
**G** – sortirnica za grubo odvajanje ljuski, **F** – sortirnica za fino odvajanje ljuski

Problem prašine koji je naveden pod 3) ne rješava se unutar same automatske sortirnice, već se rješava prije skladištenja. Problem se rješava ranije zbog toga što je potrebno koristiti vodu za pranje, a tako vlažni lješnjaci predstavljaju probleme prije sortiranja. Budući da je lješnjak manje gustoće od vode (i ljuska i jezgra), plodovi u ljusci plutat će u vodi. Slika 23 prikazuje stroj za odvajanje takve prljavštine od lješnjaka. Mlaz vode gura plutajuće plodove do rešetke te lješnjaci prelaze, a prljava voda propada u spremnik gdje se filtrira i nanovo koristi. Ovim principom uklanja se i kamenje koje se katkada može pronaći među plodovima. Ukoliko se kamenje pronađe unutar sortirnice, može dovesti do oštećenja na elementima drobilice.

Tako očišćeni lješnjaci moraju se osušiti što prije da ne dođe do truljenja ploda i nakon toga mogu se dalje prerađivati.

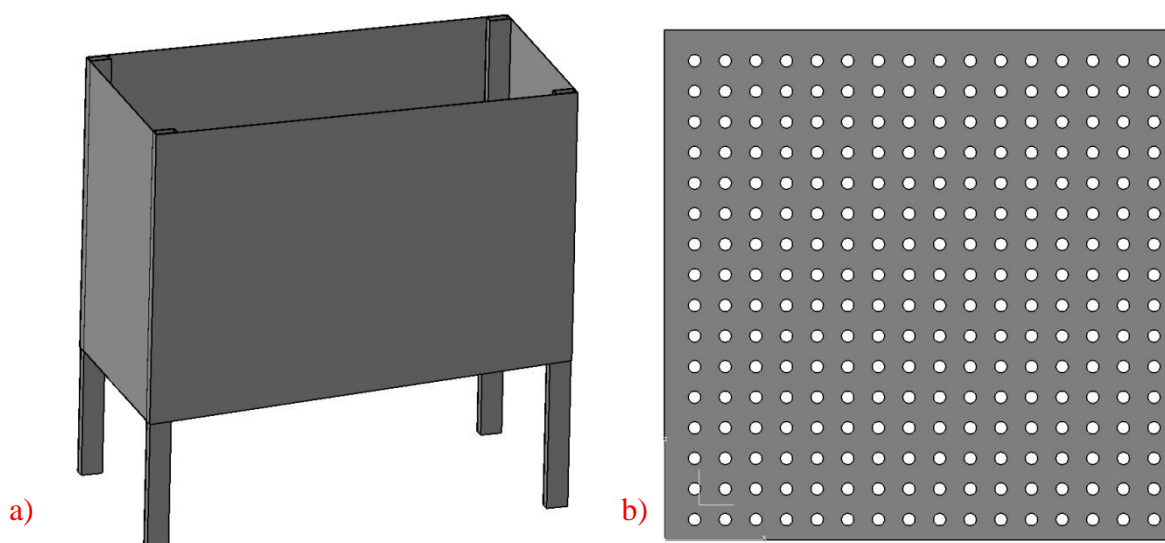


Slika 23 Odvajač zemlje i nečistoća od lješnjaka, proizvođača Facma [6]

Ocjenjivanje pojedinih dijelova automatske sortirnice vrši se s ocjenjivanjem +, - ili 0. Znak '+' predstavlja prednost nad ostalim transporterima te je moguće da obje varijante imaju '+' za neki uvjet ukoliko su podjednako superiorniji naspram ostalih transportera. Ocjena '0' predstavlja da su varijante podjednako dobre te da je moguće dobiti i bolje rješenje za određeni uvjet. Ocjena '-' predstavlja nedostatak te varijante.

#### 4.2. Skladišni box

Skladišni prostor zamišljen je kao veliki box dimenzija  $a \times b \times h$ , kako bi se lješnjaci od tuda mogli dalje transportirati u sortirnicu.



Slika 24 Skladišni box  
a) pojednostavljeni prikaz b) uzorak limenih ploča

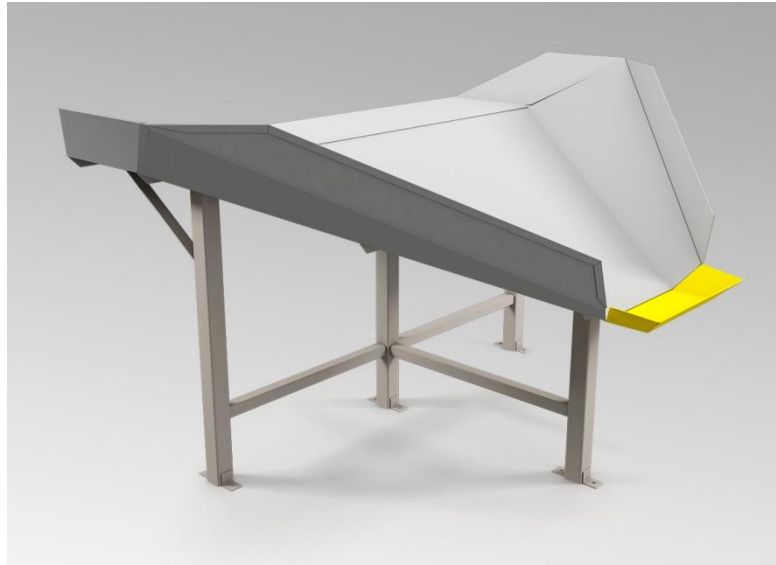
Slika 24 predstavlja skladišni box dimenzija 2x1x2 m, takvom veličinom može se uskladištiti ~1200 kg lješnjaka. Podnica box-a pod nagibom je od 7° u odnosu na tlo te je povišena nešto više od 0,5 m od tla. Box je povišen kako bi ispod bilo mjesta za postavljanje transporterera koji će lješnjake odvoditi do kalibratora. Nagib podnice je napravljen kako bi zbog utjecaja gravitacije lješnjaci sami padali u transporter. Prikazan je na b) uzorak stranica, koji je rupičast kako bi lješnjaci „disali“, odnosno vlaga ne bi navlažila lješnjake i pokvarila urod.

### 4.3. Transporteri

Transportni uređaji potrebni su za transport lješnjaka između različitih stanica sortirnice. Potrebno je osigurati transport od skladišta do kalibratora zatim od kalibratora do drobilice, zatim od drobilice do grubog odvajanja te nakon toga do sustava za fino odvajanje. Potrebno je koristiti što jednostavnije sustave transporta, ali da su dovoljno dobri i kvalitetni da odrađuju potrebne zadaće.

#### 4.3.1. Klizne staze

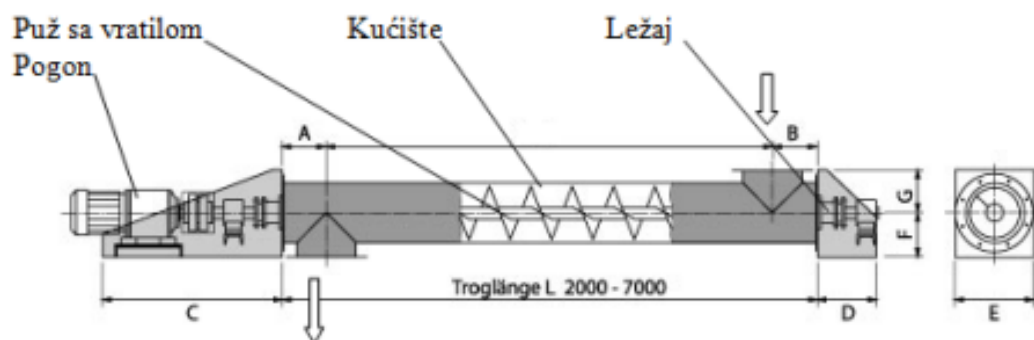
Klizne staze vrsta su neprekidnog transporta, a za kretanje materijala korištena je sila teža. Mogu biti kose ili spiralne, a primjenjuju se za povezivanje uređaja, katova pogona ili dodavači materijala. Jeftina i jednostavna izvedba je najbitnije svojstvo zbog kojeg će biti korištene u ovome radu i to svugdje gdje je moguće koristiti gravitaciju. Ovakva vrsta transporterera u automatskoj sortirnici povezivat će kalibrator i drobilicu (budući da je potrebno da kalibrator bude iznad drobilice), drobilicu i sustav grubog odvajanja, sustav grubog odvajanja i sustav finog odvajanja [10]. Slika 25 prikazuje kosu kliznu stazu, te se iz slike može zaključiti kako je moguće da klizna staza bude jedna nakošena ploča lima, s ogradicama sa svake strane.



Slika 25 Prikaz kose klizne staze [11]

#### 4.3.2. Pužni transporter

Pužni transporteri korišteni su za transport sipkog materijala (praškasti, granularni materijali, sječke...). Smjer transporta je horizontalno ili pod nagibom (uglavnom do  $25^\circ$ ), ali posebnim izvedbama može se postići i do vertikalnog transporta. Izvedba transportera veoma je jednostavna, a sastoji se od ležaja, kućišta, pogonskog mehanizma i puža s vratilom kako je prikazano na Slika 26.



Slika 26 Prikaz dijelova pužnog transportera [10]

Prednosti ovakvih transportera je široka primjena, veoma jednostavna konstrukcija i izvedba, zatvorena kućišta što omogućuje zaštitu materijala i manje prašenje. Nedostatak je što su nepogodni za veće udaljenosti (što u ovom slučaju ne igra ulogu), oštećivanje materijala i otežano održavanje [10].

### 4.3.3. Trakasti transporter

Trakasti konvejeri korišteni su za vodoravni ili transport pod kutem sipkog i komadnog materijala, a namijenjeni su transportu velikih količina materijala. Traka transportera najčešće je gumena, katkada polimerna, tekstilna ili čelična. Transportere odlikuje tihi rad te mogućnost transporta osjetljivih tereta. Slika 27 prikazuje trakasti transporter, još jedna prednost ovakvih transportera je što mogu poslužiti kao kontrolni stol a uklanjanje preostalih ljesaka lješnjaka.



Slika 27 Trakasti transporter [10]

Postoji više izvedba trakastih transportera, a zanimljiva za ovaj rad je kosa izvedba trakastog transportera s profilnom trakom (najčešće gumenom). Slika 28 prikazuje trakasti transporter s gumenim profilom koji je pogodan za transport lješnjaka od skladišta do kalibratora.



Slika 28 Trakasti transporter s gumenim profilom [12]

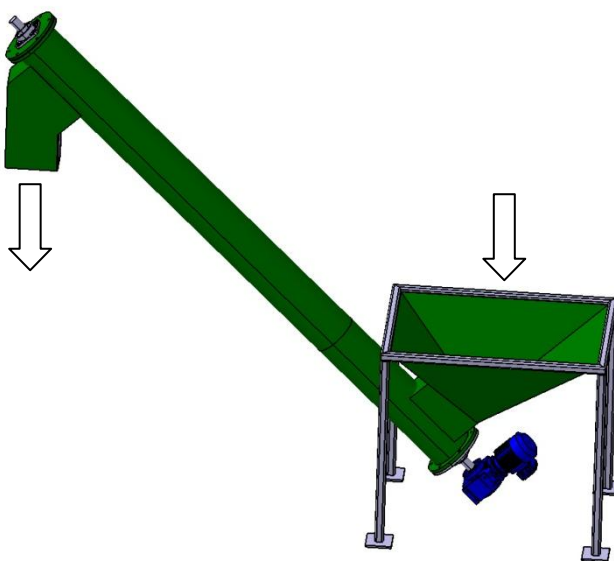
#### 4.3.4. Ocjenjivanje transportera

Tablica 3 Ocjenjivanje transportera za transport lješnjaka iz skladišta do kalibratora

Uvjeti	Pužni transporter	Trakasti s gumenim profilima
Jednostavnost izrade	+	0
Kontinuiran i konstantan protok	+	-
Visina dobave	-	+
Cijena	+	-
Varijabilnost brzine	+	+
Buka	-	+
$\Sigma$	2	1

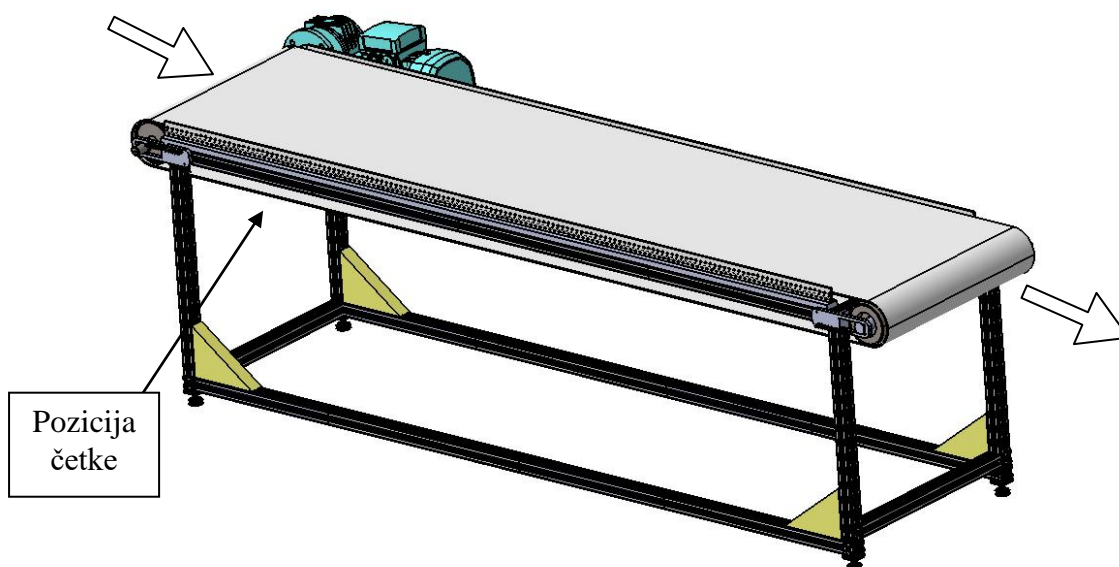
Tablica 3 prikazuje ocjenjivanje transportera za transport lješnjaka od skladišta do kalibratora za lakšu odluku prilikom odabira. Ocjenjivanjem je utvrđeno da je pužni transporter za željenu zadaću bolji izbor.

U poglavlju 4.3.1 nabrojani su dijelovi automatske sortirnice u kojima je korištena klizna staza.



**Slika 29 CAD model pužnog transportera**

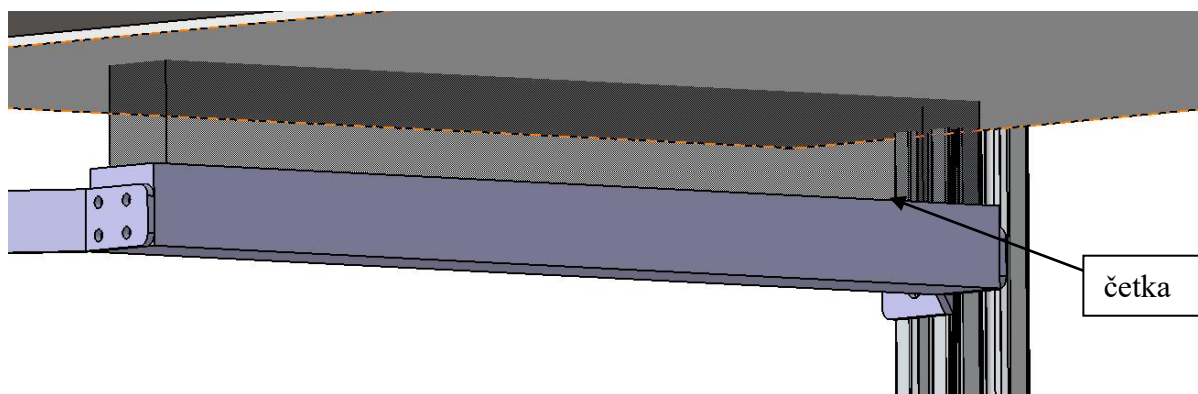
Slika 29 prikazuje CAD model pužnog transportera te je strelicama označen tok materijala. Prilikom finog sortiranja lješnjaka korišten je trakasti transporter, budući da ostale vrste transporta ne zadržavaju orijentaciju predmeta i nemaju mogućnost prikaza lješnjaka zasebno.



**Slika 30 CAD model trakastog transportera**



Slika 30 prikazuje CAD model trakastog transportera, smjer gibanja lješnjaka te poziciju četke na transporteru. Odabrana boja trake je bijela i to kako bi se lješnjaci što lakše uočili. Četka je postavljena s donje strane te služi za uklanjanje sitne prašine koja se može zadržati na traci. Slika 31 prikazuje četku na transportnoj traci.



Slika 31 Četka na trakastom transporteru

#### 4.4. Kalibrator

Svrha kalibratora je sortiranje lješnjaka prema veličini. Određene vrste drobilica zahtijevaju kalibrator radi kvalitetnijeg drobljenja (svi lješnjaci popucaju i ne stvaraju se polovice jezgri). Lješnjaci su prema veličini sortirani tako da prolaskom kroz rupe/prolaze ispadaju u različite veličine kalibraže.

