



**FAKULTA
ŠROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Ústav konstruování a částí strojů

Optická třídačka semen

Optical Seeds Sorter

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2017

Bc. Tomáš NEDBÁLEK

Studijní program: N2301 STROJNÍ INŽENÝRSTVÍ
Studijní obor: 2301T047 Dopravní letadlová a transportní technika
Vedoucí práce: Ing. František Starý

Zadání

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně a na základě literatury a pramenů uvedených v seznamu použité literatury.

V Praze

.....

Bc. Tomáš Nedbálek

Poděkování

Rád bych poděkoval svému vedoucímu diplomové práce panu Ing. Františku Starému za odborné vedení, pomoc a rady při zpracování této práce.

Anotační list

Jméno autora	Bc. TOMÁŠ NEDBÁLEK	
Název DP	Optická třídačka semen	
Anglický název	Optical Seeds Sorter	
Rok	2017	
Studijní program	N2301 STROJNÍ INŽENÝRSTVÍ	
Obor studia	301T047 Dopravní letadlová a transportní technika	
Ústav	Ústav konstruování a částí strojů	
Vedoucí práce	Ing. František Starý	
Bibliografické údaje	počet stran	52
	počet obrázků	53
	počet tabulek	3
	počet grafů	1
	počet příloh	1
Klíčová slova	slunečnicová semena, webkamera; LabVIEW; Arduino, optické třídění	
Key words:	sunflower seeds, web cameras, LabVIEW, Arduino, optical sorting	

Abstrakt

Práce na téma optická třídačka semen se zabývá vytvořením funkčního modelu průmyslových třídících optických strojů. Tento model byl sestaven s cílem co nejnižších pořizovacích nákladů.

Třídění je zaměřeno na slunečnicová semena, která mohou vystupovat z loupacího stroje nedokonale oloupaná. Třídačka má za úkol tato semena rozdělit na vyloupaná a nevylopaná.

Vysokorychlostní kamery jsou zde nahrazeny webkamerami a řízení je pomocí mikrokontroleru Arduino MEGA2560. Vyhodnocení obrazu z webkamer a ovládání mikrokontroleru je řešeno v prostředí LabVIEW.

Abstract

Thesis optical seeds sorter is focused on creation of functional model of optical seed sorters used in industry. This model was built as cheap as possible.

Sorting is focused on sunflower seeds, which might come from peeling machine imperfectly peeled. Sorter's purpose is to separate these imperfectly peeled seeds.

Web cameras are used instead of high speed camera, model control is by microcontroller Arduino MEGA260. Image processing from web cameras and microcontroller control is done on LabVIEW platform.

Obsah

1. Úvod.....	- 1 -
2. Elektromagnetické spektrum	- 2 -
2.1. Ultrafialové záření	- 2 -
2.2. Viditelné spektrum	- 3 -
2.3. Infračervené záření	- 3 -
3. Snímání obrazu	- 4 -
3.1. CCD	- 5 -
3.1.1. Princip CCD čipu	- 5 -
3.1.2. Rozdělení čipů	- 6 -
3.1.2.1. Lineární CCD čipy.....	- 6 -
3.1.2.2. Plošné CCD čipy	- 6 -
3.2. CMOS	- 7 -
3.2.1. Princip CMOS čipu	- 7 -
3.3. CMOS vs. CCD	- 8 -
3.4. Filtry.....	- 9 -
3.4.1. Bayerův filtr	- 9 -
3.4.2. Pásmové filtry	- 9 -
3.4.3. UV a IR filtry	- 10 -
3.4.4. Barevné filtry	- 10 -
3.4.5. Neutrální šedé filtry.....	- 11 -
4. Optické třídění.....	- 12 -
4.1. Princip	- 12 -
4.2. Vyhodnocení surovin barevným tříděním.....	- 14 -
4.2.1. Spektrální fotometrie	- 14 -
4.2.2. Monochromatické třídění	- 15 -
4.2.3. Bichromatické třídění	- 15 -
4.2.4. Duální monochromatické třídění	- 16 -
4.2.5. Trichromatické třídění	- 16 -
4.2.6. Fluorescenční techniky	- 16 -
4.2.7. Infračervené techniky	- 16 -
4.3. Vyhodnocení NIR technologií	- 17 -
4.4. Osvětlení	- 18 -
4.5. Separace.....	- 18 -
5. Model optické třídičky	- 19 -
5.1. Pásový dopravník.....	- 21 -
5.2. Násypka.....	- 22 -
5.2.1. Model násypky.....	- 23 -
5.2.2. Šnek	- 24 -
5.2.3. Kompletní násypka	- 26 -

5.3.	Osvětlení	27 -
5.4.	Arduino	28 -
5.5.	Snímání obrazu	29 -
5.6.	Třídění semen	30 -
6.	Řízení optické třídičky	31 -
6.1.	Instalace MakerHUB LINX a nahrání firmwaru do kontroléru	31 -
6.2.	Blokové schéma řídicího algoritmu	35 -
7.	Vyhodnocení obrazu	36 -
7.1.	Stanovení kritérií	36 -
7.2.	Vision Acquisition	37 -
7.3.	Původní způsob vyhodnocení obrazu	38 -
7.4.	Stávající způsob vyhodnocení.....	40 -
8.	Závěr	41 -
	LITERATURA.....	42 -
	SEZNAM OBRÁZKŮ	44 -
	SEZNAM GRAFŮ	45 -
	SEZNAM TABULEK.....	45 -
	SEZNAM PŘÍLOH	45 -

1. Úvod

Práce si klade za cíl vytvořit funkční model laboratorní třídící slunečnicových semen.

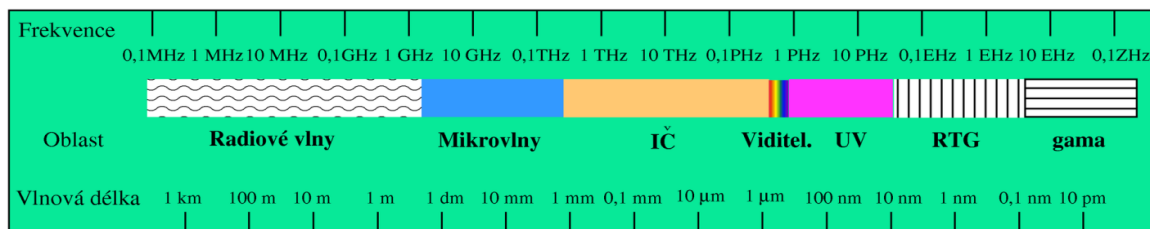
V teoretické části se práce zabývá principy zpracování obrazu využitelných pro optické třídění dokonale vyloupaných semen. Jsou popsány klíčové vlastnosti jednotlivých metod a jejich aplikace. V další části jsou popsány hlavní komponenty optických třídíček.

Práce se dále zabývá principy, konstrukcí a vlastnostmi obrazových snímačů.

V praktické části je popsána konstrukce modelu třídící a vlastní implementace třídícího algoritmu.

2. Elektromagnetické spektrum

Elektromagnetické spektrum (EM) zahrnuje škálu všech vlnových délek od gama záření až po radiové vlny. Spektrum je popsáno vlnovou délkou λ a má frekvenci f a jí připadající energie fotonu E . Na Obr. 1 je zobrazené celé EM spektrum s hodnotami vlnové délky i její frekvence.



Obr. 1 Elektromagnetické Spektrum [1]

Pro strojové vidění, resp. optického třídění, jsou nejdůležitější spektra od ultrafialového (UV), přes viditelné až po infračervené (IR).

2.1. Ultrafialové záření

Ultrafialové (v Aj. UltraViolet, UV) záření nabývá hodnot o vlnových délkách 10-400 nm a frekvenci 10¹⁵–10¹⁷ Hz. Pro lidské oko je toto záření neviditelné, pro některé živočichy ano. Zdrojem UV záření je Slunce, na zemský povrch dopadne pouze záření UVA, složka UVB dopadne na zemský povrch jen v minimální hodnotě, protože je i se složkou UVC pohlcována ve stratosféře.

Tab. 1 Rozdělení UV záření dle vlnových délek [2]

Název	Zkratka	Vlnová délka
Blízké	NUV	400 – 200 nm
Dlouhovlnné“	UVA	400 – 320 nm
Středněvlnné	UVB	320 – 280 nm
Krátkovlnné	UVC	pod 280 nm
Hluboké ultrafialové	DUV	pod 300 nm
Daleké	FUV	200 - 10 nm
Extrémní	EUV, XUV	31 – 1 nm

2.2. Viditelné spektrum

Spektrum s vlnovými délkami od 380–740 nm, též nazývané světlo, je část spektra, na které je lidské oko nejcitlivější. Každá vlnová délka v tomto rozmezí má svou barvu, tyto barvy nazýváme spektrálními.

Tab. 2 Rozdělení viditelného spektra [1]

Barva	Vlnová délka	Frekvence
červená	~ 625 až 740 nm	~ 480 až 405 THz
oranžová	~ 590 až 625 nm	~ 510 až 480 THz
žlutá	~ 565 až 590 nm	~ 530 až 510 THz
zelená	~ 520 až 565 nm	~ 580 až 530 THz
azurová	~ 500 až 520 nm	~ 600 až 580 THz
modrá	~ 430 až 500 nm	~ 700 až 600 THz
fialová	~ 380 až 430 nm	~ 790 až 700 THz

Příkladem širokopásmového viditelného světla je Slunce, které emituje v převážně viditelném a infračerveném spektru. Viditelné světlo (a blízké infračervené světlo) je typicky absorbováno a emitováno elektrony v molekulách a atomy, které se pohybují z jedné úrovně energie na druhou. Tato akce umožňuje chemické mechanismy, které jsou základem lidského vidění a fotosyntézy rostlin.