##### 4.4.1. *Bubanj s povećavajućim promjerima rupa*

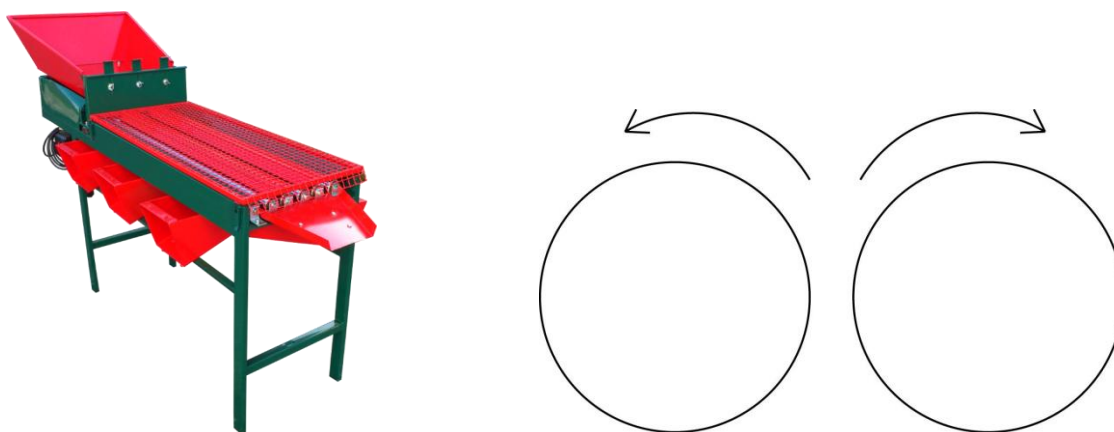
Slika 32 prikazuje kalibrator koji radi na principu bubnja s različitim promjerima  $d_p$ . Bubanj se cijelo vrijeme vrti i sastoji od tri odjeljka, prvi odjeljak ima rupe najmanjeg promjera kako bi najsitniji lješnjaci ispali na početku, a svi veći prošli dalje. Drugi odjeljak ima veće rupe nego prvi, a treći ima veće rupe nego drugi. Ukoliko je lješnjak prevelik za prve tri kalibraže i prođe kroz cijeli bubanj, tada pripada četvrtoj kalibraži koja je na izlazu stroja. Mana ovakvih strojeva je manji protok lješnjaka, ali i problem što zauzimaju dosta prostora. Bubnjevi znaju biti i do 4 m duljine ukoliko se želi postići veća brzina kalibriranja. Ako bubanj nije napravljen pod nekim kutom, tada se unutar bubnja postavlja spiralna vodilica kako bi se lješnjaci kretali u željenom smjeru.



Slika 32 Kalibrator s bubnjem s povećavajućim promjerima rupa  
a) cijeli stroj b) bubanj [13]

#### 4.4.2. Kalibrator s valjcima

Kalibrator s valjcima koristi valjke koji se vrte jedan od drugog te lješnjaci putuju između njih. Razmak ( $r_{vk}$ ) između dva valjka se povećava kako bi na početku manji lješnjaci bili izdvajani, a najveći na kraju. S više parova valjaka postiže se veći protok s puno manje potrebnog prostora nego za kalibrator s bubnjem.



Slika 33 Kalibrator s valjcima (lijevo), smjer vrtnje para valjaka kalibratora

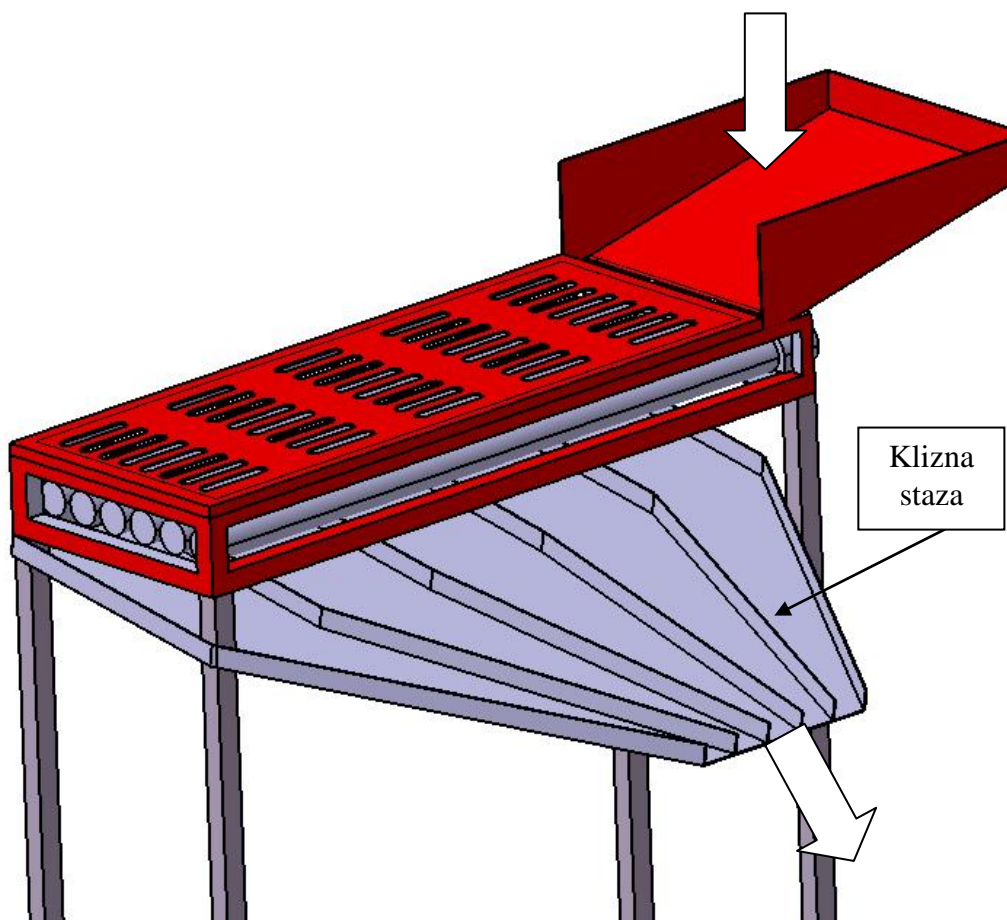
Slika 33 lijevo prikazuje kalibrator s 3 para valjaka i 7 kalibraža (po 3 sa svake strane i jedna na kraju). Slika desno prikazuje smjer vrtnje glatkih valjaka, smjer valjaka je takav kako se lješnjaci ne bi drobili prilikom kalibriranja.

### 4.4.3. Ocjenjivanje kalibratora

Tablica 4 Ocjenjivanje kalibratora

Uvjeti	Kalibrator s bubnjem	Kalibrator s valjcima
Veličina	-	+
Buka	-	-
Jednostavnost izrade	-	+
Cijena	0	0
Točnost rada	+	+
$\Sigma$	-2	2

Ocjenjivanjem kalibratora, odabire se kalibrator s valjcima. Bez tablice odlučivanja kalibrator s valjcima također bi bio odabran radi svoje veličine koja je znatno manja od kalibratora s bubnjevima.

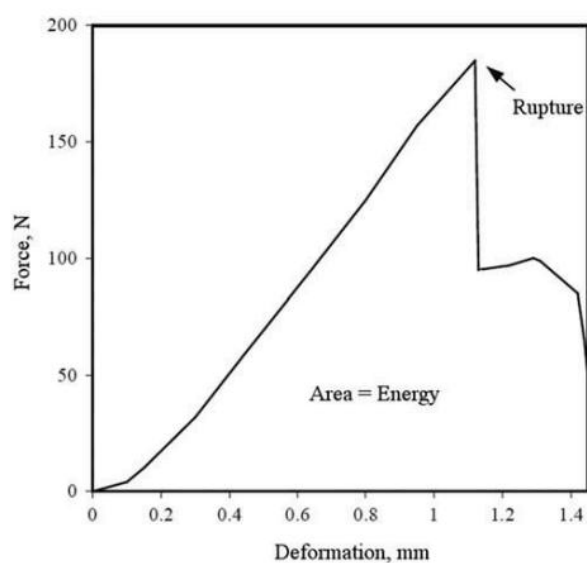


Slika 34 CAD model kalibratora

Slika 34 prikazuje CAD model kalibratora i smjer kretanja lješnjaka. Kalibrator je zamišljen tako da su valjci na kraju dovoljno razmaknuti kako bi svi lješnjaci ispali na kliznu stazu. Kliznom stazom lješnjaci se odvođe do drobilice utjecajem gravitacije.

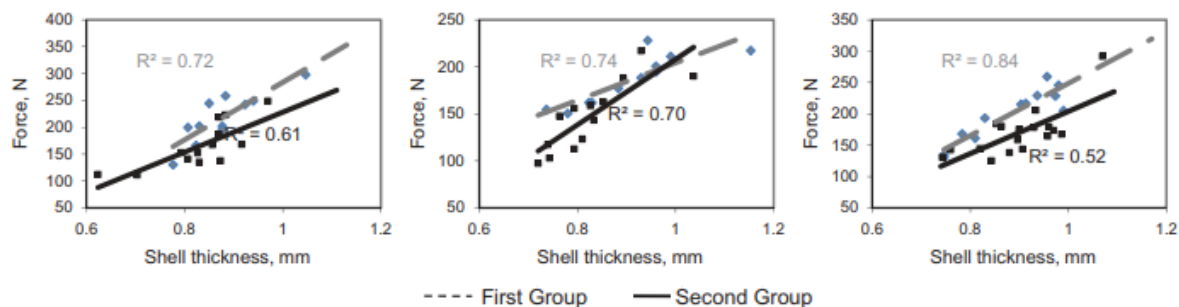
#### 4.5. Drobilica

Kako je ranije u radu spominjano, svrha drobilice je da ljuska, koja ovija jezgru lješnjaka, pukne kako bi jezgra ispala iz ljuske te zatim daljnjim procesima ta ista ljuska odvojila od lješnjaka. Prema [14] sila koja je potrebno ostvariti za pucanje ljuske lješnjaka iznosi oko 180 N i ljuska se deformira za oko 1,2 mm. Slika 35 prikazuje odnos sile i deformacije lješnjaka.



Slika 35 Odnos sile pritiska i deformacija lješnjaka [14]

Prema [15] sila  $F_p$  koju je potrebno ostvariti za pucanje ljuske lješnjaka  $\sim 130$  N. Tako različiti rezultati mogu se objasniti da debljina ljuske lješnjaka  $b_{lj}$  znatno varira od sorte do sorte. Isto tako unutar same sorte ljuska može varirati od debljine 0,8 mm do 1,2 mm. Korištenjem nešto većih sila od sila pucanja ne igraju ulogu, jer ljuska nije potpuno ispunjena jezgrom već postoji međuprostor i jezgra će ostati netaknuta pucanjem ljuske. Prikaz ovisnosti potrebne sile za pucanje ljuske i debljine ljuske dan je na Slika 36.

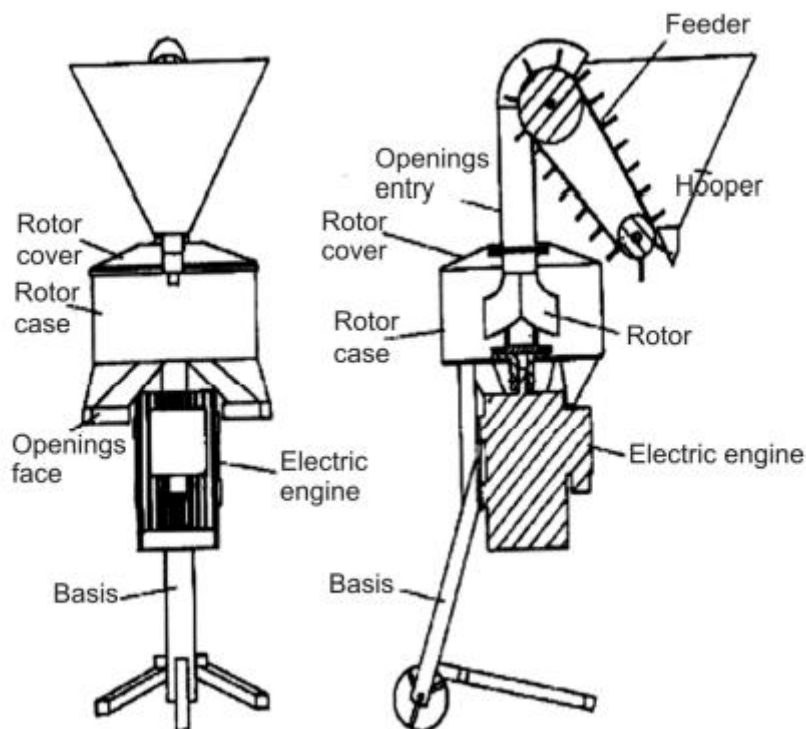


Slika 36 Prikaz potrebne sile za pucanje ovisno o debljini ljuske [14]

#### 4.5.1. Centrifugalna drobilica

Najjednostavnija drobilica jest centrifugalna, odnosno sila potrebna za drobljenje ljuske dobivena je utjecajem centrifugalne sile na lješnjak. Centrifugalna sila postiže se elektromotorom spojenim na rotor. Rotor se sastoji od cilindra s otvorom za dovod lješnjaka, a na dnu se dijeli na dva dijela i širi se u smjeru rotacije. Lješnjaci ulaze na vrhu cijevi i zbog utjecaja centrifugalne sile, na dnu ispadaju i udaraju u kućište rotora silom dovoljnom da razbije ljusku. Na kućištu rotora napravljeni su otvori kako bi zdrobljeni lješnjaci ispadali van. Ugradnjom elektromotora s frekvencijskim pretvaračem kako bi se brzina mogla namještati, samim time i sila, ovisno o sorti kako je navedeno u odlomku iznad.

Slika 37 prikazuje shemu centrifugalne drobilice te se vide svi dijelovi nabrojani u odlomku iznad. Ovakav stroj ne zahtijeva kalibriranje i zauzima malo prostora što su mu najveće prednosti. Veoma jednostavna konstrukcija također je prednost, ali mana ovakvih strojeva jest da se lješnjaci ne zdrobe svi ili se zdrobe puno u polovice. Polovice nisu problem ukoliko se dalje prerađuju lješnjaci, ukoliko se žele konzimirati sirovi, tada je potrebno da ostanu čitavi.



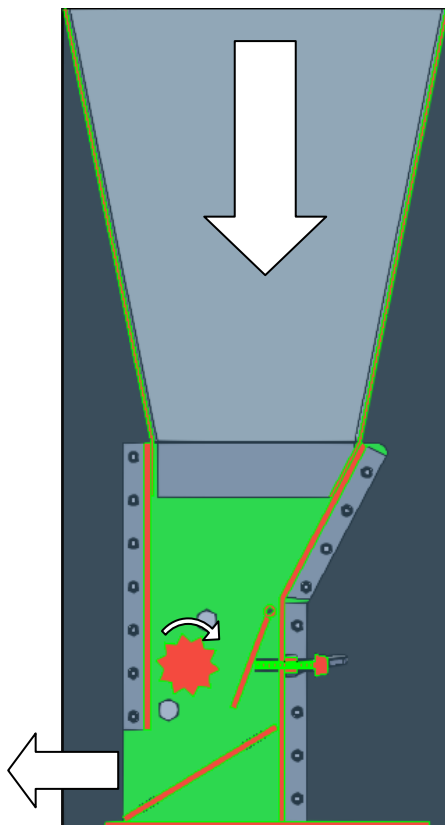
Slika 37 Centrifugalna drobilica [16]

#### 4.5.2. Drobilica s valjkom/valjcima

Ovakav tip drobilice koristi jedan ili 2 valjka koji povlači lješnjake i ostvaruje pritisak potreban za drobljenje ljuske. Drobljenje različitih veličina lješnjaka postiže se razmicanjem ili približavanjem valjaka jedan od drugog. Konstrukcija ovakvih drobilica je jednostavna te ne zauzimaju puno prostora. Manje jezgri se zdrobi u polovice ovakvim strojevima naspram centrifugalnog.

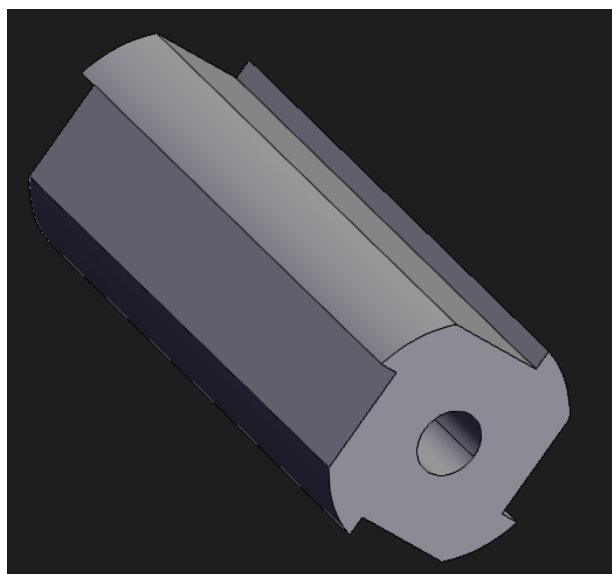
##### 4.5.2.1. Drobilica s jednim valjkom

Droblilica s jednim valjkom koristi jedan valjak koji uvlači lješnjake, a na drugoj strani je statički element koji zaustavi lješnjak te ga valjak zdrobi. Slika 38 prikazuje drobilicu s jednim valjkom i smjer kretanja lješnjaka. Ubacivanjem lješnjaka u stroj, utjecajem gravitacije oni padaju i dolaze do valjka. Smjer vrtnje valjka prikazan je strelicom. Valjak pritišće lješnjak na statičku ploču i dolazi do pucanja. Promjenom kuta nagiba statičke ploče, drobe se različite kalibraže. Valjak je izgledom sličan zupčaniku, samo je duljina puno veća dimenzija od radijusa. Problem je što se svaka kalibraža zasebno mora dodavati stroju radi kvalitetnog drobljenja.



**Slika 38 Prikaz drobilice s jednim valjkom**

Ovakva drobilica može koristiti i drugačiji oblik valjka prikazan na Slika 39. Problem takvog tipa valjka je što su udari svaku četvrtinu kruga te proizvodi veliku buku prilikom drobljenja.



**Slika 39 Oblik valjka drobilice s jednim valjkom**



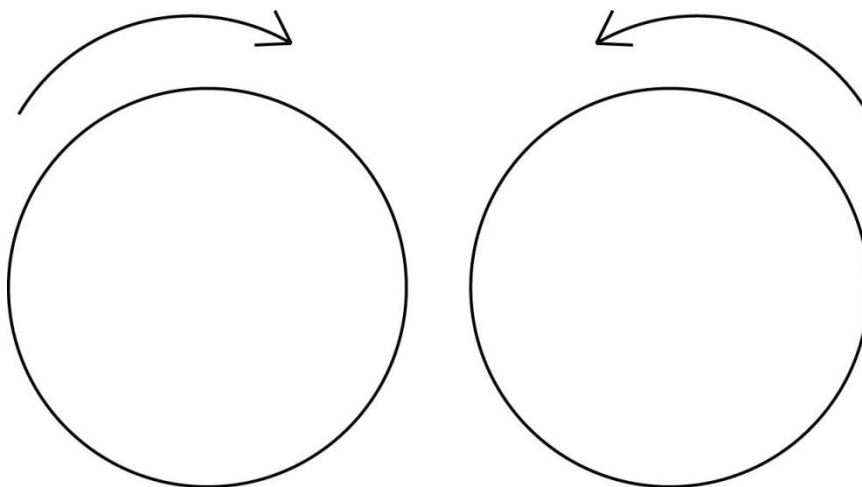
#### 4.5.2.2. Drobilica s dva valjka

Drobilica s dva valjka koristi dva valjka za drobljenje, tako da se okreću jedan prema drugome prilikom drobljenja. Okretanjem valjaka jedan prema drugome, kako je prikazano na Slika 41, uvlače lješnjake u pritisak između dva valjka te ljuska puca pod pritiskom. Konstrukcija je jako slična drobilici s jednim valjkom. Valjci za ovakve drobilice vrte se istim brzinama i radi boljeg rezultata imaju urezan navoj te poprečnu brazdu svakih  $15^\circ$ . Slika 40 prikazuje površinu valjka gdje se mogu uočiti navoj i poprečne brazde.



**Slika 40 Prikaz površine valjaka**

Prednost ovakvih sustav su veće brzine i manja buka nego drobilice s jednim valjkom. Izradom valjka s promjenjivim promjerom ( $d_v$ ) kako bi se sve kalibraže mogle drobiti u isto vrijeme čime se štedi vrijeme te smanjuje obujam potrebnog posla.



**Slika 41 Smjer vrtnje valjaka**

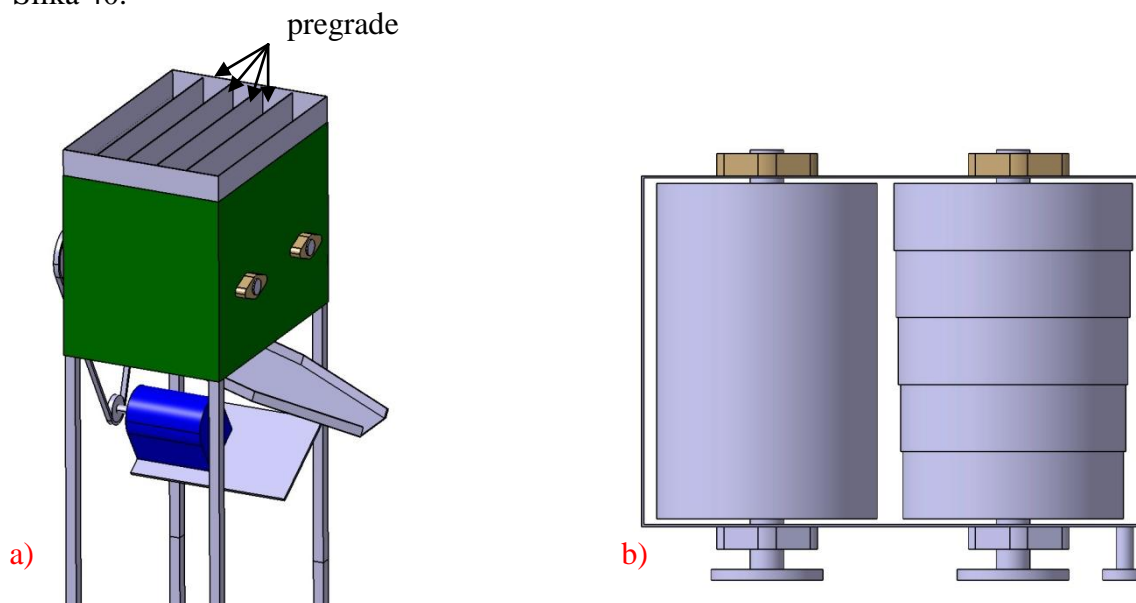


## 4.5.3. Ocjenjivanje drobilica

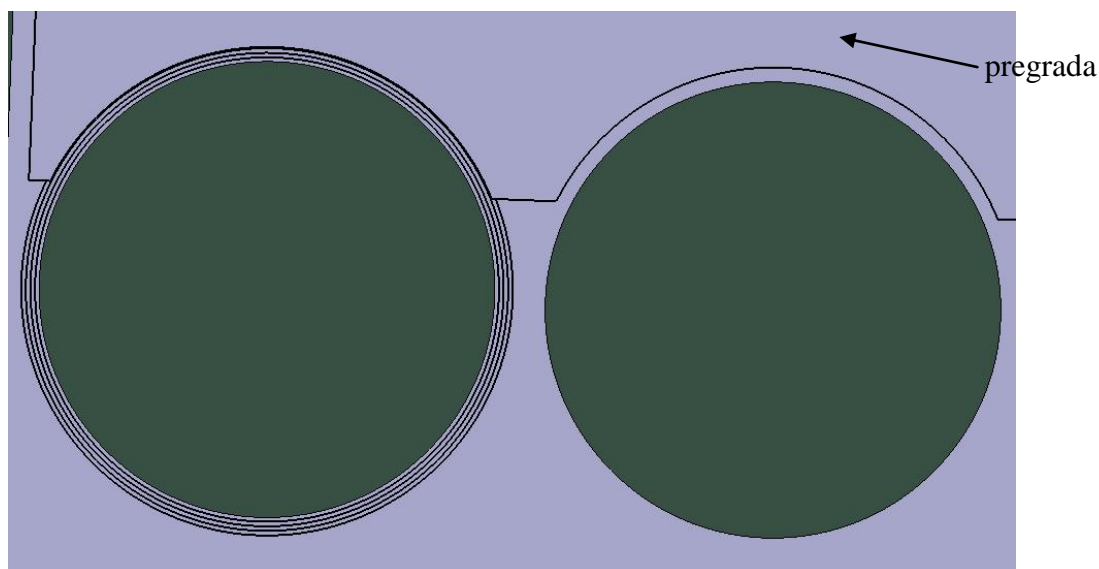
Tablica 5 Ocjenjivanje drobilica

Uvjeti	Centrifugalna drobilica	Drobnica s jednim valjkom	Drobnica s dva valjka
Potrebnost kalibratora	+	-	-
Protok	-	0	+
Buka	-	-	-
Jednostavnost izrade	+	+	+
Kvaliteta drobljenja	0	0	+
Podešavanje sile pritiska	+	+	+
$\Sigma$	1	1	2

Tablica 5 prikazuje ocjenjivanje drobilica za lješnjake te je prema ocjenjivanju odabrana drobnica s dva valjka. Takva drobnica ima najveću brzinu drobljenja i može se uporabom stupnjevanog valjka drobiti više kalibraža odjednom. Slika 42 prikazuje CAD model odabrane drobnice i oblik valjaka. Lijevi valjak istog je promjera cijelom duljinom, a desni je stupnjevan kako je ranije spominjano. Valjak ima jednako stupnjeva koliko i kalibrator ima kalibraža radi što jednostavnijeg i kvalitetnijeg drobljenja. Kako se kalibraže ne bi miješale u drobnici, potrebno je postaviti pregrade koje se vide na a). Površina valjaka prikazana je na Slika 40.



Slika 42 a) odabrana drobnica s 2 valjka b) oblik valjaka



**Slika 43 Presjek valjaka drobilice**

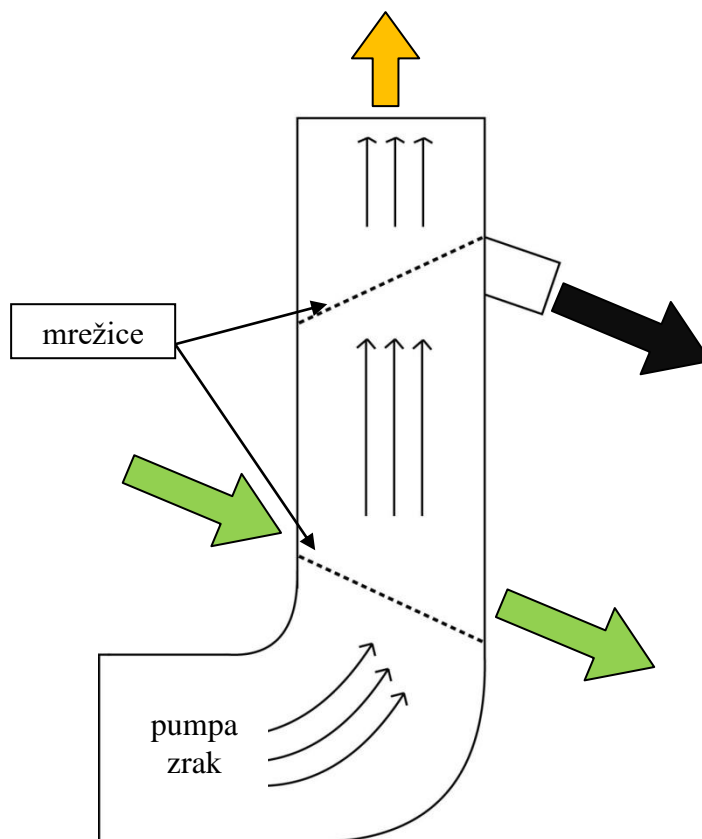
Slika 43 prikazuje presjek valjaka, lijevi valjak je stupnjevan a desni je jednakog promjera cijelom duljinom. Prikazana je i pregrada te se može uočiti kako je postavljena blizu valjaka kako se različite kalibraže lješnjaka ne bi miješale u drobilici.

#### **4.6. Sustav grubog odvajanja ljuski**

Sustavom grubog odvajanja ljuski, ljuska se od jezgri odvaja mehaničkim putem, koristeći jedino mehanička svojstva lješnjaka. Primjerice, korištenjem različitih gustoća jezgre i ljuske ili različitih oblika ljuske i jezgre. Takvi sustavi koriste ili zrak za odvajanje ili različite rupe na ploči lima kako bi ljuska propala a jezgra ostala.

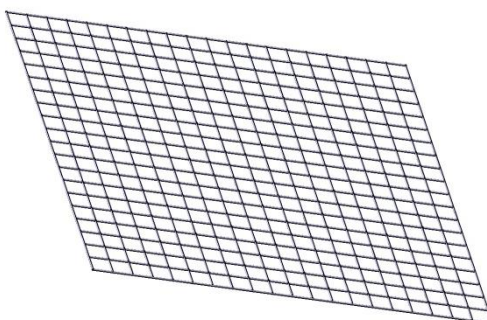
##### **4.6.1. Grubo odvajanje zrakom**

Budući da ljuska ovija jezgru lješnjaka, površina poprečnog presjeka jezgre je manja od površine poprečnog presjeka ljuske. Svi lješnjaci i ljuske ulaze na isto mjesto u zračnu sortirnicu te na sve djeluje isti tlak. Kako je tlak omjer sile i površine, na objekt veće površine djelovat će veća sila istim tlakom. Radi toga i manje gustoće, ljuska će se odvojiti prema gore, a lješnjaci će proći odvojeni od ljuske u velikom postotku. Velika prednost ovakvog sustava naspram ostalih je ta što odvodi prašinu van postrojenja te ju ne diže u zrak, za razliku od drugih rješenja.



**Slika 44** Shematski prikaz zračnog sustava grubog odvajanja ljuske

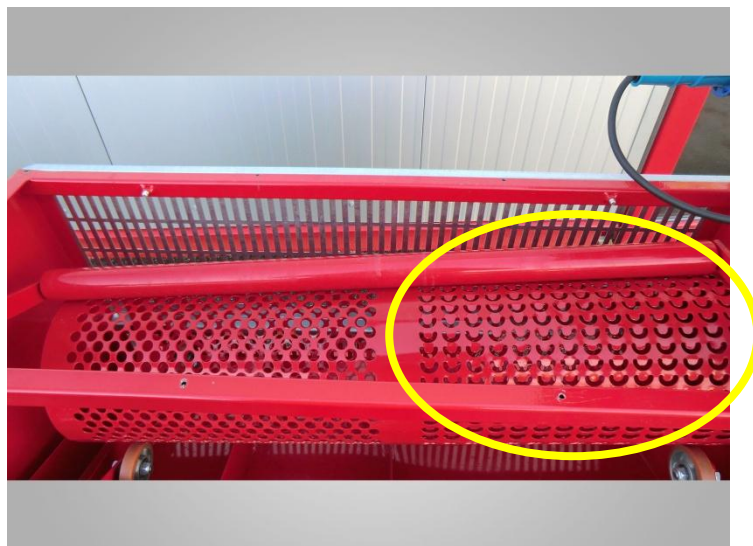
Slika 44 shematski prikazuje zračni sustav grubog odvajanja ljuske. Tanke strelice prikazuju smjer zračnih struja napravljenih pumpom. Zelene strelice prikazuju smjer kretanja lješnjaka i ljuski, na ulazu ljuske nisu nimalo odvojene, a na izlazu je većina ljuske odvojena. Ljuska ispada na mjestu crne strelice. Žuta strelica prikazuje izlaz struje iz stroja, te najsitnija prašina također tu odlazi. Mrežice su postavljene kako lješnjaci ili ljuska ne bi upadali u pumpu te uzrokovali kvar sustava, ali je postavljena i na gornjem dijelu kako bi se odvojena ljuska usmjerila prema izlazu. Slika 45 prikazuje mrežicu, razmaci  $a_z$  između žica su veoma mali (2x2 mm), kako lješnjaci ne bi propadali.



**Slika 45** Mrežica

#### 4.6.2. Grubo odvajanje bubnjem s rupama

Slično principu rada kalibratora s bubnjem, moguće je odvajati ljusku od jezgre lješnjaka. Dugački bubanj s posebnim rupama, prikazanim na Slika 46, koje podsjećaju na slovo u, odvajaju se ljuske od jezgre. Rupa u obliku slova u, ni u jednom dijelu nije veća od jezgre u bilo kojoj dimenziji. Vrtnjom bubnja mijenja se orijentacija jezgri i ljuski unutar bubnja, a kako su ljuske oblikom slične posudicama, propadaju kroz te rupe, a jezgra prolazi. Jezgra dolazi do dijela s okruglim rupama i tu propada kroz bubanj i pada u poseban koš. Problem ovakvih strojeva je što sve polovica propadaju kroz rupe i radi sporije od ostalih. Prostor koji zauzima znatno je veći nego ostali strojevi s istom zadaćom.



Slika 46 Grubo odvajanje ljuske bubnjem s rupama [17]

#### 4.6.3. Grubo odvajanje vibracijskim stolom

Odvajanje ljuski vibracijskim stolom također se sastoji od principa da ljuska prolazi kroz rupe dok jezgre prolaze dalje. Rupe nisu u obliku slova u kao u prethodno objašnjenom stroju, već su slični pravokutnicima male širine i velike duljine. Širina pravokutnika  $b$ , mora biti manja nego bilo koja dimenzija jezgre lješnjaka kako bi jezgra prošla dalje. Ljuska će, zbog svojih dimenzija nakon pucanja, propadati kroz rupe i tako se odvajati od jezgri. Slika 47 prikazuje jedan takav sustav odvajanja ljuski.



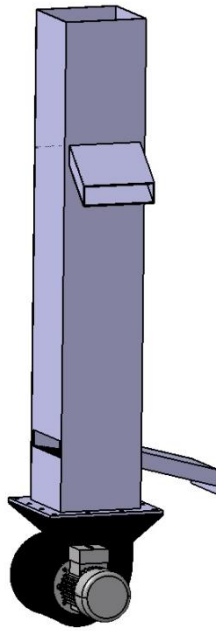
Slika 47 Vibracijski stol za grubo odvajanje ljuski [17]

#### 4.6.4. Ocjenjivanje varijanti grubog odvajanja ljuski

Tablica 6 Ocjenjivanje sustava za grubo odvajanje ljuski

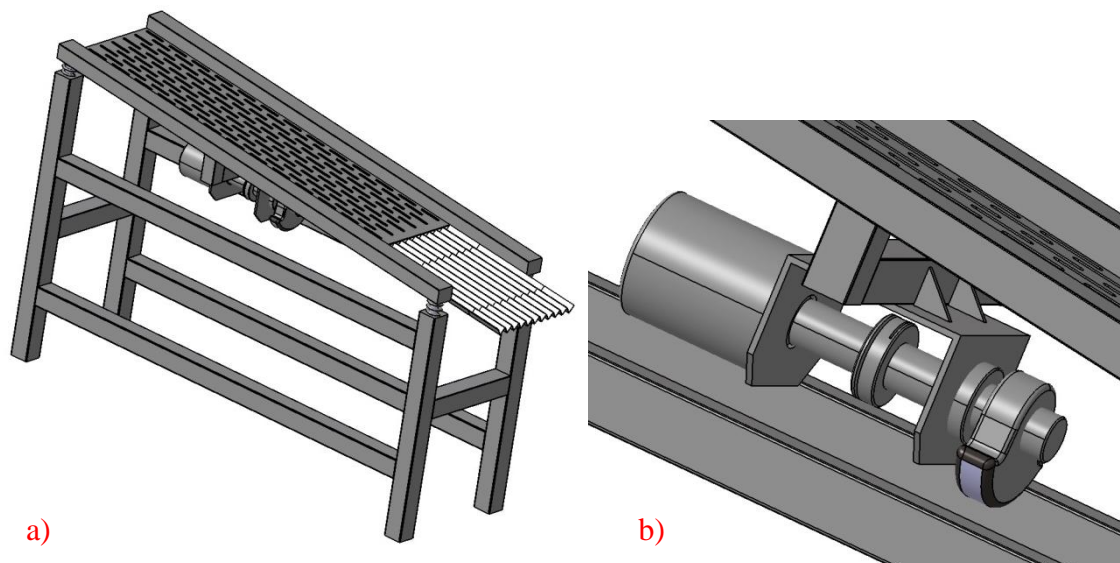
Uvjeti	Odvajanje zrakom	Odvajanje vibracijskim stolom	Bubanj s rupama
Kvaliteta	+	0	0
Protok	0	0	0
Buka	0	-	-
Jednostavnost izrade	+	+	-
Prašenje	+	-	-
Potreban prostor	+	+	-
$\Sigma$	4	0	-4

Ocjenjivanjem prikazanim u Tablica 6 najbolje rješenje za ovakvu sortirnicu je sustav koji koristi zrak za odvajanje ljuski. Ali radi problema 6) objašnjenog u poglavlju 3, uz zračno odvajanje ljuski, koristit će se i vibracijski stol za odvajanje ljuski kako bi se ti komadići odvojili od jezgri te se dodatno izbacile nečistoće.