2.3. Infračervené záření

Infračervené záření (v Aj. InfraRed, IR) nabývá hodnot o vlnových délkách 760 nm až 1 mm. Rozdělení IR záření je v Tab. 3.

Tab. 3 Rozdělení IR záření dle vlnových délek [3]

Název	Zkratka	Vlnová délka
Blízké (IR-A)	NIR	0,76–1,4 μm
Krátké (IR-B)	SWIR	1,4–3 μm
Střední (IR-C)	MWIR	3–8 μm
Dlouhé (IR-C)	LWIR	8–15 μm
Vzdálené	FIR	15–1000 μm

Infračervená spektroskopie, je spektroskopická metoda analytické chemie patřící mezi metody elektromagnetické spektroskopie. Je to jak kvalitativní metoda, která poskytuje velice přesnou identifikaci izolované látky, tak ji lze využít i pro kvantitativní analýzu směsi.

3. Snímání obrazu

Obraz je většinou 32 bitový registr. Registr se dále skládá z 24 bitů škály barev (RGB) a 8 bitový zbytek jsou hodnoty alfa.

RGB popis, jednotlivé barvy pro daný pixel obrázku, červená, modrá a zelená, každá barva zastupuje hodnotu 8 bitů, nabývají hodnot intenzity 2^8 , tj. 255 (index od 0).

Představme si RGB jako jednotlivé vrstvy, které když se nakonec překryjí získáme výsledný barevný obraz. Pokud daný pixel obsahuje hodnoty RGB 255,255,0, bude výsledný pixel žlutý. Celkový počet kombinací barev je 2^{24} , tj. 16 777 216.



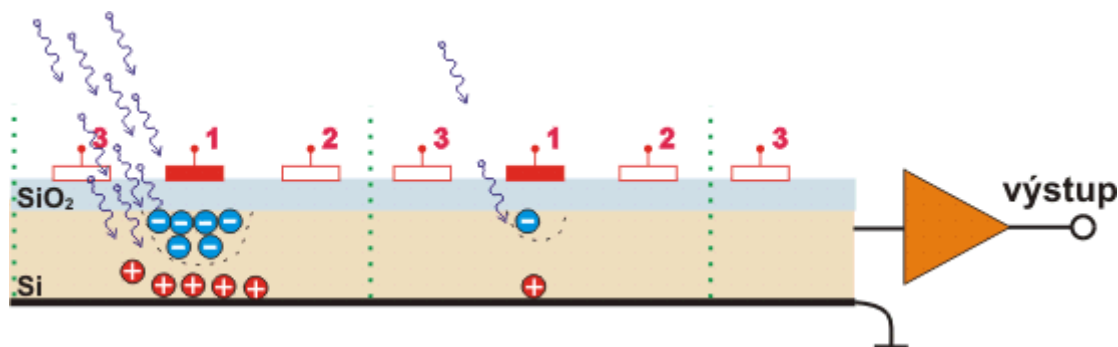
Obr. 2 Bitový popis barev [4]

3.1. CCD

CCD (Charged-Coupled Device) technologie v překladu znamená zařízení s vázanými náboji. Historie tohoto zařízení sahá až do roku 1969, kde v Bellových laboratořích páni W. Boyle a G. E. Smith tuto technologii vynalezli. Tito páni nevynalezli přímo CCD čip, ale posuvný registr. CCD je jen posuvný registr vystavený působení světla.[5]

3.1.1. Princip CCD čipu

Princip CCD čipu je založen jako všechny světlo citlivé součástky na fotoefektu. Tento jev je založen na faktu, že foton při nárazu do atomu dokáže převést některé elektrony do excitovaného stavu. Na principu toho efektu fungují fotodiody, které jsou schopné z těchto elektronů vytvořit elektrický proud. CCD čip má oproti běžným polovodičovým součástkám vrstvu dielektrika navíc, toto dielektrikum je tvořeno oxidem křemičitým SiO_2 . Dielektrikum odděluje elektrody a polovodič, tudíž fotonem uvolněné elektrony nemohou být odvedeny pryč.



Obr. 3 Dopad fotonů na CCD čip [5]

Na Obr. 3 je zobrazen dopad fotonů na čip a následný rozpad na kladné a záporné elektrony. Kladné elektrony jsou přitahovány do spodu čipu, který je záporně nabitý. Záporně nabité elektrony jsou přitahovány elektrodou. Větší shluk dopadnutých fotonů znamená světlejší objekt a naopak. Působením hodinového signálu na jednotlivé elektrody (v tomto případě trojfázový), tzn. snížení napětí na elektrodě 3 a zvýšení napětí na elektrodě 1, dojde k přemístění elektronů dále čipem až k zesilovači, kde jsou záporně nabité elektrony zesíleny a poslány k dalšímu zpracování. Tečkovaná čára mezi elektrodami 2 a 3 znázorňuje rozdělení mezi jednotlivými pixely.

3.1.2. Rozdělení čipů

CCD čipy můžeme rozdělit do dvou kategorií, a to lineární a plošné.

3.1.2.1. Lineární CCD čipy

Konstrukce čipu je složena z jednoho řádku pixelů. Tato konstrukce se používá v jednorozměrném snímání obrazu, druhý rozměr je zajištěn jiným způsobem.

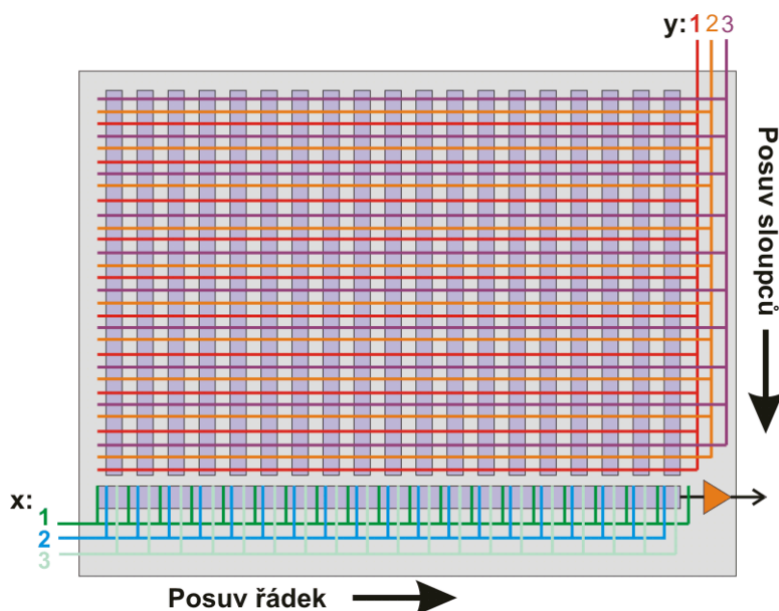
Použití řádkového čipu je například u čteček čárového kódu, kde je potřeba přečíst jen jeden řádek a z něj vyčíst šířku černých čar (viz Obr. 4). Dalším použitím je scanner, u kterého je druhý rozměr zajištěn posunutím výbojky s čipem.



Obr. 4 CCD čip jako čtečka čárového kódu [5]

3.1.2.2. Plošné CCD čipy

Ne vždy lze obraz snímat jen v jednom rozměru a je potřeba obraz sejmout celý v obou rozměrech. Na Obr. 5 je vidět dvojrozměrný CCD čip. Tento čip obsahuje několik lineárních CCD (sloupců), ale na konci řádku nejdou elektrony do zesilovače, nýbrž do dalšího lineárního CCD.



Obr. 5 Plošný CCD čip [5]

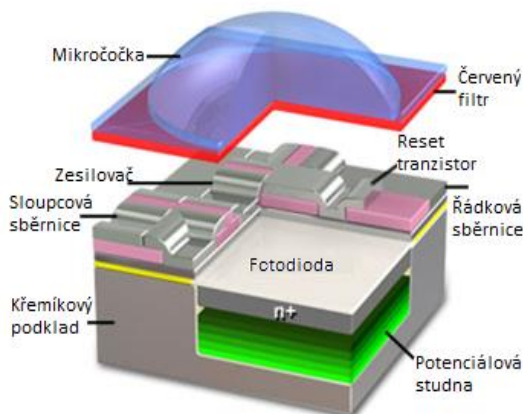
3.2. CMOS

Další používanou technologií je CMOS (Complementary Metal–Oxide–Semiconductor). CMOS obvody byly vynalezeny roku 1967 Frankem Wanlassem ze společnosti Fairchild Semiconductor. První integrované obvody byly vyrobeny roku 1968 v RCA pod vedením Alberta Medwina. Původně byl pro řídicí elektrodu používán hliník, později byl nahrazen polykrystalickým křemíkem, který je odolnější proti vysokým teplotám.

Použití této technologie je nejvíce známé z integrovaných obvodů, zejména čipů, mikroprocesorů, pamětí a obrazových senzorů.