**Slika 48 CAD model zračne sortirnice**

Slika 48 prikazuje CAD model zračne sortirnice, princip rada je opisan u 4.6.1. Slika 49 prikazuje vibrostol za grubo odvajanje ljuske. Limena ploča kojom će putovati lješnjaci, ima rupe izduženog profila kako bi se odvojile zalijepljene ljuske. Na kraju je dodana ploča s cik-cak uzorkom kako bi se lješnjaci fino poredali u linije radi lakšeg izdvajanja sustavom za fino odvajanje ljuske. Na b) je prikazan elektromotor koji na vratilu sadrži ekscentar. Sustav elektromotora i ekscentra je čvrsto povezan s gornjom pločom, a ta ploča je povezana oprugama za donji dio konstrukcije. Nastale vibracije uzrokovat će skakutanje lješnjaka po ploči te će se tim laganim udarcima ploda o ploču odvojiti zaostala ljuska od lješnjaka i time povećati kvaliteta čišćenja.



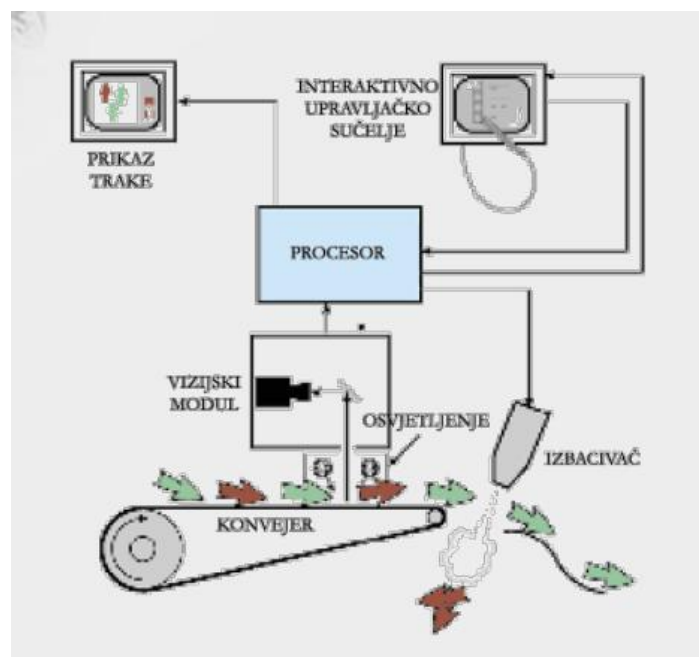
Slika 49 a) Vibracijski stol za grubo odvajanje ljuški b) elektromotor s ekscentrom

#### 4.7. Sustav finog odvajanja ljuški

Kako se mehaničkim načinima ne može postići uklanjanje sve ljuške (uglavnom ~90 – 95%), potrebno je dodati sustav finog odvajanja ljuški. Sustav finog odvajanja mora biti inteligentni tehnički sustav koji će svaki objekt na pokretnoj traci provjeriti i odlučiti što će biti učinjeno. Sustav pomoću nekog „senzora“ prima informacije te ih šalje računalu na daljnju obradu i odlučivanje što će biti sljedeća operacija. Unutar automatske sortirnice potrebno je konstruirati rješenje kako bi se lješnjaci dovodili do „senzora“ na točno mjesto, odnosno da dolaze u linijama do mjesta izbacivanja. „Senzor“ zapravo predstavlja sustav detekcije lješnjaka i ljuški. Sustav detekcije može biti vizijski sustav (prepoznavanje kamerom), ultrazvučni senzor ili laser. Literatura [18] daje uvid u korištenje ultrazvučnog senzora za kontrolu kvalitete u prehrambenoj industriji, a [19] korištenje infracrvene kamere za kontrolu kvalitete lješnjaka.

U sklopu ovog rada koristit će se vizijski sustav koji je opširnije opisan u sljedećem poglavlju. Slika 50 prikazuje shematski prikaz vizijskog sustava za kontrolu kvalitete proizvoda. Kamera u kontroliranim uvjetima snima traku i stanje na njoj, pomoću programa računalu odlučuje radi li se o dobrom komadu (zeleno) ili lošem (crveno). Ukoliko se radi o lošem komadu, računalu javlja izbacivaču te se taj komad izdvaja iz daljnje prerade.





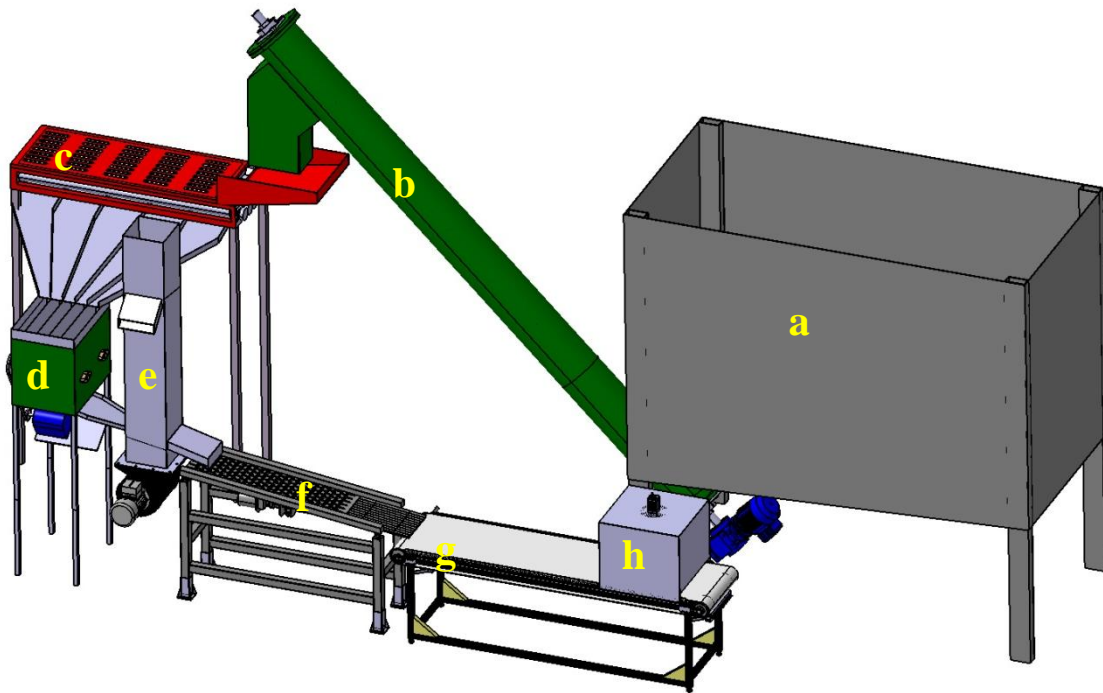
Slika 50 Shematski prikaz finog odvajanja ljuske vizijskim sustavom [20]

Kao izbacivač odabrana je mreža pneumatskih mlaznica, koje su upravljane ON/OFF ventilima. Računalom se šalje signal ventilima te se u određenom trenutku mlaznice pale na trenutak i tako se izdvajaju ljuske od jezgri.

Korištenjem ovakvog sustava izbacivanja ljuski, potrebno je osigurati da lješnjaci dolaze u točno određenim linijama kako bi se smanjio potreban broj ventila i mlaznica, te tako pojednostavnila izrada. Rješenje koje ne bi trebalo poredane lješnjake je korištenje SCARA robota koje odlikuje visoka brzina izvedbe, ali tada bi se cijena i izrada ovakvog sustava znatno povećale.

#### 4.8. Koncept automatske sortirnice

Nakon što su svi dijelovi automatske sortirnice odabrani pomoću programskog paketa CATIA v5r21, konstruirani su svi dijelovi već prikazani na kraju svakog odlomka u poglavlju, spojeni u sklop te prikazani na Slika 51. Svi dijelovi trake opisani su detaljno i dan je CAD model istih u ranijim odlomcima. Jedino sustav finog odvajanja nije detaljno opisan u odlomku ranije, već je opisan u 5.



Slika 51 CAD model automatske sortirnice lješnjaka  
a – skladišni box, b – pužni transporter, c – kalibrator, d – drobilica, e – zračna sortirnica  
f – vibracijski stol, g – trakasti transporter, h – kućište vizijskog sustava

## 5. SUSTAV OPTIČKOG NADZORA KVALITETE ČIŠĆENJA

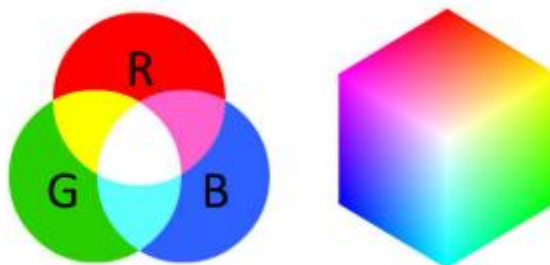
### 5.1. Računalni vid

Računalo sliku prikazuje pomoću piksela. Pikseli su najmanji detalj svake slike te opisuju intenzitet boje na toj lokaciji. Svaka slika sastoji se od mnoštva piksela, primjerice ukoliko je rezolucija slike 100 x 100 (100 piksela širine i 100 piksela visine) tada se slika sastoji od 10000 piksela. Piksel može biti predstavljen ili sivim tonovima ili u boji. Ukoliko je predstavljen sivim tonovima tada poprima vrijednost između 0 i 255, gdje 0 predstavlja crnu boju, a 255 predstavlja bijelu boju. Slika 52 prikazuje prostor sivih tonova na kojem se vide vrijednosti piksela i pripadajući prikaz u tom prostoru.



Slika 52 Prostor sivih tonova [21]

Prikazivanje piksela u boji nije skalarna vrijednost kao što je to u prostoru sivih tonova, već se kombinira više kanala kako bi se prikazala željena boja, najčešći prostori boja za prikaz piksela u boji je RGB prostor boja (Slika 53). RGB (red, green, blue) prostor daje vrijednost piksela kombinirajući intenzitete crvene, zelene i plave boje, vrijednosti intenziteta su od 0 do 255. U tom prostoru piksel može poprimiti  $256^3 = 16\,777\,216$  različitih boja. Prikaz boje daje se s 3 vrijednosti kako je rečeno, npr. bijela boja (255, 255, 255), crvena (255, 0, 0).



Slika 53 RGB prostor boja[21]

Tako predstavljene slike unutar memorije računala prikazuju se matricama, a kako bi značajke za prepoznavanje objekata što kvalitetnije bile izvučene iz slike, potrebno je slike filtrirati.

Filtriranje slika predstavlja primjenu računске funkcije na susjedstvu svake pozicije u matrici. Filtriranjem slika poboljšava se prikaz slike (smanjenje šuma, smanjivanje, povećavanje slike, povećanje kontrasta na slici...), izvlače se informacije iz slike (pronalažak tekstura, rubova, regija...) te se pronalaze uzorci (*engl. Template matching*). Opširno opisani u literaturi [22]

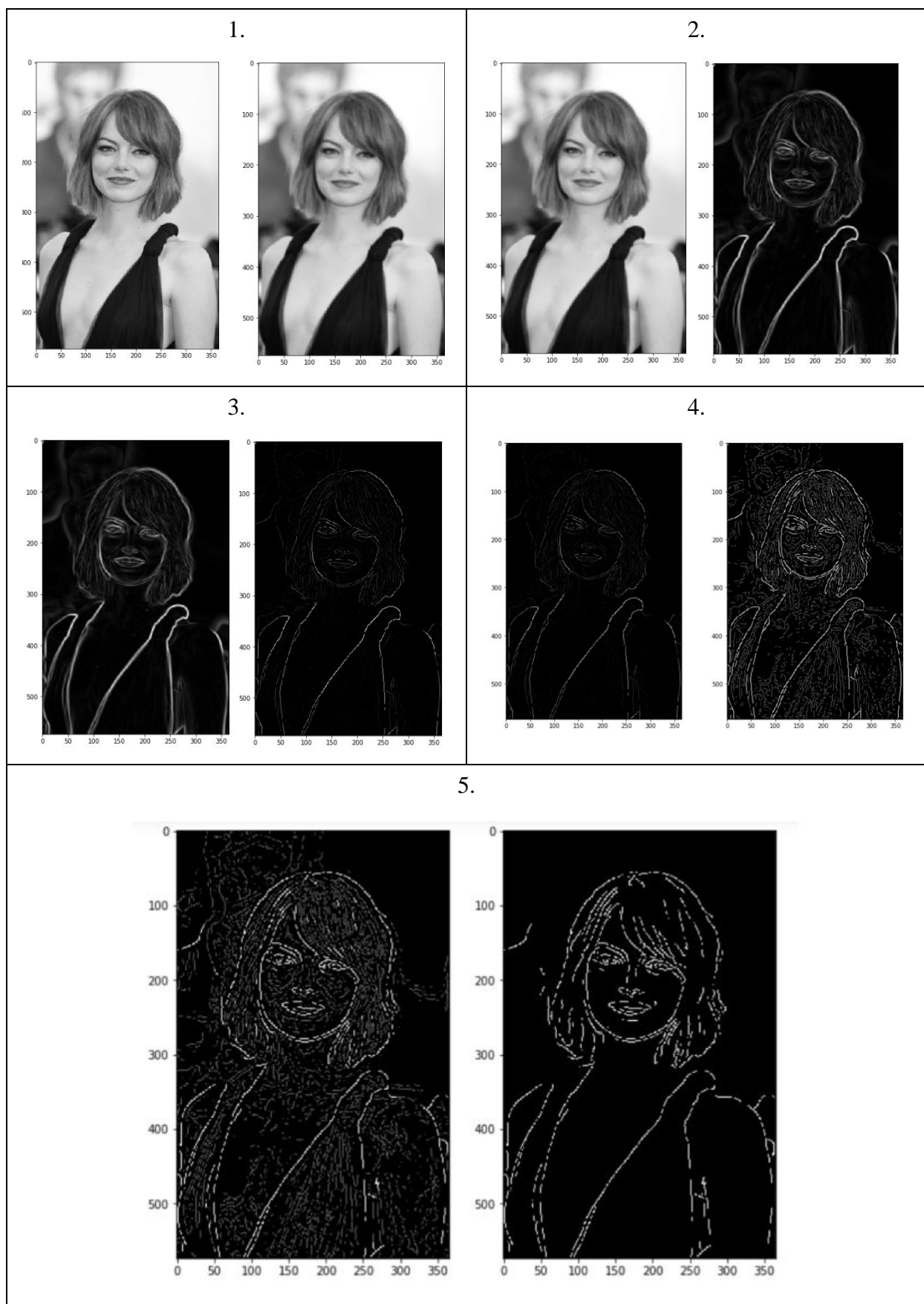
Za potrebe ovog rada najbitnija funkcija jest pronalaženje rubova na slici i crtanje histograma slike.

### 5.1.1. *Pronalažak rubova na slici*

Najviše kontekstualnih informacija na slikama nalazi se na rubovima te su osnovni alat obrade slika s ciljem detekcije i izdvajanja značajki. Detekcija rubova uključuje skup matematičkih metoda za pronalažak točaka na području gdje dolazi do nagle promjene intenziteta, te točke su uglavnom organizirane u krivulje koje čine rubove. Rubovi na slici rezultat su raznih površinskih diskontinuiteta predmeta, diskontinuiteta dubina površina, diskontinuiteta boja i diskontinuiteta osvjetljenja [20]. Najčešće korišten operator detekcije rubova je *Canny edge detector*. *Canny edge detector* algoritam sastoji se od 5 koraka i to redom:

1. smanjenje buke Gaussian filterom – detekcija rubova je uglavnom bazirana na derivacijama te su rezultati osjetljivi na buku koju je potrebno ukloniti. To se postiže Gaussian filterom primjenom kojega se slika zaglađuje, odnosno uklanjaju se visoke frekvencije sa slike.
2. Računanje gradijenta Sobel filterom – korištenjem filtera za računanje gradijenta u smjerovima x i y slike. Promjene intenziteta u oba smjera se zbrajaju te se dobiju rubovi slike. Dobiveni rubovi nisu istih debljina i intenziteta.
3. *Non maximum supression* metoda – nakon koraka 2. svi rubovi nisu jednake debljine (želimo da su što tanji) i intenziteta. Ovom metodom smanjuje se debljina pronađenih rubova.
4. *Double threshold* metoda – ovom metodom odbacuju se pronađeni rubovi koji nemaju utjecaja na rub.
5. Funkcija histereze – dodatno se ovom metodom odbacuju pikseli koji nemaju utjecaja na rub te se dobije rezultatna slika pronalaska ruba [23].

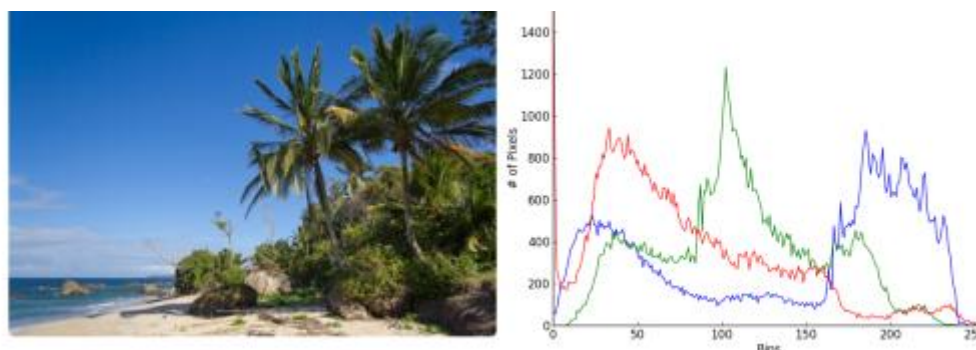
Tablica 7 prikazuje opisane korake filtera, lijeva slika svakog koraka je prije filtriranja, desna slika je nakon filtriranja.

Tablica 7 Prikaz koraka *Canny edge detection* algoritma [23]

Bitno je naglasiti kako algoritam koristi slike sivih tonova, te je potrebno konvertirati sliku u sive tonove prije primjene algoritma.

### 5.1.2. Histogrami

Histogram predstavlja distribuciju intenziteta piksela, sivih tonova ili u boji, na slici. Prikazivani su grafovima s brojem piksela svakog intenziteta. Apscisa se dijeli na 256 dijelova (jer pikseli imaju vrijednosti 0-255), a ordinata predstavlja broj piksela s tim intenzitetom. Slika 54 prikazuje histogram slike za sva tri kanala RGB prostora boja.



Slika 54 Histogram s prikazom R, G i B kanala [24]

## 5.2. Izrada baze podataka

Prilikom izrade algoritama učenja potrebno je izraditi bazu podataka koja sadrži raspoređene slike lješnjaka i ljusti. Prije nego se krene slikati, potrebno je obratiti pažnju na osvjetljenje, pozadinu i udaljenost slikanja. Kako bi bilo moguće izvući što je više značajki promatranih lješnjaka, potrebno je osigurati da svijetlo pruža cijeli spektar boja, stoga je odabrano bijelo svijetlo koje se nalazi iza kamere. Budući da su lješnjaci smeđe boje, a ljusta ili tamnija ili svjetlija od jezgre, odabrana je bijela boja kao pozadina i s takvim svojstvom da što manje reflektira svjetlost kako bi se dobili što točniji rezultati. Udaljenost slikanja baze podataka jednaka je udaljenosti koja će se kasnije koristiti u automatskoj sortirnici te je udaljenost jednaka prilikom slikanja svih slika baze podataka. Udaljenost također ovisi i o fokusu kamere. Baza podataka napravljena je samo za lješnjake i ljuste jer se raznim operacijama u automatskoj traci osigurava da do sustava za fino odvajanje dolaze samo jezgre lješnjaka i zaostale ljuste. Uvjeti su isti kao i prilikom slikanja baze podataka, odnosno osvjetljenje i udaljenost uvijek su isti te je pozadina uvijek bijela. Algoritam za izradu baze podataka i detekciju lješnjaka napravljen je pomoću Python programskog paketa.

Bitno je napomenuti da su prilikom izrade baze podataka korišteni lješnjaci svih veličina sorti Rimski i Istarski duguljasti te je izrađena i baza podataka ljuški. Baza svake klase sastoji se od 2000 slika. Koraci prilikom izrade baze podataka:

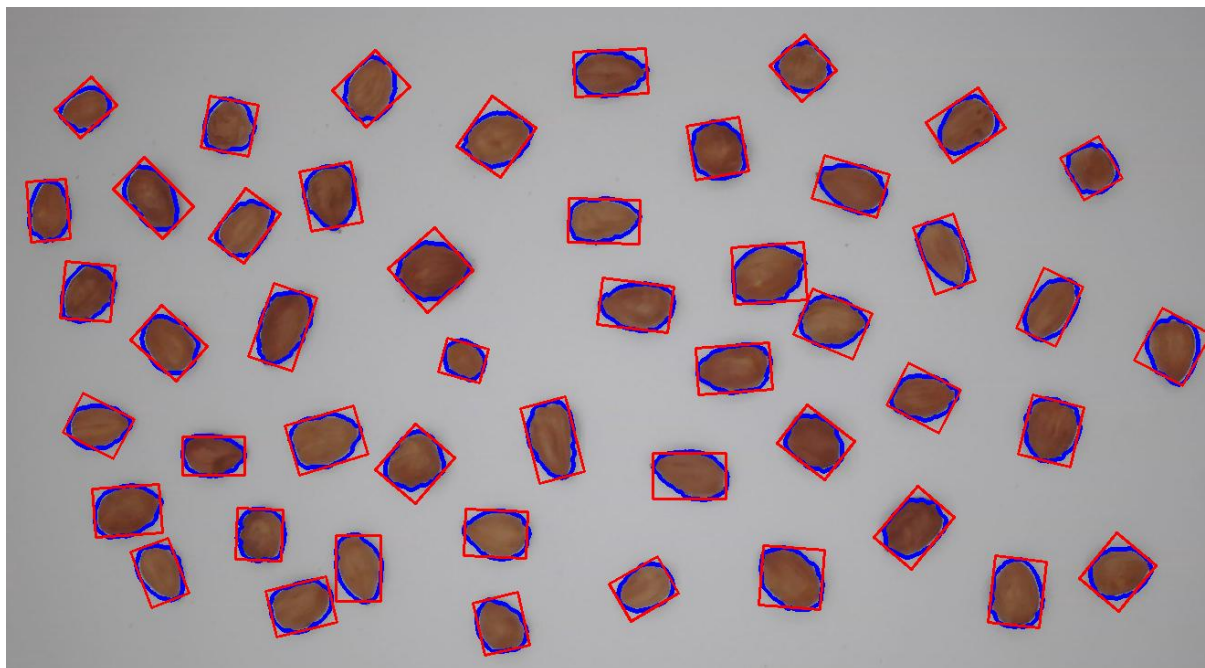
1. Slikanje grupnih slika lješnjaka i ljuški – algoritam za slikanje grupnih slika veoma je jednostavan. Radi tako da uzima sliku s kamere u videu kako bismo provjerili je li kvaliteta slike dobra te pritiskom tipke sprema se trenutna slika s kamere u određenu mapu.



**Slika 55** Grupna slika lješnjaka

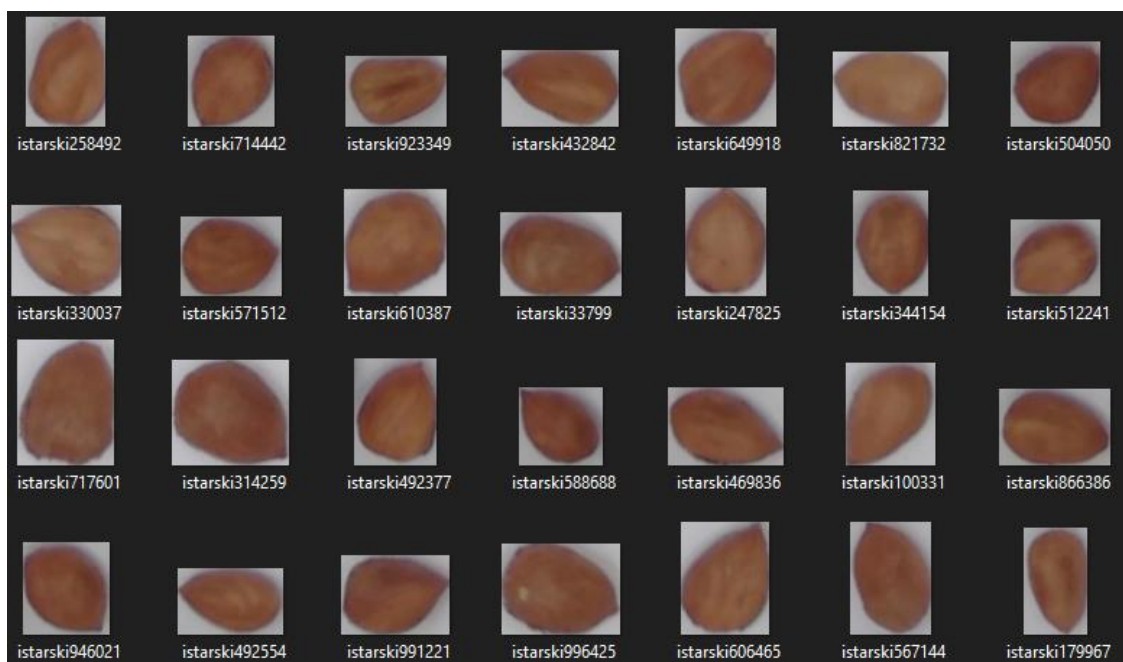
2. Odvajanje svakog lješnjaka i ljuške kao zasebne slike te razvrstavanje prema sorti. Kako bi se svaki lješnjak na slici prepoznao, potrebno je pronaći rubove. Pomoću *Canny edge detection* algoritma, pronalaze se rubovi na slici te se crtaju konture na mjestima rubova kako bi bilo vidljivo što je program prepoznao. Kako su slike pravokutnog oblika potrebno je napraviti pravokutnik oko lješnjaka radi spremanja svakog zasebno. Crta se pravokutnik najmanje površine oko konture te se ta slika izrezuje s grupne slike i odlučuje se gdje se sprema. Slika 56 prikazuje grupnu sliku na kojoj su konture lješnjaka prepoznate i označene plavom bojom, a pravokutnici najmanjih površina nacrtani su crvenom bojom oko lješnjaka.





**Slika 56 Pronađeni lješnjaci na grupnoj slici**

3. Spremanje zasebnih slika. Nakon što su lješnjaci prepoznati, potrebno ih je spremati u mape tako da jednu mapu čine Rimski, drugu Istarski lješnjaci i treću čine ljuske. Potrebno je svakoj slici dati drugačiji naziv, stoga se daje naziv klase i dodaje se na to nasumični broj između 1 i milijun. Slika 57 prikazuje jednu takvu mapu za klasu Istarskih lješnjaka.



**Slika 57 Istarski lješnjaci razvrstani u mapi**

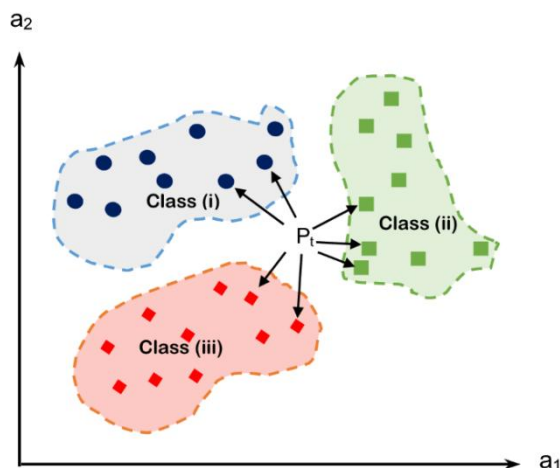
### 5.3. Strojno učenje

Strojno učenje je programiranje računala na način da optimiziraju neki kriterij uspješnosti temeljem podatkovnih primjera ili prethodnog iskustva (Alpaydin 2009). Strojno učenje koristi se radi rješavanja složenih problema (ne postoji ljudsko znanje procesa ili problemi koje nije moguće riješiti klasičnim načinom), pronalaženja znanja u skupovima podataka te za prilagodbe sustava. Nasuprot tradicionalnom programiranju gdje se računalu daju algoritam i ulazni podaci i dobiju izlazni podaci, kod strojnog učenja se računalu daju podaci ulaza i izlaza te se kao rješenje dobije program. Glavni modeli učenja su nadgledano, nenadgledano i polunadgledano učenje. U slučaju nadgledanog učenja, daju se ulazni i izlazni podaci te algoritam pokušava naučiti uzorke tako da se ulazni podaci mogu povezati željenim izlaznim podacima. Modeli nenadgledanog učenja pokušavaju pronaći uzorke bez danih izlaznih podataka prilikom treninga, pronalaze se klasteri i uzorci za raspoznavanje. Podaci za trening polunadgledanog učenja sadrže podatke s labelama i veću količinu podataka bez labela. Korištenjem strojnog učenja za klasifikaciju slika je da se iz danih baza podataka (velike količine slika) nauče uzorci koji mogu biti korišteni za prepoznavanje objekata na slici.

Za prepoznavanje lješnjaka napravljeno je nekoliko modela učenja i dani su rezultati tih modela [20][21].

#### 5.3.1. *k*-NN model učenja

*k*-NN (*engl. k-Nearest Neighbour*) najjednostavniji je algoritam strojnog učenja i klasifikacije slike. Osnovna pretpostavka je da se podaci iz iste klase nalaze jedni blizu drugih u *n*-dimenzionalnom prostoru. Primjeri prostora su nekakve osobine (*engl. features*) te se ovisno o njima podaci raspoređuju. Slika 58 prikazuje *k*-NN klasifikator. Osobine vezane uz podatke nalaze se na apscisi i ordinati, ovisno o osobinama podaci se raspoređuju. Određivanjem tzv. hrpa sličnih podataka, definiraju se klase (na slici i, ii, iii). Smještanjem nekog novog podatka u prostor, određuje se pripadnost tog podatka nekoj klasi računanjem udaljenosti od najbližih susjeda. Na slici P<sub>1</sub> je smješteni podatak i strelicama su prikazani *k* najbliži susjedi [21].



Slika 58 Primjer k-NN klasifikatora [20]

Korištenjem slika kao ulaz u k-NN klasifikator, potrebno ih je svesti na iste dimenzije. Prednost ovakvih algoritama je u jednostavnosti implementacije i razumijevanja, ali je vrijeme klasifikacije veliko jer se uspoređuje sa svim podacima iz baze podataka.

Za potrebe rada primijenjen je k-NN klasifikator sa slikom kao ulazom i s histogramom kao ulazom. Slika 59 prikazuje točnost k-NN klasifikatora ukoliko se koriste 3 klase (Istarski, ljuska, Rimski) za razvrstavanje, korištenjem odlučivanja s jednim najbližim susjedom (povećanjem susjeda točnost se smanjivala). Dani su rezultati korištenjem slike i histograma kao ulaza te veličine matrica. Točnost korištenjem slike kao ulazom nešto je manja nego točnost histogramima, a matrica značajki znatno se smanji korištenjem histograma jer nose manje nepotrebnih podataka.

```
[INFO] pixels matrix: 17.66MB
[INFO] features matrix: 11.77MB
[INFO] evaluating raw pixel accuracy...
[INFO] raw pixel accuracy: 73.17%
KNeighborsClassifier(n_jobs=-1, n_neighbors=1)
[INFO] evaluating histogram accuracy...
[INFO] histogram accuracy: 73.51%
```

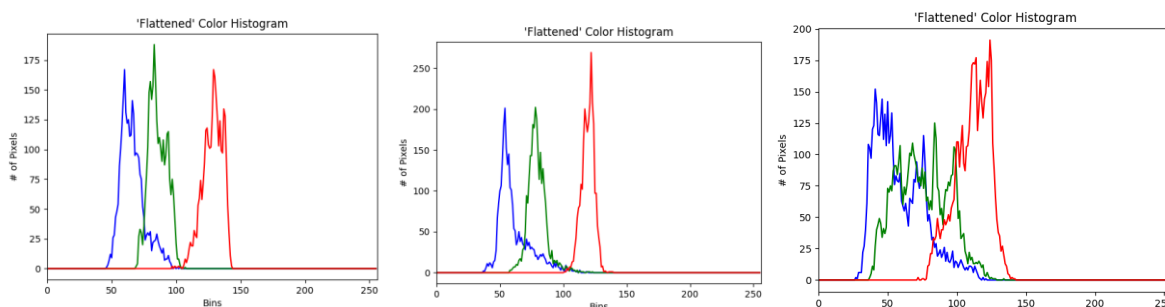
Slika 59 Točnost k-NN korištenjem 3 klase razvrstavanja

Slika 60 prikazuje točnost k-NN klasifikatora ukoliko se koriste 2 klase (lješnjak i ljuska). Postignute su znatno veće točnosti nego s 3 klase. Razlog tomu je što su Istarski lješnjak i Rimski veoma slični jedan drugome te klasifikator griješi prilikom odlučivanja. Radi jasnijeg prikaza te sličnosti i različitosti od ljuške, dani su histogrami na

```
[INFO] pixels matrix: 18.02MB
[INFO] features matrix: 12.01MB
[INFO] evaluating raw pixel accuracy...
[INFO] raw pixel accuracy: 85.55%
KNeighborsClassifier(n_jobs=-1, n_neighbors=1)
[INFO] evaluating histogram accuracy...
[INFO] histogram accuracy: 92.48%
```

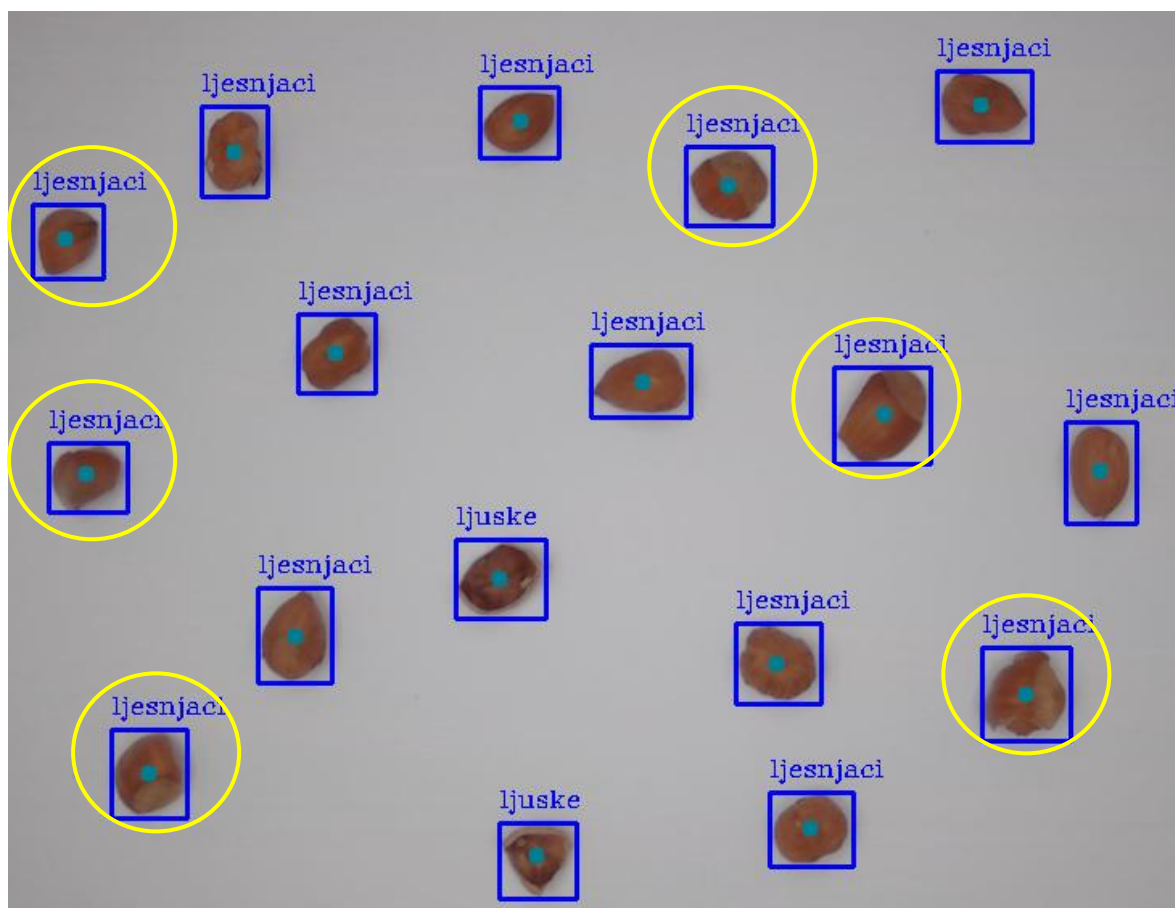
**Slika 60 Točnost k-NN korištenjem 2 klase razvrstavanja**

Slika 61 prikazuje histograme Istarskog i Rimskog lješnjaka te ljsuske. Vidljiva je sličnost lješnjaka te razlika od ljsuske. Radi toga su točnosti k-NN modela veće korištenjem histograma nego korištenjem slika kao ulazom u model.