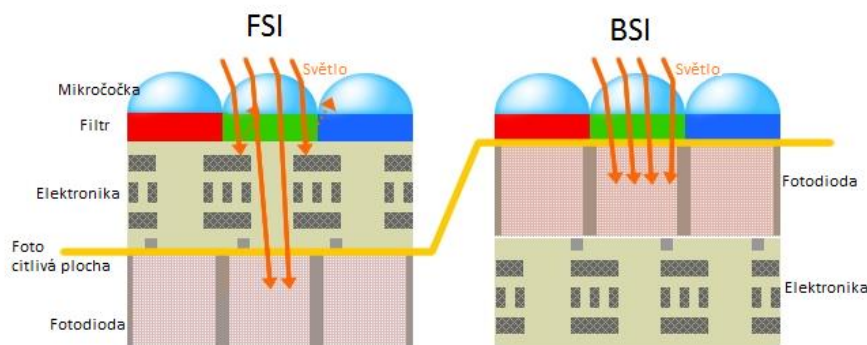
3.2.1. Princip CMOS čipu

Rozdíl mezi čipem CCD a CMOS je, že pixel CMOS čipu obsahuje převodník a zesilovač, oproti tomu CCD čip má převodník a zesilovač až na konci řádku. Díky tomuto uspořádání jsme schopni lokalizovat jednotlivý pixel. Na Obr. 6 je zobrazena struktura FSI (Front-illuminated structure), její koncepce spočívá v prostupu světla. Nejdříve světlo dopadne na čočku, přes filtr pojde skrz elektronickou část a poté dopadne do potenciálové studny.



Obr. 6 Model fotodiody pro červenou barvu [6]

Tato struktura se nyní modernizovala na BSI (Back-illuminated structure). Došlo k prohození vrstvy elektronické a potenciálové. Největší výhodou mají BSI-CMOS sensory v částečném slunci a při nízkých světelných podmínkách.



Obr. 7 Porovnání struktur FSI a BSI [7]

3.3. CMOS vs. CCD

CCD výrobní technologie je jednoúčelová a velice drahá, kdežto technologie výroby CMOS je používána pro výrobu mikroprocesorů, pamětí a dalších integrovaných obvodů. Jelikož CMOS technologie umožňuje kompaktní zástavbu zesilovače, převodníku a fotodiody do jednoho pixelu, jedná se o velice kompaktní a levný systém.

Dynamický rozsah CCD sensoru je přibližně dvakrát větší než u CMOS čipu. To znamená, že pokud je zapotřebí větší rozlišení jasových úrovní, CCD čip nabídne lepší výsledky. Na druhou stranu CMOS jsou citlivější na světlo v horších světelných podmínkách.

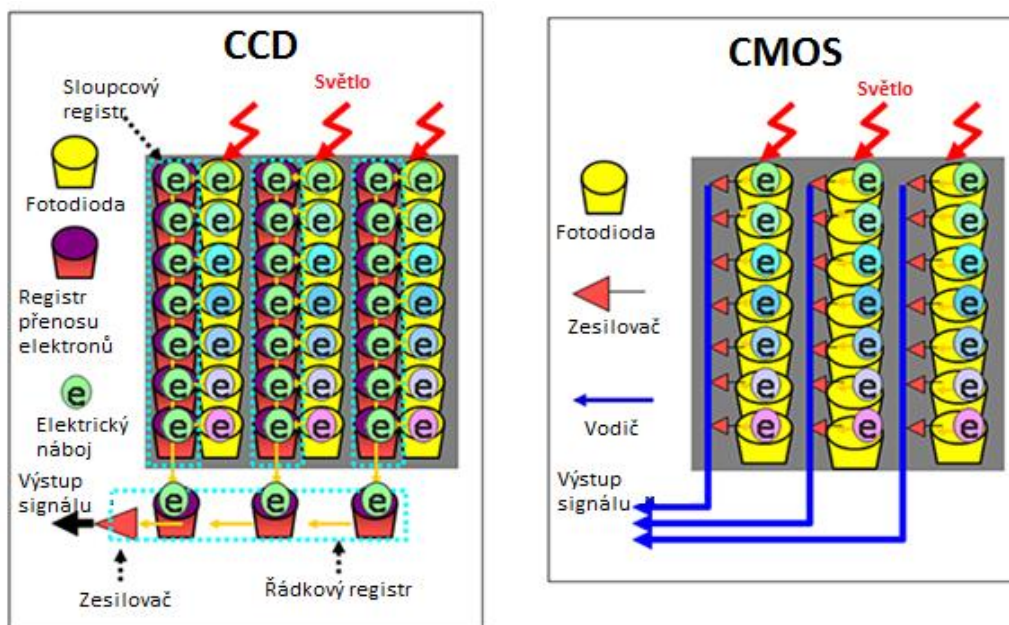
Co se týče spotřeby energie jednotlivých sensorů, velice záleží na jejich použití. V případě CMOS sensorů pro běžnou elektroniku (mobilní telefon, webkamera, atd) dosáhneme nízké spotřeby energie, oproti použití vysokorychlostních CMOS čipů se spotřebovává více energie než u CCD čipů.

Rozeznáváme dva typy šumu, dočasný šum a šum způsobený konstrukčním řešením čipu. Konstrukční šum se vyskytuje více u CMOS než u CCD, je to způsobeno tím, že náboj je převeden na napětí v každém pixelu ve srovnání s jednobodovou konverzí nábojového napětí u CCD. Pokud jde o dočasný šum, jsou výhodnější CMOS, protože šířka pásma zesilovače každého pixelu je menší než v případě CCD.

Rychlost čtení u CMOS sensorů je vyšší oproti CCD díky vestavěné elektronice v pixelu, kdežto odezva obrazového signálu může být nekonstantní.

CMOS sensory umožňují zpracovávat kteroukoliv oblast z čipu, a to díky aktivním pixelům. CCD čip je omezený vertikálním snímáním.

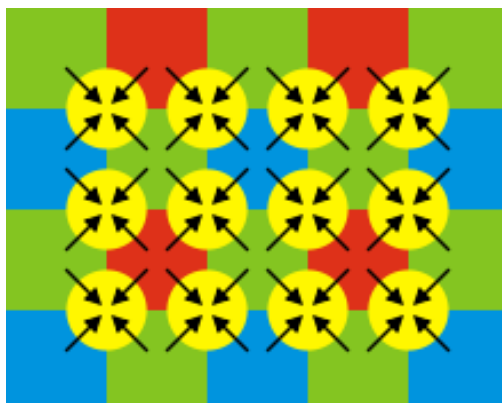
Nadměrná expozice u CCD sensorů může způsobit rozmazání příliš exponovaných pixelů. Rozmazání je způsobeno přetečením náboje do posuvného registru. [8]



Obr. 8 Porovnání zpracování dopadu světla [9]

3.4. Filtry

3.4.1. Bayerův filtr



Obr. 9 Interpolace barvy na Bayerově filtru [5]

Bayerův filtr, někdy Bayerova maska, se používá pro rozlišení barev dopadajících na sensor. Filtr byl patentován v roce 1976 panem Bryce E. Bayerem z firmy Eastman Kodak. Filtr se stává ze tří základních barev a to červené, modré a zelené. Zelené je ve filtru 2x více než ostatních barev, a je to dáno tím, že lidské oko je na zelenou (žlutozelenou) barvu více citlivější.

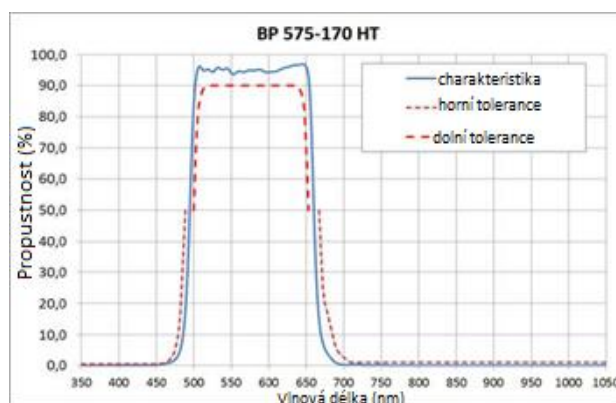
Výsledná barva je výsledkem interpolace čtyř do čtverce sousedících pixelů. Na Obr. 9 můžeme vidět dopad plnobarevného fotonu (žlutý kruh) a šipky naznačují, ze kterých pixelů je výsledná barva dopočítána.

Bayerův filtr bývá umístěn nad fotocitlivou plochou, součástí sensoru, ale někdy bývá umístěn před nebo za objektiv.

3.4.2. Pásmové filtry

Pásmové filtry umožňují propustit světlo potřebné vlnové délky do snímače. Tyto filtry můžeme rozdělit do čtyř kategorií a to pásmový, úzkopásmový a filtry s dolní propustí a horní propustí. Filtry se používají pro odstranění nežádoucích vlnových délek.

Na Obr. 10 můžeme vidět pásmový filtr s 90 % propustností od 515 nm do 640 nm. Z pohledu elektromagnetického spektra filtr propustí barvy od zelené až po oranžovou či světle červenou.