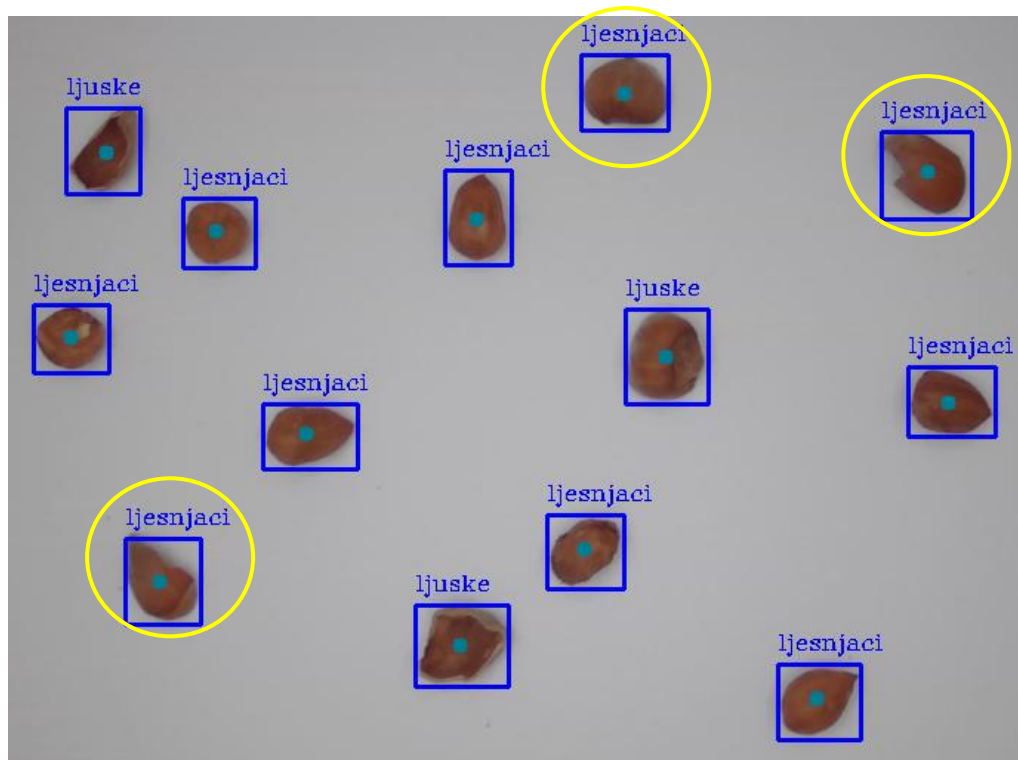
**Slika 61 Prikaz histograma Istarski lješnjak (lijevo), Rimski lješnjak (sredina), ljsuska (desno)**

Slika 62 prikazuje zamišljenu i realiziranu aplikaciju s k-NN modelom koji koristi slike kao ulaz te razvrstava u 2 klase (lješnjaci i ljsuske). Unutar aplikacije potrebno je prvo pronaći sve konture koje odgovaraju lješnjaku ili ljsusci ranije opisanim *Canny edge detector*-om. Zatim je potrebno nacrtati pravokutnik oko kontura i odlučiti kojoj klasi pripada taj objekt. Točnost dobivena treniranjem modela je 85,55% kao što to prikazuje Slika 60. Ta točnost odnosi se i na lješnjake i na ljsuske, na Slika 62 točnost je ~71%. Točnost modela odnosi se na točno prepoznavanje i lješnjaka i ljsuski te se na slici može uočiti kako su svi lješnjaci točno prepoznati, što znači da nijedan lješnjak ne bi bio odbačen ovakvim sustavom. Točnost prepoznavanja ljsuski ovim modelom na danoj slici je 25% (2/8), a lješnjaka 100%. Manja točnost prepoznavanja ljsuski je radi toga što neke ljsuske, kad puknu, poprime oblik lješnjaka, a bojom se ne razlikuju puno od jezgre. Ovaj model je najlošiji te neće biti dalje korišten. Krivo prepoznati objekti zaokruženi su na slikama. Također na slikama je kružićem nacrtano težište objekta koje bi bilo korišteno za računanje trenutka ispuhivanja lješnjaka. Slika 1



**Slika 62** Prepoznavanje unutar aplikacije k-NN modelom sa slikom kao ulazom

Slika 63 prikazuje prepoznavanje unutar aplikacije s k-NN modelom koji koristi histograme kao ulaz te razvrstava u 2 klase. Kako je opisano za model ranije, također je potrebno pronaći konture te nacrtati pravokutnike i pomoću modela odlučiti kojoj klasi pripada. Prema Slika 60 dobivena točnost treniranjem ovakvog modela iznosi 92,48%, što je veća nego za k-NN model koji koristi slike za ulaz. Na slici ispod prikazane su predikcije ovakvog modela koja nije sudjelovala u treniranju modela i može se uočiti kako je i kao k-NN model koji koristi slike za ulaz, točnost prepoznavanja lješnjaka 100%. Ta točnost znači da nijedan lješnjak neće biti krivo razvrstan, odnosno bačen u smeće, ali točnost prepoznavanja ljuske je također manja. Točnost na danoj slici za prepoznavanje ljuske iznosi 50% (3/6). Sveukupna točnost modela za danu sliku je 77%, što bi se povećalo da je više lješnjaka na slici kao u prethodnom primjeru.

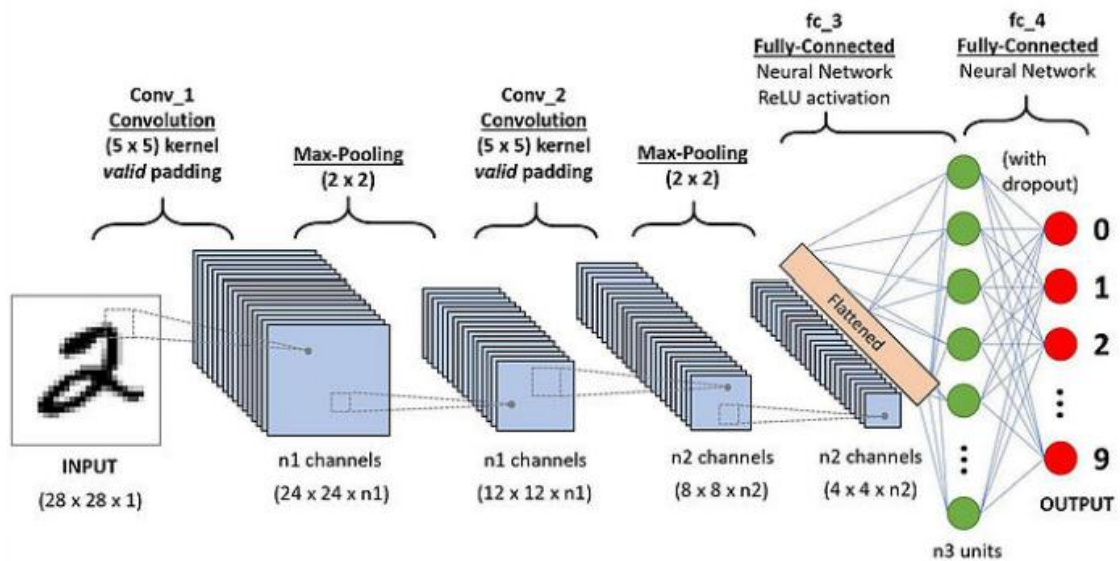


Slika 63 Prepoznavanje unutar aplikacije k-NN modelom sa histogramom kao ulazom

### 5.3.2. Konvolucijska neuronska mreža

Konvolucijska neuronska mreža (CNN) je neuronska mreža koja, za razliku od klasičnih neuronskih mreža, ne koristi potpuno umrežene slojeve, nego samo posljednjih nekoliko je potpuno umreženo te je barem jedan sloj konvolucijski. Svaki sloj sadrži barem jedan tip filtera (kernela). Tokom učenja mreža sama uči vrijednosti filtera što dovodi do zaključka da je sposobna sama pronaći rubove i značajke na slici. Zadaća konvolucijske neuronske mreže je da smanji slike u formu koja je lakša za procesiranje bez gubitka značajki važnih za dobra predviđanja. Ime konvolucijskih mreža proizlazi iz konvolucije što označava prelazak filtera preko slike prostorno računajući dot produkt. Slika 64 prikazuje shemu konvolucijske neuronske mreže za prepoznavane brojeva. Na slici su samo posljednja dva sloja potpuno umrežena, dok ostali nisu.

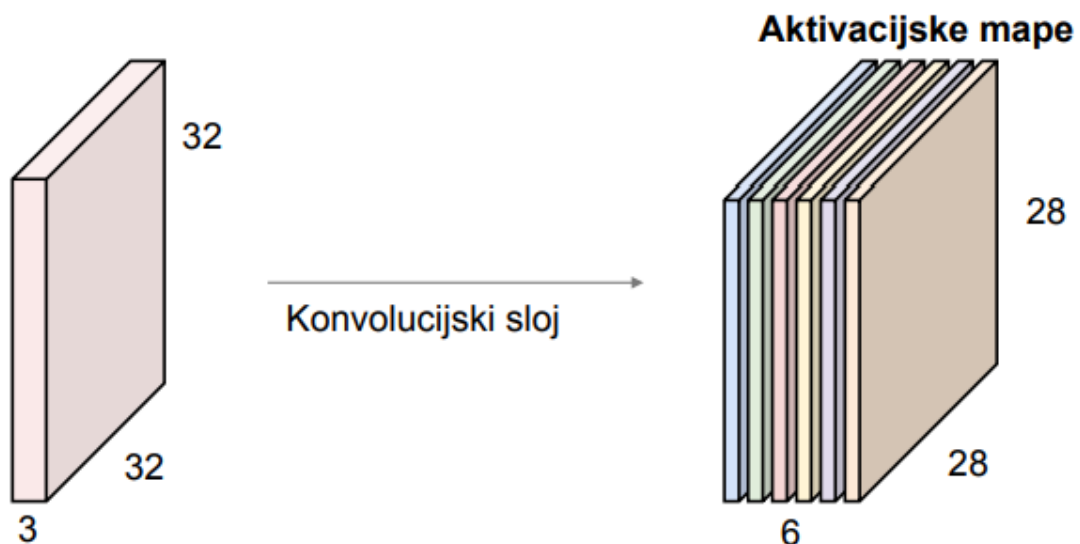




Slika 64 Shematski prikaz konvolucijske neuronske mreže [20]

Slojevi konvolucijskih mreža:

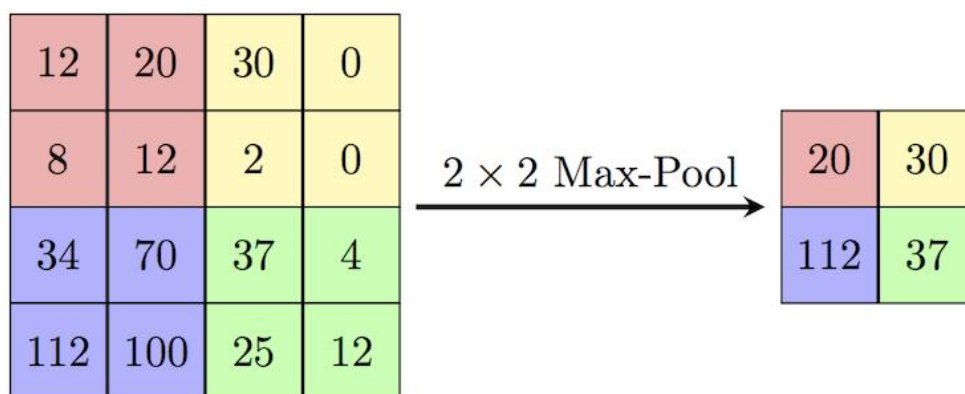
- a) Konvolucijski sloj – prelaskom  $K$  konvolucijskih filtera (dimenzija relativno malih naspram slike) preko slike dobije se dvodimenzionalni izlaz – aktivacijska mapa. Primjenom svih filtera dobije se mapa s dubinom jednakom broju filtera. Slika 65 prelaskom filtera  $5 \times 5 \times 3$  preko slike, dobiju se aktivacijske mape veličine  $28 \times 28 \times 1$ . Na slici je dubina mapa 6 zato što se prošlo s 6 različitih konvolucija.



Slika 65 Prikaz konvolucijskog sloja [20]



- b) Aktivacijski sloj – nakon konvolucijskog sloja nalazi se aktivacijski koji sadrži neku od aktivacijskih funkcija (step, sigmoidalna, ReLu). Ovi slojevi ne sadrže nikakve parametre učenja te slika nakon njih ne mijenja dimenzije.
- c) Pooling sloj (kontrakcijski) – sloj čini reprezentaciju manjom i boljom za upravljanje. Filterima malih dimenzija prelazi se preko slike i smanjuje veličina slike, jedan primjer filtera je max pooling. Na dijelu slike gdje se nalazi filter odabire se samo jedna veličina i to najveća te se ta vrijednost ostavlja i filter ide dalje. Slika 66 prikazuje max pooling sloj te se vidi da se dimenzija slike smanjila.



Slika 66 Prikaz max pooling sloja [20]

- d) Potpuno umreženi sloj (*engl. Fully Connected*) – sloj uzima ulazni sloj te vraća N dimenzijski vektor, gdje je N broj klasa iz kojih se bira vrijednost [20][21].

Za potrebe rada izrađena je konvolucijska mreža u Python programskom paketu.

Napravljena je jedna mreža s malim brojem slojeva, budući da su lješnjaci jednostavnog oblika i točno su određeni uvjeti i objekti koji dolaze. Slike nisu komplicirane kao recimo prepoznavanje lica i osoba u gomili. Također je napravljena jedna mreža s malo više slojeva.

Slika 67 prikazuje točnost konvolucijske mreže koja koristi jedan konvolucijski sloj, dva aktivacijska sloja te jedan potpuno umreženi sloj. Ovakav model ima visoku točnost prepoznavanja ljski što je jako bitno za ovaj rad, jer je najbitnije odvojiti ljske jedne od drugih. Sorte lješnjaka već su unaprijed odvojene, ali se uvijek može pronaći poneki Rimski u Istarskima i obrnuto. Točnost prepoznavanja ljske iznosi 98%, a taj postotak je odvajanje preostale ljske nakon grubog odvajanja. Problem se javlja prilikom prepoznavanja lješnjaka koji mogu završiti u otpadu. Time bi se kvaliteta automatske sortirnice povećala do 99% što je izrazito visoka točnost.

```
[INFO] evaluating network...
```

	precision	recall	f1-score	support
istarski	0.92	0.79	0.85	482
ljuska	0.98	0.95	0.97	480
rimski	0.81	0.94	0.87	510
accuracy			0.90	1472
macro avg	0.91	0.90	0.90	1472
weighted avg	0.90	0.90	0.90	1472

**Slika 67** Prikaz točnosti konvolucijske mreže s manje slojeva

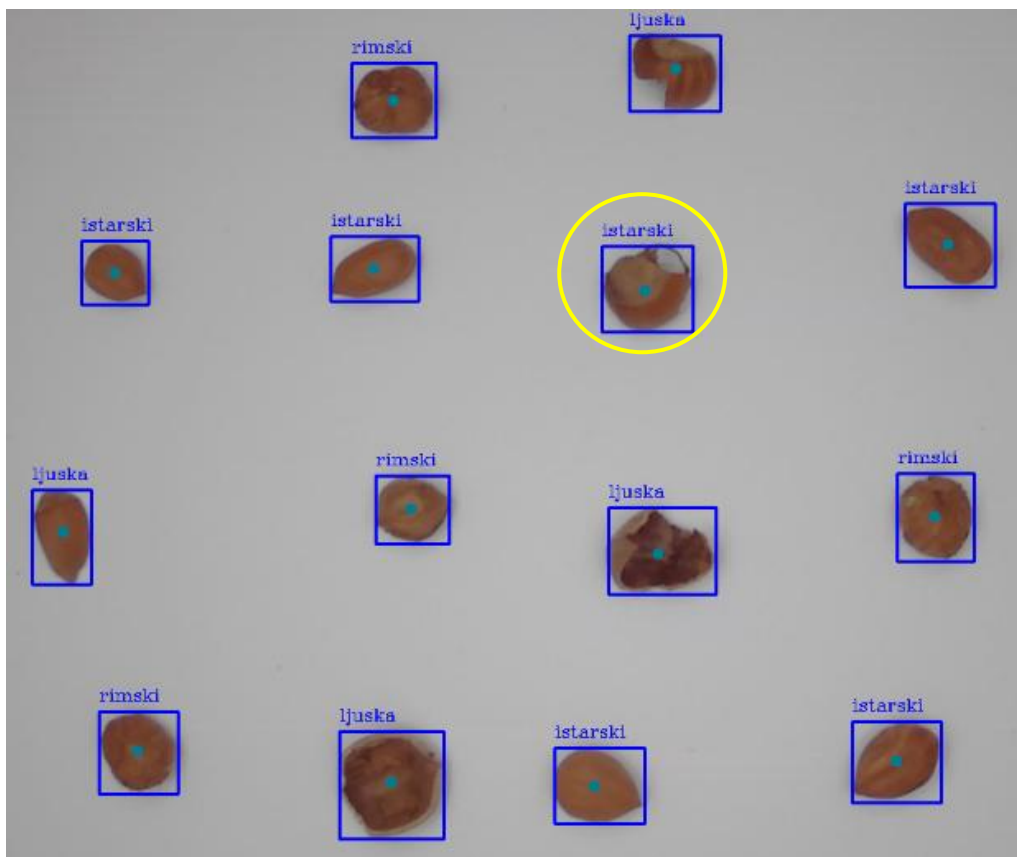
Mreža s više slojeva sastoji se od 3 konvolucijska sloja, 2 kontrakcijska, 3 aktivacijska i jedan potpuno umreženi sloj. Ovakav tip klasifikatora daje nešto veću ukupnu točnost (93%), prepoznavanje ljuski gotovo je isto kao u prethodnom slučaju, ali povećava se točnost prepoznavanja između sorti lješnjaka. U prilogu su dani grafovi funkcija gubitka i točnosti validacije mreže. Problem mreže se javlja prilikom određivanja kojoj sorti lješnjaka pripada, pogotovo sorte Istarski duguljasti, gdje je tokom validacije modela, točnost prepoznavanja te sorte iznosio 86%.