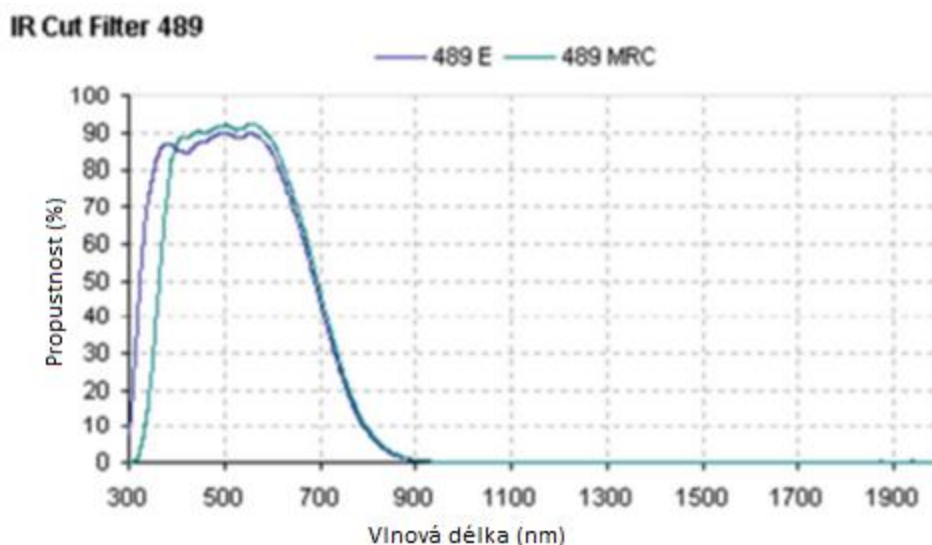


Obr. 10 Pásmový filtr [10]

3.4.3. UV a IR filtry

Tyto dva typy filtrů se především používají pro ochranné účely citlivé elektroniky. Filtr blokující ultrafialové záření se také používá jako ochrana objektivu či optiky.

Na Obr. 11 je charakteristika propustnosti pro infračervený filtr odstraňující vlnové délky delší než 750 nm. Použitím IR filtru nedojde ke znehodnocení snímaného obrazu.

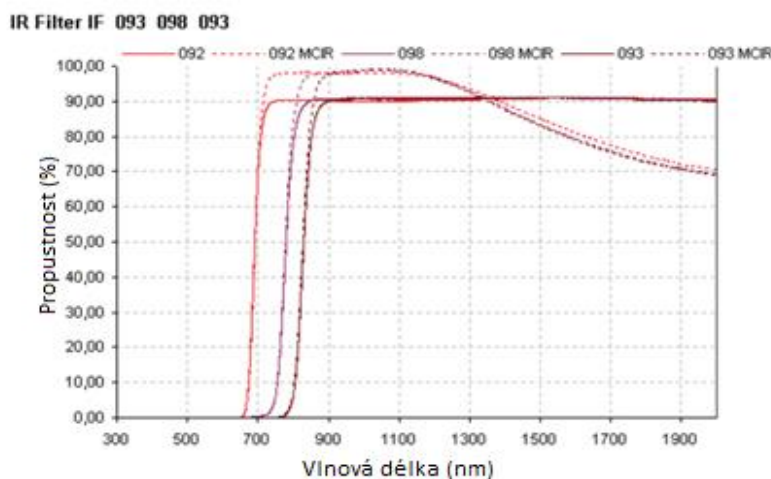


Obr. 11 Filtr blokující Infračervené záření [11]

3.4.4. Barevné filtry

Barevné filtry se používají pro zlepšení kontrastu monochromatického obrazu. Rozdělují se dle propusti vlnové délky, tzn. určité barvy, například filtr pro modrou barvu nabývá propustnosti od 380 nm až do 580 nm.

Speciálním typem barevných filtrů jsou filtry pro infračervené záření, ty propustí vlnovou délku větší než 700 nm, tyto filtry se používají pro sensory aplikované pro NIR pásmo (blízké infračervené pásmo). Na Obr. 12 jsou charakteristiky tří různých IR filtrů, které se liší počáteční vlnovou propustností.



Obr. 12 Filtr propouštějící Infračervené záření [14]



3.4.5. Neutrální šedé filtry

Neutrální filtry rovnoměrně snižují propustnost světla na celém viditelném spektru. Snižují jas obrazu beze změny hloubky ostrosti. Tlumí světlo tak, že absorbují část energie vlnové délky viditelného spektra, aniž by ovlivnily barevné vyvážení.

Neutrální filtry se používají ke kontrole intenzity světla procházejícího optickým systémem, aby se zabránilo nadměrné expozici, přetečení na zobrazovacích snímačích a zabránění poškození měřicích senzorů citlivých na světlo.

4. Optické třídění

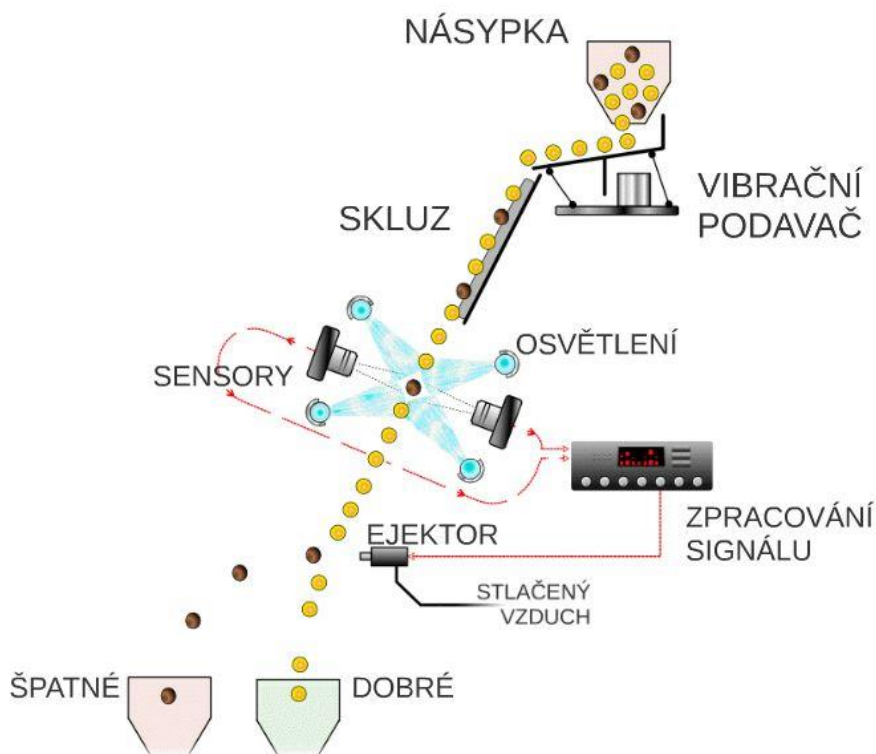
Vývoj strojů na třídění na základě rozdílné barvy sahá až ke druhé světové válce. Třídění na základě barvy je vcelku jednoduché, protože člověk je schopný rozhodnout, zda je potravinu požitelná, či nikoliv. Na základě vnímání třídění člověkem počal vývoj automatických optických třídaček, které by nahradily oko, mozek a ruce.

Termín třídění na základě barvy je zavádějící, jelikož jsou čipy elektrickými součástkami, je vhodnější třídění dle spektrální odrazivosti. Filtry kamer jsou dle této odrazivosti nastaveny na snímání určitého plodu apod.

Firmy, které se tímto typem třídění zabývají, jsou Bühler, Cimbria, Satake či Tomra.

4.1. Princip

Prvním principem třídění, který používá většina firem na trhu, je princip gravitačního třídění. Gravitační zde znamená, že semeno mezi kamerami propadáva volným pádem, není kontrolováno na pásu apod. (viz Obr. 13)



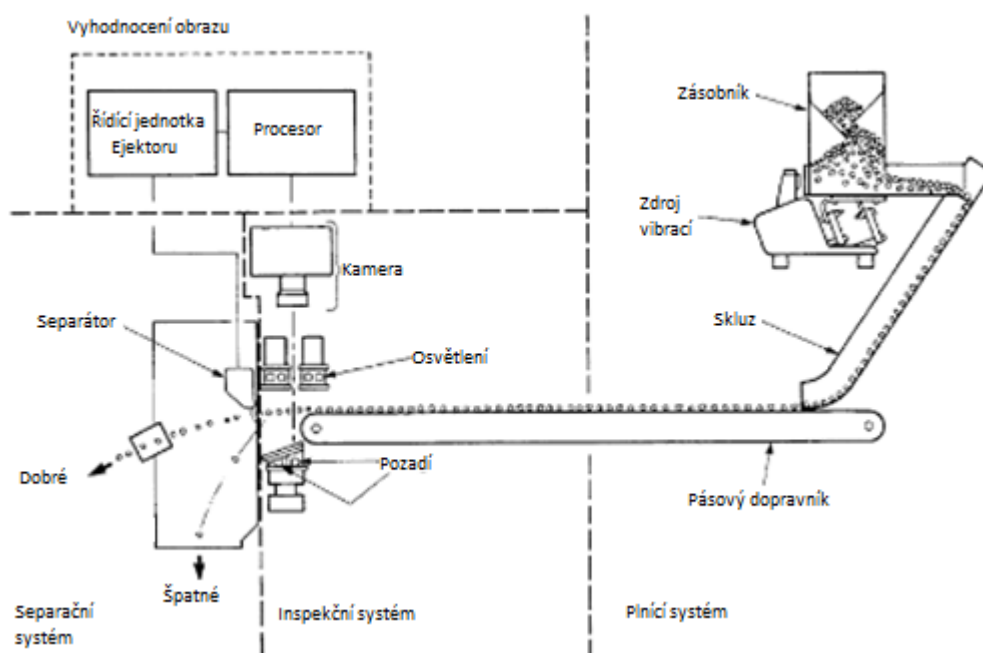
Obr. 13 Princip gravitačního třídění

Vše začíná v násypce, do které přijde produkt, který má být roztříděn. V násypce jsou mimo samotná semena také kamínky, plasty či různé zbytky, které je potřeba odstranit. Z násypky postoupí směs do vibračního podavače, na kterém dojde k rozložení na jednu vrstvu, nesmí zde být nic na sobě či přes sebe. Poté vše spadá na skluz, který je upraven tak, aby každé semeno mělo svou pozici, to je řešeno malými žlábkami. Ke každé pozici žlábkou připadá jeden vzduchový ejektor, který nežádoucí objekt odstraní ze směsi. Mezi skluzem a ejektorem se nachází nejdůležitější část optické třídačky, dvojice rychlokamer s příslušným

osvětlením. Obraz z rychlokamer je zpracován elektronikou, a pokud objekt nevyhovuje, sepne se ejektor.

Aby bylo třídění účinnější, mohou být stroje propojeny v sérii, to znamená, že směs je protříděna víckrát.

Další variantou oproti gravitačnímu třídění je použití pásu, který vyšší rychlostí objekty pošle skrze kamery (viz Obr. 14). Tato varianta umožňuje lépe regulovat rychlost třídění vlivem regulace otáček podávajícího pásu.



Obr. 14 Horizontální třídění [13]

Každý stroj je přizpůsobený tříděnému materiálu. Když je potřeba tříditi rýži, je skluz upraven pro rozměry rýže, naopak při třídění rajčat či brambor se použije pásový způsob pohybu materiálu.

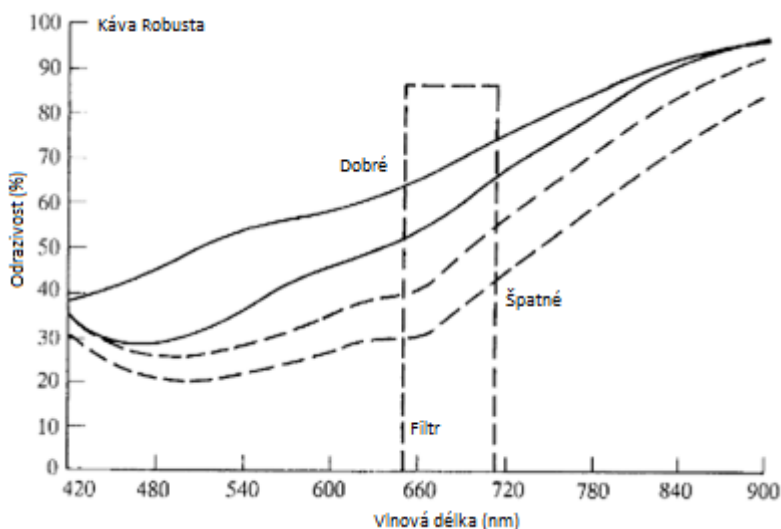
4.2. Vyhodnocení surovin barevným tříděním

Vyhodnocení barevným tříděním je dnes běžný trend. Nástup infračervených kamer možnosti optického třídění posouvají ještě k lepším výsledkům díky schopnosti nedestruktivně ověřovat chemické vlastnosti tříděných látek.

V kapitolách 4.2 až 4.5 byl text převzat a upraven z literatury [13].

4.2.1. Spektrální fotometrie

Počátek všeho nastavení optické třídičky začíná v laboratoři. Na základě dodaných surovin, které jsou akceptovatelné a neakceptovatelné, je změřena spektrální odrazivost. Používaný pojem barevné třídění je zavádějící, při vyhodnocení suroviny je kamera nastavena na danou odrazivost v daném pásmu vlnové délky, než aby kamera vyhodnocovala barvu jako celek. Na Obr. 15 můžeme vidět spektrální křivku kávového zrna (robusta), křivka je zobrazena ve viditelném spektru až do blízkého infračerveného pásma, s rostoucí vlnovou délkou se zvyšuje i její odrazivost.



Obr. 15 Spektrální křivka kávového zrna (druh Robusta) pro monochromatické třídění [13]

Ideální je, když křivka rozděluje odrazivost na dvě části, kdy můžeme prohlásit, že hodnota intenzity nabývá vyšších hodnot, jedná se o akceptovatelné zrno, a naopak pod hodnotu nižší pro nežádoucí kávové zrno. Tato ideální křivka je následně použita jako základ pro třídění.

V praxi je toto pásmo ještě rozděleno filtrem. Nastavení pásmového filtru se v tomto případě nachází v rozmezí pásma od 650 do 710 nm vlnové délky, s přihlédnutím na rozsahy barev viditelného spektra můžeme říci, že se jedná o barvu hnědou až černou.

Konvenční spektrofotometry používané v potravinářském průmyslu vyhodnocují surovinu, která má pečlivě vyčištěný povrch a je pod dokonalým osvětlením. Nicméně průmyslová třídička se musí vypořádat s neideálním povrchem při neideálních světelných podmínkách. K docílení co nejlepšího výsledku se používají počítačové spektrofotometry,

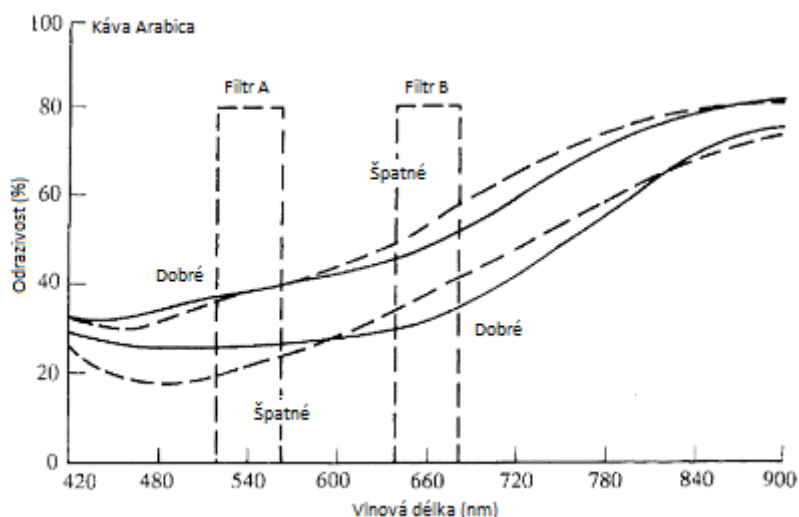
tento stroj byl navržen tak, aby výsledná spektrální křivka co nejlépe odpovídala skutečnosti. Difuzní sférické širokopásmové světlo se používá k rovnoměrnému osvětlení povrchu. Odražené světlo prochází počítačem řízeným monochromátorem, který rozdělí světlo na vlnové délky. Výstup je měřen vhodným detektorem, výsledná křivka může být variací vlnových délek a jejich odrazivosti.

4.2.2. Monochromatické třídění

Třídění popsané v předešlém bodu (4.2.1) se nazývá monochromatické. Z názvu vyplývá, že třídění je založeno na jednom pásmu vlnových délek a jim odpovídající hodnotě odrazivosti. Aby byla účinnost tímto způsobem co nejvyšší, musí být znatelný rozdíl mezi vysokou a nízkou odrazivostí (viz Obr. 15). Typickým použitím tohoto principu je odstranění na základě tmavé, např. u arašídů nebo rýže, na kterých jsou vady v podobě černých skvrn.

4.2.3. Bichromatické třídění

Bohužel, ne vždy je možné najít jednu oblast spektra, ve které hodnoty intenzity jsou velice rozdílné, v těchto případech je potřeba použít složitější přístup vyhodnocení. Způsob bichromatického třídění zahrnuje měření ve dvou různých pásmech vlnových délek.



Obr. 16 Spektrální křivka kávového zrna (druh Arabica) pro monochromatické třídění [13]

— akceptované, - - - neakceptované

Na Obr. 16 jsou zobrazeny dva páry křivek, plné čáry znázorňují hranice pro akceptovatelné zrno – jak ze strany světlosti, tak tmavosti, druhý pár křivek připadá neakceptovatelnému zrnu. Bohužel se zde nenachází žádná oblast vlnových délek, ve které jsou křivky rozdílné. Když změříme hodnotu odrazivosti v místě A ve vlnové délce 540nm a poté hodnotu z místa B v 660nm a spočítáme poměr A:B, zjistíme, že by došlo k nesprávné separaci dvou zrn.

Bichromatické třídění se používá v případě, že monochromatické třídění nemůže být použito. Je potřeba duplikovat optické a detekční komponenty, dělič světla a výkonnější elektroniku.

4.2.4. Duální monochromatické třídění

Třetí type způsobu třídění je podobný bichromatickému, zde však nedochází k výpočtu poměru mezi dvěma pásmy vlnových délek. Měření, jak z názvu vyplývá, monochromaticky probíhá ve dvou pásmech. Tento způsob se používá tam, kde je potřeba detekovat dva druhy vad, nebo přítomnost jiného materiálu, každý se specifickou spektrální křivkou.

Příkladem duální monochromatického třídění je použito u bílých fazolích, odstranění vady se nachází v odrazivosti ve vlnových délkách modré barvy a bílé kameny jsou odstraněny v pásmech blízkého infračerveného pásma.

4.2.5. Trichromatické třídění

Techniku bichromatického třídění lze rozšířit na trichromatické měření. Informace získaná ze třetího pásmového filtru se často používá pro detekci nežádoucích materiálů, např. sklad, kamení, housenky či myši.

Trichromatické třídění umožňuje třídění na základě tvaru a velikosti, volbou vhodné modifikace v třídícím algoritmu. V tomto případě mohou být objekty stejné barvy, ale jiného tvaru lépe roztříděny. Například hrachový lusk může být rozlišen od hrášku a zelených stopek, nebo zelených housenek od zelených hrášků. Objekty, které mají vadu, jsou příliš velké či malé, nesprávného tvaru jsou touto metodou také efektivně rozděleny.