	precision	recall	f1-score	support
istarski	0.86	0.94	0.90	482
ljuska	0.97	0.98	0.97	492
rimski	0.94	0.85	0.90	498
accuracy			0.92	1472
macro avg	0.93	0.92	0.92	1472
weighted avg	0.93	0.92	0.92	1472

**Slika 68** Prikaz točnosti mreže s više slojeva

Budući da konvolucijska mreža iz slike izvlači više značajki, odabrano je da model razvrstava 3 klase. Prikaz prepoznavanja unutar aplikacije, dan je na Slika 69. Sliku je također potrebno odraditi kao i za k-NN modele te nacrtati pravokutnike i odrediti kojim klasama pripadaju pronađeni objekti. Sveukupna točnost modela iznosi 93%, te je izrazito visoka točnost

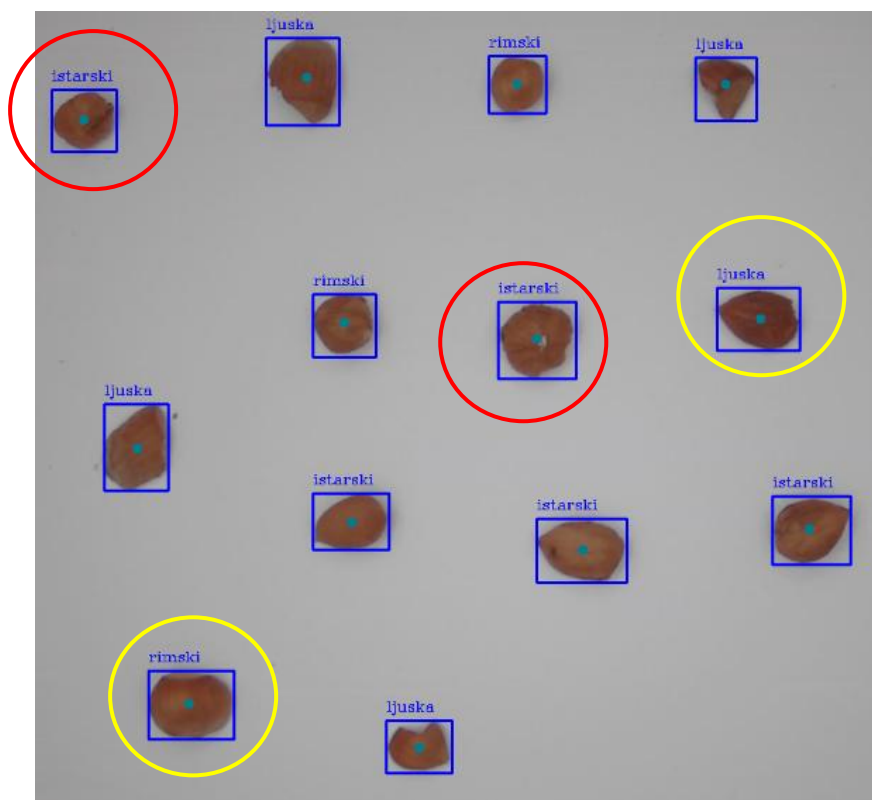
prepoznavanja ljuski. Na spomenutoj slici točnost prepoznavanja lješnjaka je 100% (kao i sorti lješnjaka). Točnost prepoznavanja ljuske iznosi 80% (4/5).



**Slika 69 Prepoznavanje unutar aplikacije CNN modelom**

Slika 70 prikazuje još jedan primjer korištenja CNN modela za fino sortiranje. Točnost prepoznavanja lješnjaka je 87,5% (7/8) te su sorte dobro prepoznate, a točnost prepoznavanja ljuske je 80% (4/5). Krivo predviđeni objekti zaokruženi su na slikama.

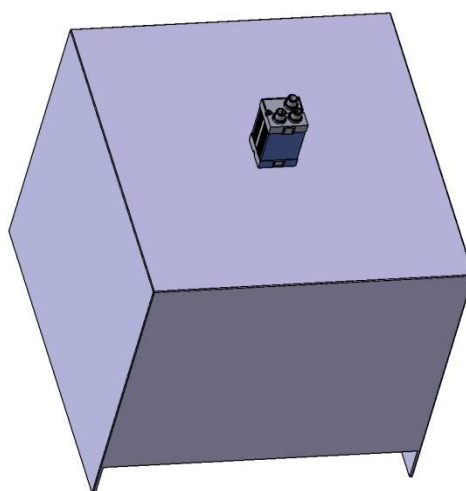
Još primjera za sve modele korištene u radu dano je u prilogu V. Dani su rezultati oba modela na istim slikama kako bi se moglo kvalitetno usporediti. Vidljivo je kako k-NN model ni na jednom primjeru ne prepoznaje lješnjake kriv, ali ima manju točnost prepoznavanja ljuski. CNN model prepoznaje ljuske znatno bolje od k-NN modela, ali se zna dogoditi da prepozna lješnjak kao ljusku što bi značilo bacanje dobrih lješnjaka u otpad. Krivo raspoređeni objekti zaokruženi su. Žuto zaokruženi prikazuje da je lješnjak prepoznalo kao ljusku (što predstavlja čisti gubitak novca) i ljusku prepoznatu kao lješnjak. Crveno zaokruženi su lješnjaci kojima je model prepoznao krivu sortu, što ne igra veliki problem jer će rijetko kad te dvije sorte biti pomiješane i sortirane zajedno, a i bitno je odvojiti ljusku od lješnjaka.



Slika 70 Prepoznavanje unutar aplikacije CNN modelom – primjer 2

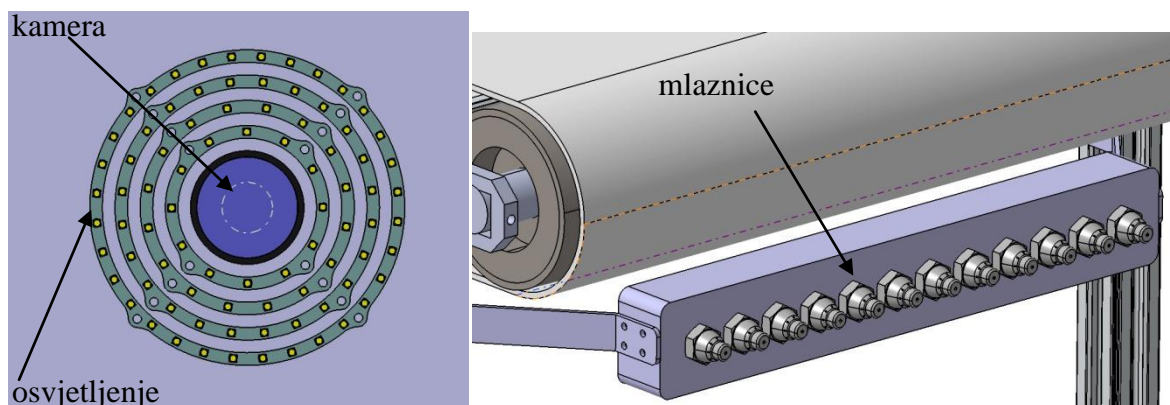
#### 5.4. Vizijska aplikacija

Za potrebe automatske sortirnice zamišljen je sustav koji će kamerom snimati lješnjake koji putuju trakastim transporterom kroz kućište za vizijski sustav. Slika 71 prikazuje zamišljeni sklop.



Slika 71 Prikaz sklopa kućišta, kamere i osvjetljenja

Osvjetljenje se nalazi iza objektiva kamere te je prikazano na Slika 72. Takvim položajem osvjtljenja uklanjaju se pojave sjena na slikama te bolji rad klasifikatora. Mlaznice se nalaze ispod pokretne trake, kako bi lješnjaci u padu bili odvajani od ljuski. Točno vrijeme okidanja svake mlaznice daje računalo. Kako bi se znao točan trenutak, potrebno je nadzirati brzinu vrtnje pokretne trake koje je moguće ostvariti apsolutnim enkoderom. Okidanjem mlaznica lješnjaci bi se izdvajali, a ljuske ravno propadale u odjeljak za smeće. Odabrano je da se odvajaju lješnjaci, a ne ljuske, iako je ljuski manje. Razlog za taj odabir je kako bi se zaostala prašina i kožica koja otpadne s lješnjaka odvojila od jezgri ploda. Vizijska aplikacija pronalazi lješnjake na slici i prilikom prolaska kroz određenu ravninu šalje se signal mlaznicama. Trenutak prolaska kroz ravninu je onaj trenutak kad težište lješnjaka prođe kroz tu ravninu. Težište lješnjaka se pronalazi prema površini konture unutar vizijske aplikacije.



Slika 72 Lijevo – položaj osvjtljenja, desno – mlaznice za ispuhivanje

## 6. ANALIZA URODA LJEŠNJAKA I KVALITETE SORTIRANJA

Za potrebe rada odrađena je analiza uroda, odnosno odrađena je analiza stroja za drobljenje i sustava za grubo odvajanje ljuski zrakom. Prvo su lješnjaci iskalibrirani na kalibratoru danim na Slika 33. Analiza je provedena na 100 kilograma lješnjaka sorte Istarski duguljasti i na 100 kilograma sorte Rimski. Rezultati ploda u ljusci dani su u Tablica 8 dane veličine su u kilogramima. Veličine kalibraža u mm dane su u tablici uz broj kalibraže. Kalibraže su svakog milimetra kako bi se drobilica mogla dobro namjestiti za što veću kvalitetu drobljenja lješnjaka.

**Tablica 8** Mase lješnjaka analiziranog dijela uroda, [kg]

Kalibraža	Istarski duguljasti	Rimski
<b>prva (minimalna) (&lt;13)</b>	0,667	0,69
<b>druga (&lt;15)</b>	0,933	0,93
<b>treća (&lt;16)</b>	2,744	2,708
<b>četvrta (&lt;17)</b>	9,3	8,855
<b>peta (&lt;18)</b>	18,033	16,289
<b>šesta (&lt;19)</b>	44,278	43,398
<b>sedma (maksimalna) (&gt;19)</b>	24,089	27,13
$\Sigma$	100,044	100

Tablica 9 prikazuje dobivene mase jezgri lješnjaka iz analiziranog dijela uroda. Također su dani postoci jezgre naspram uroda u ljusci. Iz tablica se može uočiti kako je u urodu najveći udio veličine lješnjaka koji imaju najmanju dimenziju između 18 i 19 mm. Unutar vizijske aplikacije zamišljeno je da se uzimaju površine lješnjaka te tako ocjeni kvaliteta uroda. Problem te metode je što debljina lješnjaka nije proporcionalna veličini, te se takvi rezultati ne bi mogli kvalitetno iskoristiti.

Tablica 9 Mase jezgri lješnjaka dobivenih iz analiziranog dijela uroda, [kg]

Kalibraža	Istarski duguljasti	Rimski
prva	0,278 (41,67%)	0,209 (30,3%)
druga	0,411 (44,05%)	0,387 (41,57%)
treća	1,244 (45,34%)	1,192 (44,02%)
četvrta	4,254 (45,76%)	3,774 (42,62%)
peta	8,008 (44,42%)	6,942 (42,62%)
šesta	19,936 (45,04%)	17,292 (39,85%)
sedma	10,562 (43,87%)	10,298 (37,96%)
$\Sigma$	44,693 (44,69%)	40,094 (40,01%)

Za potrebe odvajanja ljuski korištena je drobilica prikazana na Slika 42. Razlika korištene drobilice je ta da su oba valjka cijelom duljinom jednakog promjera te se razmak između valjaka namješta posebno za drobljenje svake kalibraže. Vodeći se podacima iz [14] [15] određeni su razmaci valjaka  $r_{vd}$  te su dodatno podešeni metodom pokušaja i pogrešaka tako da se zdrobe svi lješnjaci bez pojave polovica. Kako bi se izvršilo grubo odvajanje ljuski, korišten je sustav opisan u poglavlju 4.6.1.

Tablica 10 Masa odvojene ljuske grubim sortiranjem, [kg]

Kalibraža	Istarski duguljasti	Rimski
prva	0,288 (74,29%)	0,386 (80,43%)
druga	0,455 (87,23%)	0,449 (82,69%)
treća	1,355 (90,37%)	1,255 (82,76%)
četvrta	4,531 (89,87%)	4,422 (87,04%)
peta	9,351 (93,35%)	8,364 (89,49%)
šesta	23,079 (94,89%)	24,527 (93,95%)
sedma	12,783 (94,58%)	15,484 (91,99%)
$\Sigma$	51,842 (93,73%)	54,887(91,62%)



Tablica 10 prikazuje mase odvojene ljuske grubim odvajanjem pomoću zraka. U zagradama su dani postoci odvojene ljuske naspram cjelokupne ljuske.

Točnost ovakvih sustava koji koriste samo zrak za odvajanje je ~94% za Istarski duguljasti lješnjak te ~92% za Rimski lješnjak. Razlog zašto je bolje odvajanje ljuske od Istarskog lješnjaka je ta što se za tu sortu ljuska manje lijepi te se bolje odvaja. Korištenjem vibrostola kako je odlučeno za automatsku sortirnicu, zalijepljene ljuske odvojile bi se od Rimskih lješnjaka te bi se točnost grubog sortiranja nešto povećala. Tako grubo očišćeni lješnjaci tada idu prema sustavu finog odvajanja zaostalih ljuski. Zadaća tog sustava je ukloniti što više preostalih ljuski. Modeli korišteni za ovaj rad daju rezultate finog odvajanja i do 98% ljuske. Tako se dolazi do zaključka da bi se odvojilo sveukupno preko 99% ljuske od lješnjaka što je izrazito visoka točnost za ovakve primjene. Naravno u stvarnosti bi se to nešto i izmijenilo budući da su lješnjaci veoma sitni i moralo bi se uzeti u obzir da sustav finog odvajanja ne bi pomoću mlaznica uspio odvojiti sve lješnjake.

## 7. ZAKLJUČAK

Automatizirana rješenja u industriji hrane na tržištu najčešće su za velike proizvođače te se OPG-ovima, koji su najčešći proizvođači u Hrvatskoj, ne isplati kupovati takve strojeve. Zbog trenda povećanja proizvodnje lješnjaka u Hrvatskoj osmišljen je koncept automatske sortirnice i napravljena je vizijska aplikacija za prepoznavanje lješnjaka. Strojevi na tržištu namijenjeni manjim proizvođačima, zasnivaju se samo na grubom sortiranju što daje puno prostora za primjenu ovakvih automatskih sortirnica s finim odvajanjem ljuski.

U sklopu rada opisane su potrebni problemi koji se javljaju prilikom razvoja ovakvih sustava te su u skladu s njima odabrana rješenja. Za svaku potrebnu zadaću dano je više koncepata te su ocjenjivanjem odabrana najbolja i prema tome je napravljena cijela automatska sortirnica.

Korištenjem ovakvih sustava ljudski rad bi se sveo na minimum, te bi se kvaliteta sortiranja povećala kao i brzina izvođenja. Primjenom sustava za grubo sortiranje postiže se odvajanje ljuski do 94%, te je sustavom za fino odvajanje potrebno odvojiti preostalih 6%. Rezultati dobiveni testiranjem modela su da bi se vizijskim sustavom odvojilo do 80% preostale ljuske, čime bi gotovo sva ljuska bila uklonjena od jezgri.

Za fino sortiranje bilo bi potrebno uzeti u obzir i druge metode kao što su ultrazvuk ili laser. Razvijanje ovakvih sustava nastaviti će se zbog trenutnog trenda porasta proizvodnje i potražnje lješnjaka.