4.2.6. Fluorescenční techniky

Ne všechny vady jídla jsou viditelné jen na základě jiné barvy. Bylo zjištěno, že neviditelné defekty (např. bakterie) fluoreskují, když jsou ozářeny dlouhovlnným ultrafialovým světlem (350 nm), toto zjištění může být použito jako další nástroj pro zlepšení třídění.

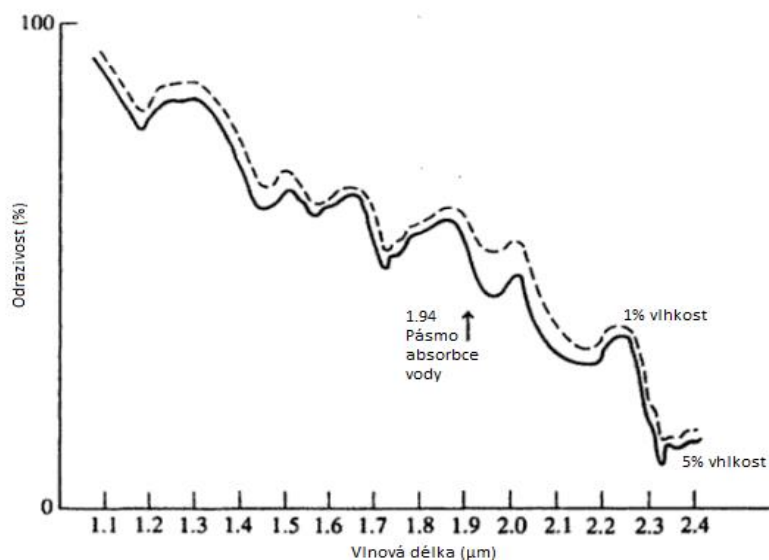
Tato technika byla původně používána pro odstranění vad kávových zrn, nyní se používá i při detekci vad arašídů, mandlí či brusinek.

4.2.7. Infračervené techniky

Poslední trendy v optickém třídění se posouvají z viditelného spektra do spektra infračerveného. Při stanovení odrazivosti jídla má největší vliv jak absorpce vody, tak i další chemické vlastnosti. Bichromatické infračervené stroje jsou zvláště účinné v odstranění úlomků skořápek lískových oříšků.

4.3. Vyhodnocení NIR technologií

Použití NIR technologií (blízkého infračerveného) nám umožňuje zkoumat chemické vlastnosti pozorovaných látek nedestruktivní metodou. Technologie se používá pro stanovení nutričních hodnot, jako jsou cukry, tuky nebo obsah bílkovin pro potraviny cereálií, mléčných výrobků či kávy. Dále je možno kontrolovat vrstvy nanášených

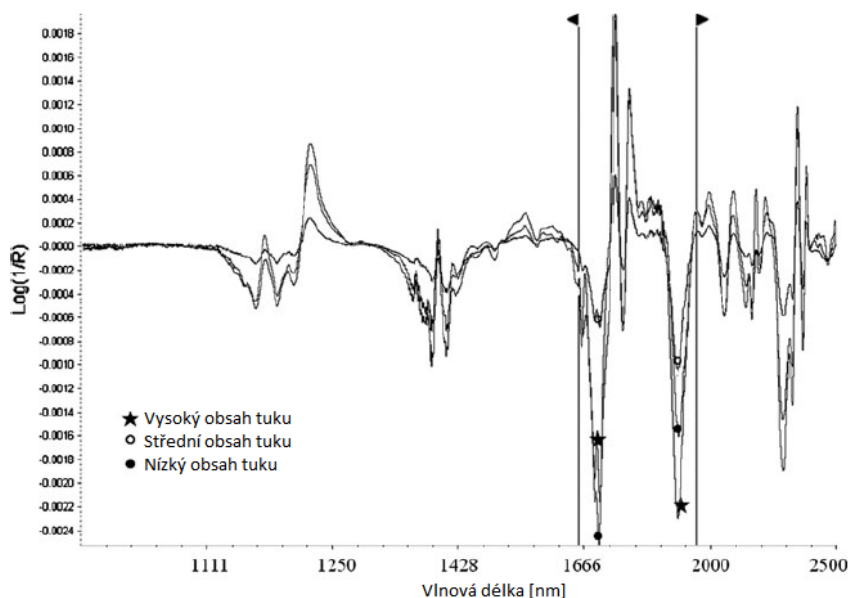


Obr. 17 Odrazivost v NIR pásmu mléčného prášku - 42 -[13]

ochranných vrstev na plasty či papír.

Na Obr. 17 můžeme vidět dvě rozdílné spektrální křivky pro sušené mléko. Díky NIR spektroskopii jsme schopni rozlišit obsah vody v prášku.

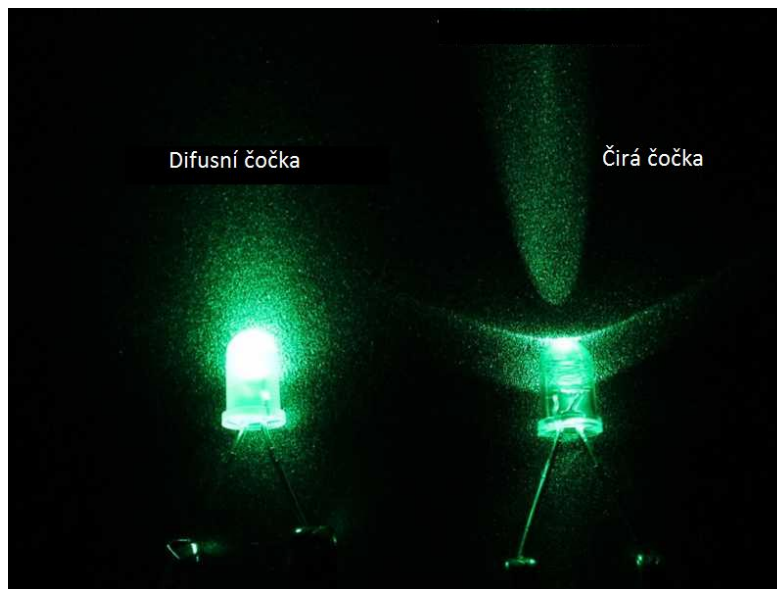
Na Obr. 18 je ukázka kvalitativního použití NIR záření pro stanovení obsahu tuku ve slunečnicových semenech.



Obr. 18 Křivka absorpce NIR záření u slunečnicových semen [14]

4.4. Osvětlení

Největším problémem při snímání obrazu je nedokonalost odrazivé plochy a její stíny, pro nejlepší výsledky je zapotřebí difuzní světlo. Difuzní světlo, neboli rozptýlené, je světlo, které na povrch objektu dopadá stejnoměrně a dochází k zamezení nežádoucích stínů.



Obr. 19 Porovnání difuzní a čiré čočky LED diody

4.5. Separace

Obvyklým zařízením pro separaci je vysokorychlostní solenoid nebo piezoelektrický ventil, který pustí malou dávku stlačeného vzduchu skrze trysku. Ejektor operuje se vstupními tlaky v rozmezí 200 až 550 kPa dle velikosti produktu. Umístění separátorů je mimo inspekční oblast, aby nedocházelo k narušení optiky a jiné jemné mechaniky. Nejdůležitějším aspektem pro ejektor je jeho časové sepnutí, aby došlo k odstranění správného objektu. Proto je důležité, aby objekt měl konstantní rychlost. Dalším důležitým aspektem je predikování trajektorie produktu. Separátory jsou navrženy pro celoroční nepřetržité používání.

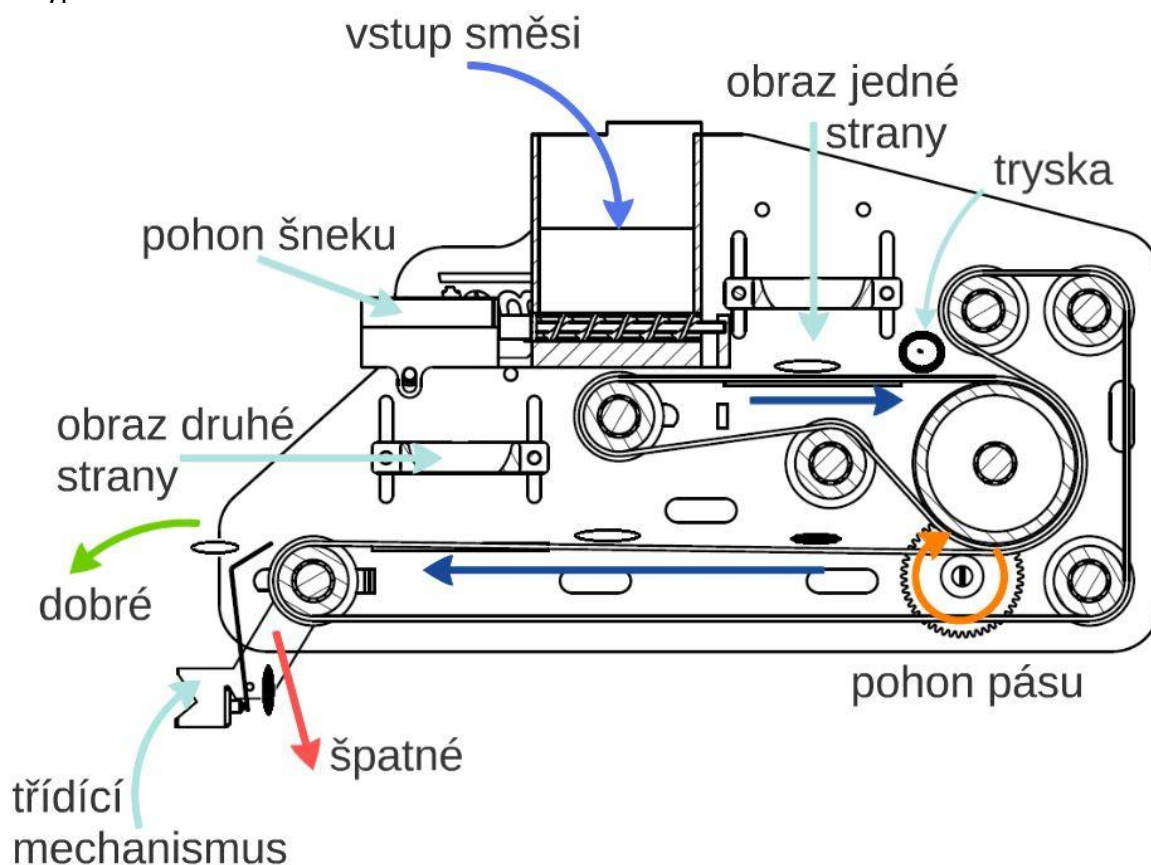
Pro velké nebo těžké objekty jsou navrženy pneumaticky spínané klapky, které jsou umístěny na konci pásu.

Dalším způsobem odstranění objektu je jejich nasávání, které je umístěno těsně nad pohybový pás.

5. Model optické třídičky

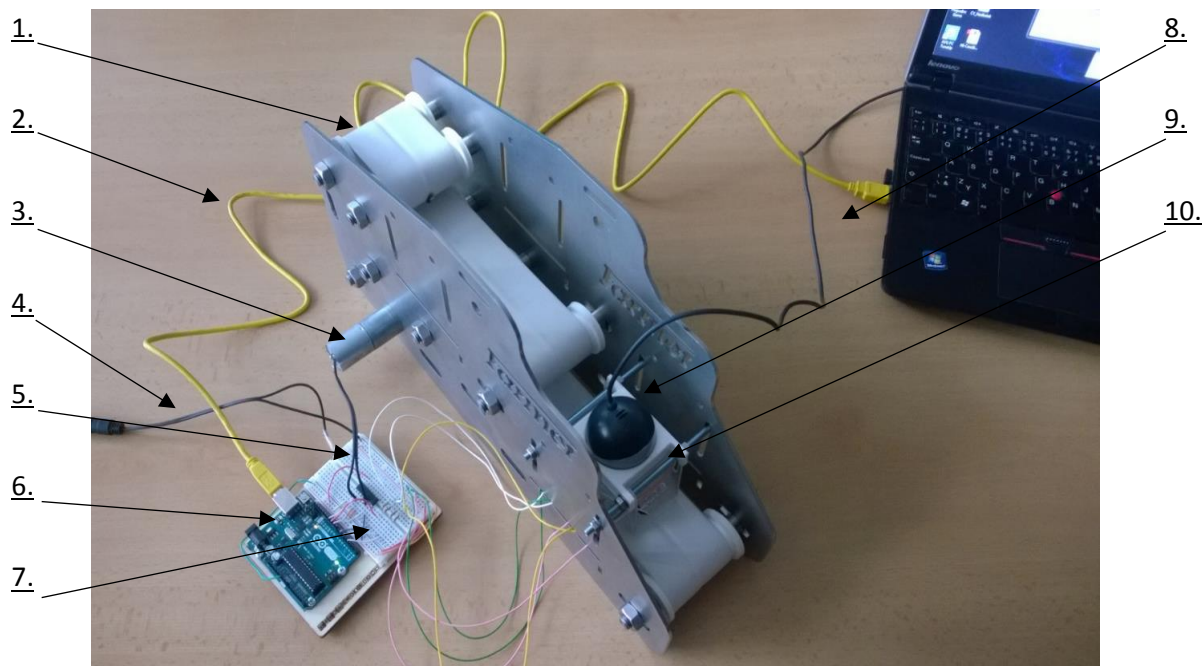
Na základě zpracované rešerše byl vyroben zmenšený a značně zjednodušený model optického třídění.

Model třídičky můžeme rozdělit do několika částí a těmi jsou pásový dopravník, násypka, třídění semen a zpracování obrazu. Tyto dílčí části lze vidět ve schématu na Obr. 20, kde je mimo jiné znázorněn pohyb semena, poloha součástí, jako jsou motory či násypka.



Obr. 20 Schéma modelu třídičky

Postup semena je následující: vsypaná směs do násypky je pohybem šneku přemístěna na pás. Ihned za násypkou se nachází první webkamera, dojde k vyhodnocení obrazu. Pokud je semeno nevyhovující, je odstraněno tryskou stlačeného vzduchu mimo pás. Jestliže semeno splňuje podmínku, postupuje dále, kde je pomocí dvou pásů v těsné blízkosti otočeno a je dále vyhodnoceno další webkamerou. Semeno se slupkou je třídícím mechanismem odloučeno a vyloupané semeno pokračuje dále do sběrné misky.

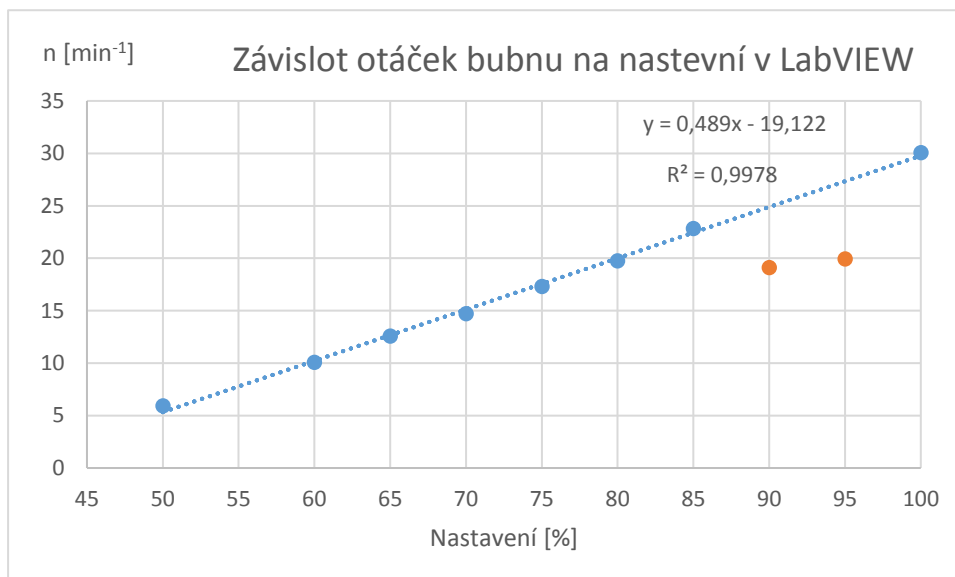


Obr. 21 Fyzický model třídičky (bez násypky, druhé webkamery a třídícího mechanismu)

- | | | | |
|----|-------------------------------|-----|---------------------------------|
| 1. | Pás pro posun semen | 6. | ARDUINO Uno (nyní Arduino MEGA) |
| 2. | Komunikační kabel pro ARDUINO | 7. | Nepájivé pole |
| 3. | 12 V DC motor | 8. | Komunikační kabel pro webkameru |
| 4. | 12 V zdroj | 9. | Webkamera Logitech QuickCam® |
| 5. | H můstek L293D | 10. | Model s LED osvětlením |

5.1. Pásový dopravník

Pohyb semena je realizován několika plochými řemenicemi a dvojicí pásu, na které byla použita gumová lišta. Gumová lišta byla narovnána a dělicí zlom zde slouží jako žlábek pro vedení semena uprostřed pásu. O samotný pohyb pásu se stará 12 V stejnosměrný motor, stejný jako u násypky, na kterém je uchyceno ozubené soukolí v poměru zubů 1:1, to nám zajišťuje shodnou rychlost otáčení obou pásů.