## LITERATURA

- [1] Hoden, P. (2011) Automation in the food industry, New Food, URL: <https://www.newfoodmagazine.com/article/5424/automation-in-the-food-industry/> [pristup 27.12.2021.]
- [2] Miljković I. (2018) *Lijeska*, 1.izd. Zagreb: Tiskara Hlad
- [3] Šoškić, M. M. (2006) *Orah i lijeska*, 1.izd. Bjelovar: NERON d.o.o.
- [4] Duchesne Jardins, URL: <https://www.pepinieres-duchesne.fr> [pristup: 28.12.2021.]
- [5] Pepin Hier, URL: <https://www.pepinhier.fr/noisetiers/154-noisetier-merveille-de-bollwiler-.html> [pristup: 28.12.2021.]
- [6] Facma, URL: <https://www.facma.it/> [pristup: 28.12.2021.]
- [7] Servis poljoprivrednih strojeva, URL: <http://www.servisloncar.hr> [pristup: 28.12.2021.]
- [8] Lješnjak, URL: <https://alternativa-za-vas.com/index.php/clanak/article/ljesnjak> [pristup: 28.12.2021.]
- [9] Ferrero, URL: <https://www.ferrero.com/> [pristup: 28.12.2021.]
- [10] Đukić, G: Tehnička logistika, *Transportni sustavi 2.dio*, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu – predavanja
- [11] FAST GLOBAL SOLUTIONS, URL: <https://fastsolutions.com> [pristup 5.1.2022.]
- [12] MK technology group, URL: <https://www.mk-group.com> [pristup: 5.1.2022.]
- [13] CHIANCHIA, URL: <http://www.chianchia.it/> [pristup: 5.1.2022.]
- [14] Murat Kacal & Mehmet Ali Koyuncu (2017) Cracking characteristics and kernel extraction quality of hazelnuts: Effects of compression speed and positions, *International Journal of Food Properties*, 20:sup2, 1664-1674, DOI: 10.1080/10942912.2017.1352600
- [15] Kabas, O.: Cracking simulation of hazelnut shell using finite element method, *Mitteilungen Klosterneuburg* 70 (2020): 148-156
- [16] Bernik, R.; Stajniko, D.; Lakota, M.: The impact of vaporization on the crushing nuts (*Juglans regia* L.), *POMOLOGIA CROATICA* Vol. 15 – 2009, br 1-2
- [17] Feucht-Obsttechnik, URL: <https://feucht-obsttechnik.de> [pristup 7.1.2022.]
- [18] Khairi, M.; Ibrahim, S.; Yurus, M.; Farmarzi, M. : Contact and non-contact ultra sonic measurement in the food industry: A review. *Meas. Sci. Technol.* 2016, 27, 012001

- 
- [19] Moscetti, R.: Hazelnut quality sorting using high dynamic range short-wave infrared hyperspectral imaging, Article in *Food and Bioprocess Technology* 2015
- [20] Stipančić, T.: Vizijski sustavi, *Vizijski sustavi*, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu – predavanja
- [21] Rosebrock, A. (2017) *Deep Learning for Computer Vision with Python*, PYIMAGESEARCH
- [22] Szeliski, R. (2010) *Computer Vision: Algorithms and Applications*, Springer
- [23] Towards data science, URL: <https://towardsdatascience.com/> [pristup: 8.1.2022.]
- [24] Rosebrock, A. (2016) *Practical Python and OpenCV*, 2nd edition, PYIMAGESEARCH

## PRILOZI

## I. PRILOG 1



Slika 73 Prikaz funkcije gubitaka i točnosti konvolucijske neuronske mreže s manje slojeva

## II. PRILOG 2

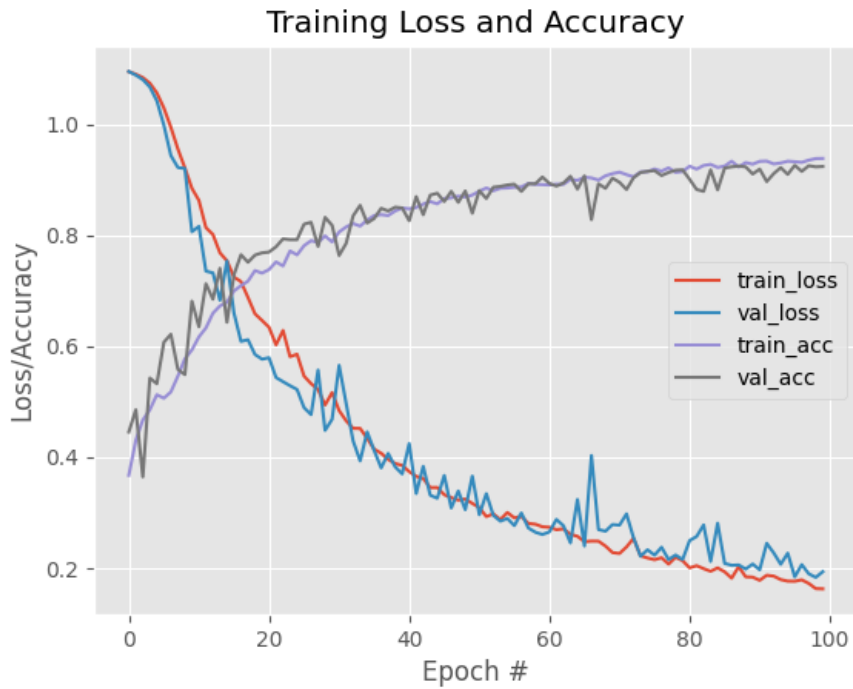
```

Model: "sequential"
-----
Layer (type)                Output Shape              Param #
-----
conv2d (Conv2D)             (None, 32, 32, 32)       896
flatten (Flatten)           (None, 32768)             0
dense (Dense)                (None, 3)                 98307
activation (Activation)      (None, 3)                 0
-----
Total params: 99,203
Trainable params: 99,203
Non-trainable params: 0
-----

```

Slika 74 Arhitektura konvolucijske mreže s manje slojeva

### III. PRILOG 3

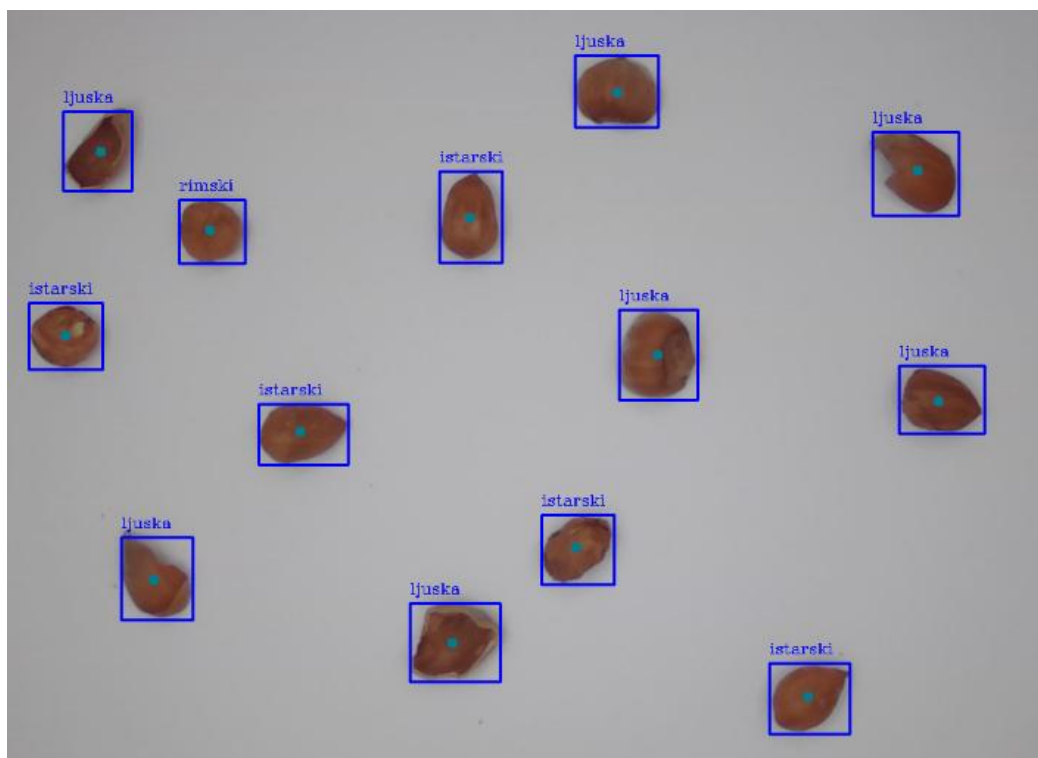
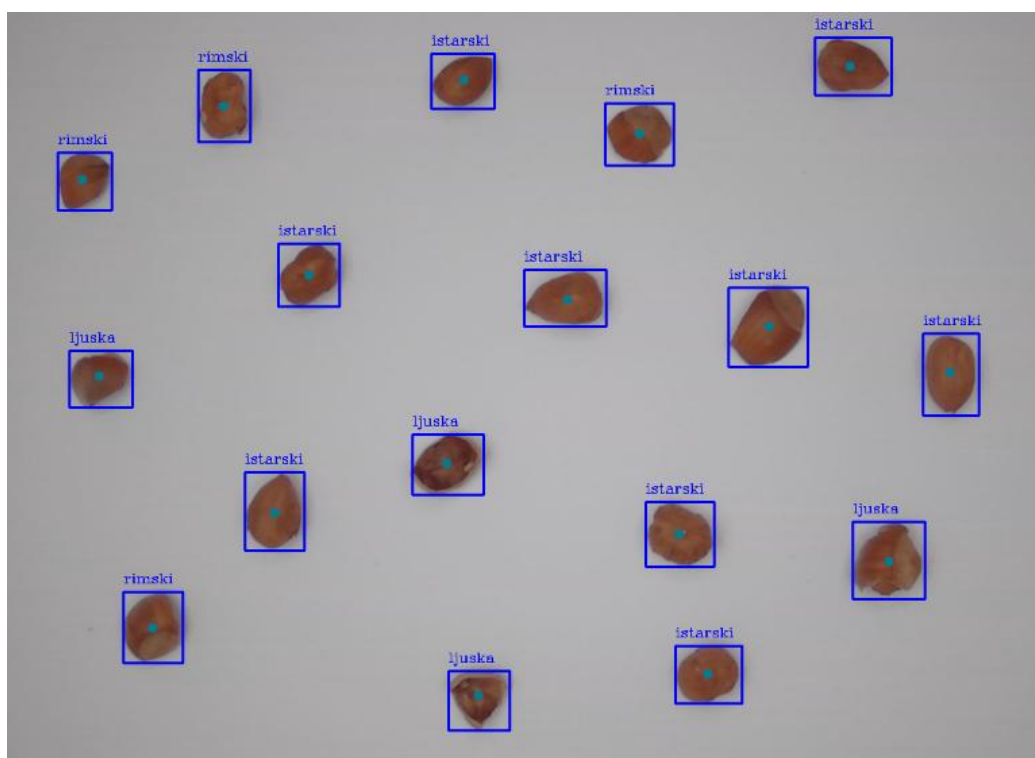


Slika 75 Prikaz funkcije gubitaka i točnosti konvolucijske mreže s više slojeva

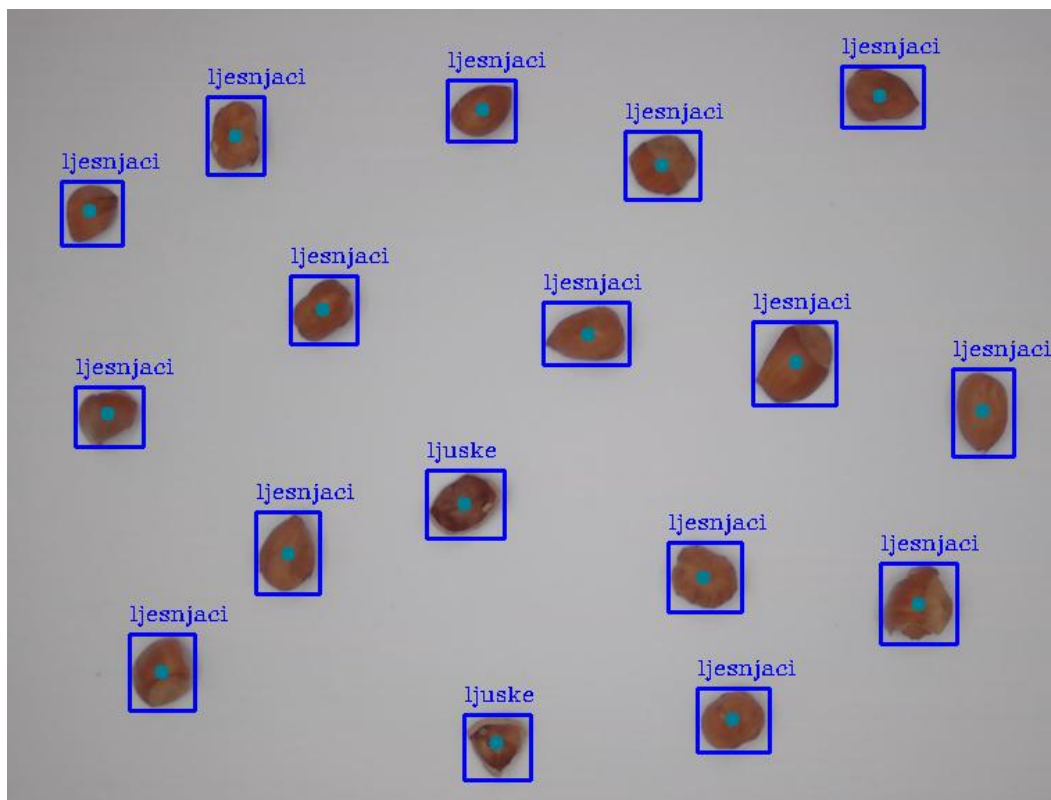
### IV. PRILOG 4

```
Model: "sequential"
-----
Layer (type)                Output Shape              Param #
-----
conv2d (Conv2D)              (None, 32, 32, 32)       896
max_pooling2d (MaxPooling2D) (None, 16, 16, 32)       0
conv2d_1 (Conv2D)            (None, 16, 16, 64)       18496
max_pooling2d_1 (MaxPooling2D) (None, 8, 8, 64)         0
conv2d_2 (Conv2D)            (None, 8, 8, 64)         36928
flatten (Flatten)            (None, 4096)              0
dense (Dense)                (None, 3)                 12291
activation (Activation)      (None, 3)                 0
-----
Total params: 68,611
Trainable params: 68,611
Non-trainable params: 0
-----
```

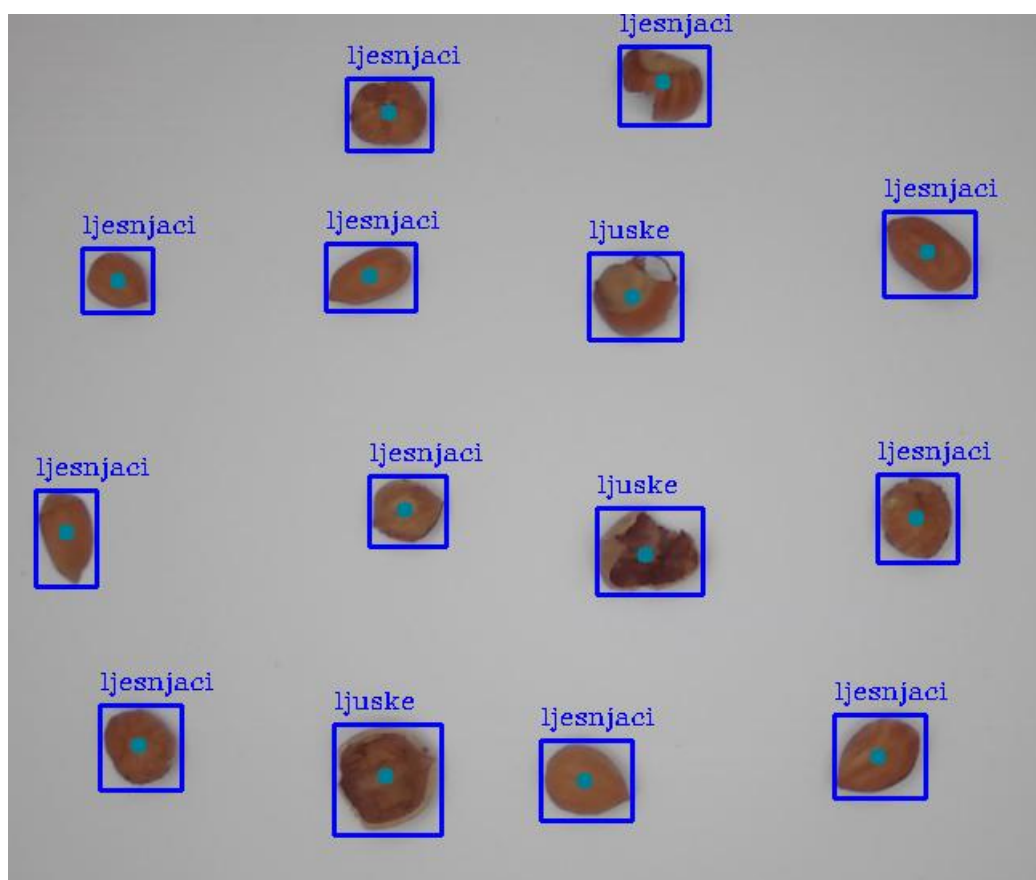
Slika 76 Arhitektura konvolucijske mreže s više slojeva

**V. Primjeri prepoznavanja lješnjaka i ljuhci korištenjem izradene aplikacije****Slika 77 CNN primjer 1****Slika 78 CNN primjer 2**

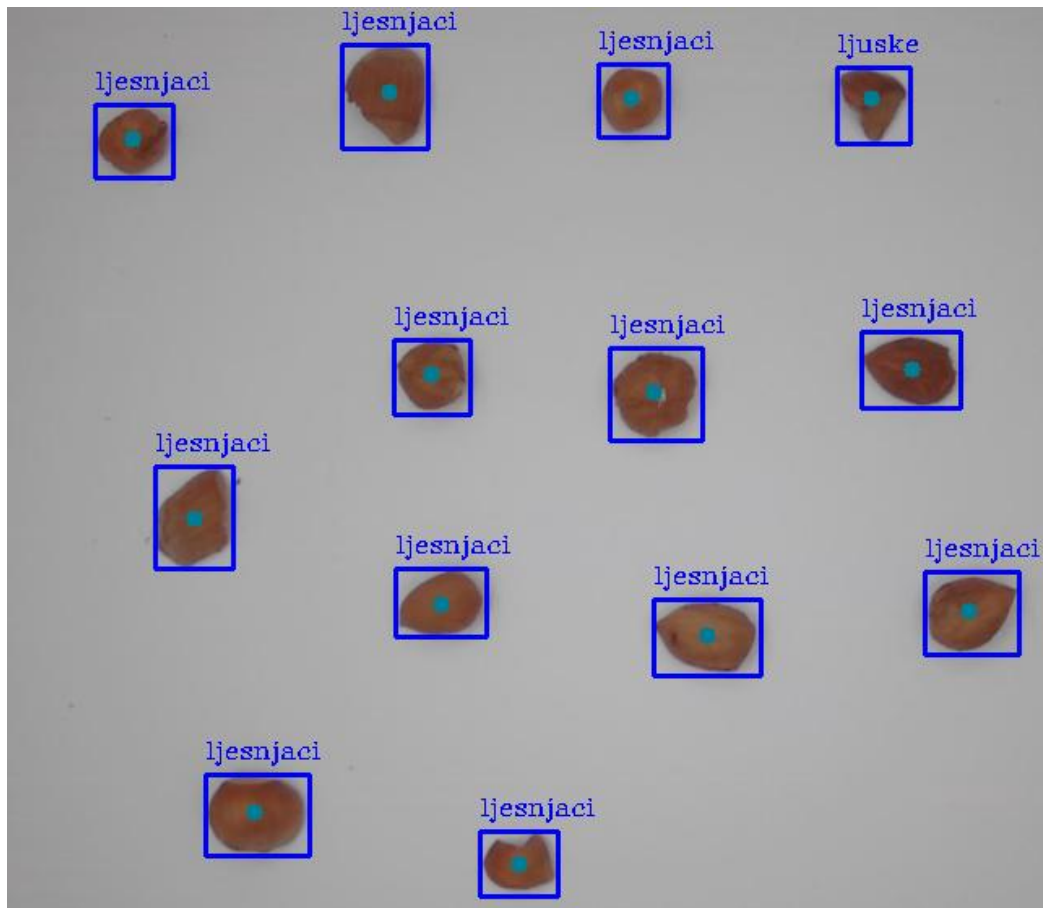




Slika 79 k-NN model – primjer 1



Slika 80 k-NN model - primjer 2



Slika 81 k-NN model - primjer 3

## VI. CD-R