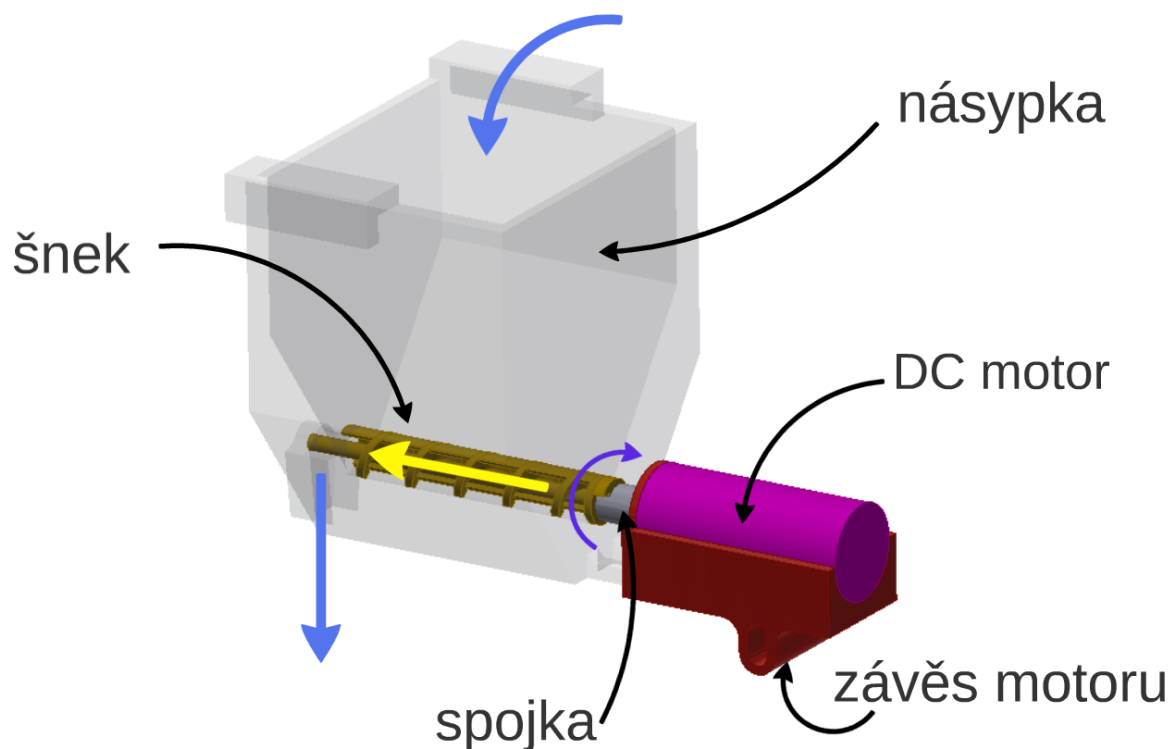
Graf 1 Závislost otáček na nastavení

Tento graf začíná až u 50 %, jelikož pod touto hodnotou se motor neroztočí vlivem odporu součástí na něj napojených. V rozmezí nastavení 85–95 % má motor nerovnoměrný chod, tudíž se nedoporučuje ho používat.

5.2. Násypka

Začátek třídění začíná v násypce. Na rozdíl od průmyslových řešení, která používají vibrační podavač a skluz, zde byl použit jednoduchý šnekový dopravník s malou násypkou.

Na Obr. 22 je kompletní model násypky, s popisy a s šipkami naznačující pohyb semena.



Obr. 22 Model násypky s pohonem

Pro výrobu všech komponent násypky byl využit 3D tisk. Jelikož bylo potřeba tisknout složité tvary relativně přesně (šnek), byla místo tradiční drátové 3D tiskárny použita technologie PolyJet. Technologie PolyJet funguje na bázi nanášení tenkých vrstev polymeru a následně jej vytvrdí UV světlem. Použita byla 3D tiskárna Objet30 od firmy Stratasys, schopná nanášet vrstvy o tloušťce 28 mikronů s přesností výrobku 0.1 mm.

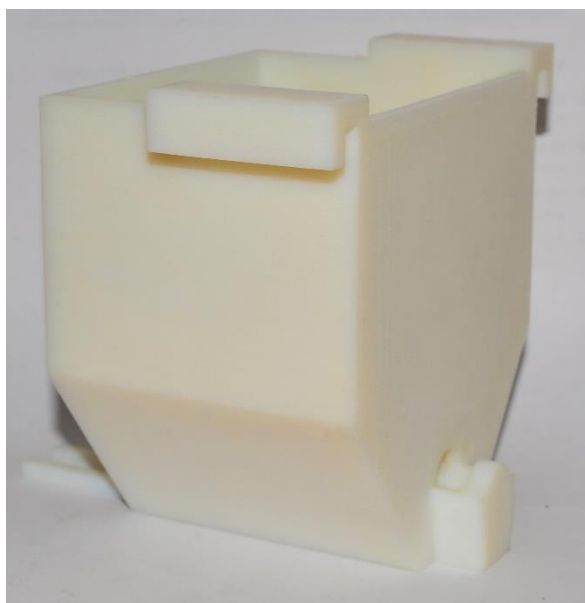
5.2.1. Model násypky

Na Obr. 22 můžeme vidět model násypky, který se skládá ze dvou částí, první část je samotné tělo násypky a druhá část je závěs pro 12 V stejnosměrný motor. Závěs leží na dvou lyžinách, které umožňují motor dát do správné polohy v ose se šnekem a také umožňuje rychlou výměnu šneků.



Obr. 23 Syrový výtisk násypky

Na Obr. 23 lze vidět výtisk z 3D tiskárny Objet30. Tisk násypky trval 24 hodin a tento výrobek je potřeba ještě očistit od podpěrných částí, na obrázku tmavší odstín barvy. V praxi se čištění výtisku provádí pomocí tlakové vody, v tomto případě byla násypka očištěna ručně s postupným oplachováním.

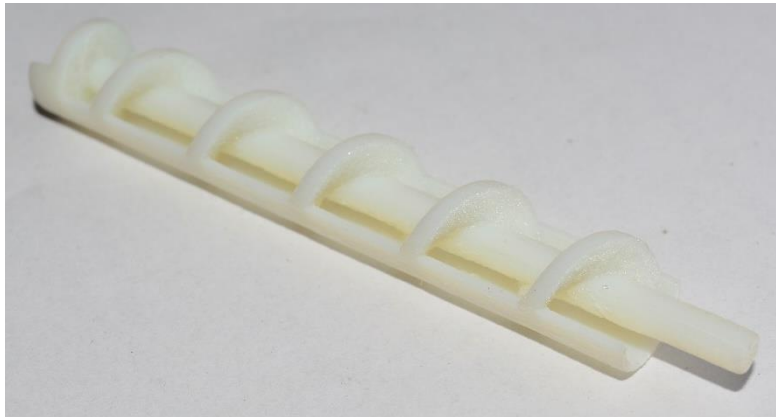


Obr. 24 Očištěný výtisk násypky

5.2.2. Šnek

Dávkování semen na pás je realizováno šnekovým dopravníkem. Pro identifikaci vhodné varianty, byly vytvořeny tři různé konstrukce šneku. Všechny šneky musí mít maximálně 12 mm v průměru a délku 85 mm.

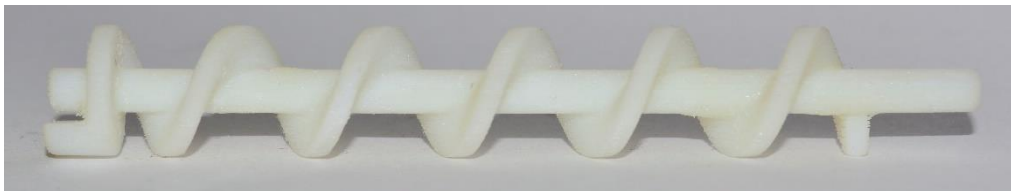
První variantou (Obr. 25) je šnek s jádrem o průměru 4 mm, šroubovice je bez zakončení a 50 % šroubovice je zakryto. Mezi krytím a jádrem vznikla mezera 4 mm, mezera na jedno semeno.



Obr. 25 Výtisk šnek s jádrem a částečným krytím

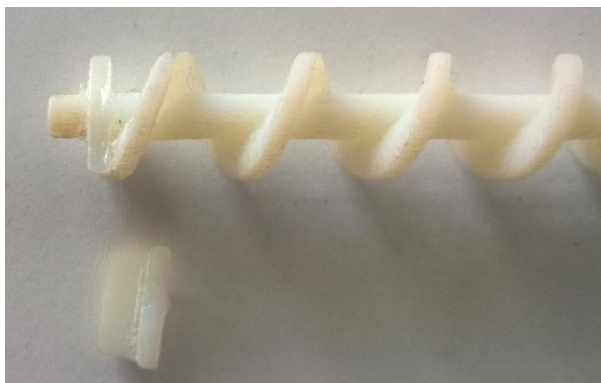
Po vyzkoušení šneku v násypce bylo zjištěno, že krytí způsobovalo drcení okolních semen a také jejich ulpívání v mezeře. Tato varianta byla vyhodnocena jako nevhodná.

Druhou variantou (Obr. 26) je šnek s jádrem o průměru 4 mm. Konec šroubovice je zakončen, ale krytí zde nebylo použito.



Obr. 26 Výtisk šneku s jádrem

Tato varianta fungovala lépe než předešlá, až do doby, kdy se konec šneku, na který je napojena spojka motoru, poškodil. Zakončená šroubovice nebyla ideální volbou, docházelo zde ke hromadění semen a následně jejich drcení či jiné deformaci.



Obr. 28 Uložený začátek šneku

Na Obr. 28 můžeme vidět poškozený šnek, ulomení bylo způsobeno jeho přetížením, které způsobilo nahromadění semen na konci šneku.



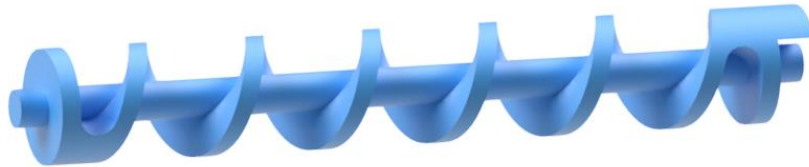
Obr. 27 Výtisk šneku bez jádra

Třetí a poslední variantou (Obr. 27) je šroubovice delší a bez jádra, která končí až nad vyústěním násypky. Problémem této varianty je její nízká tuhost, jádro je u takto namáhané součásti nutností. Delší varianta se jeví jako velice dobré řešení, semeno vždy projde skrze malý prostor, problém však nastal v zakončení šroubovice, kde se špičatá slupka semena zaklínila a zde zůstala po dlouhou dobu (Obr. 29), poté vypadla mimo pás.



Obr. 29 Zaklíněné semeno ve šneku

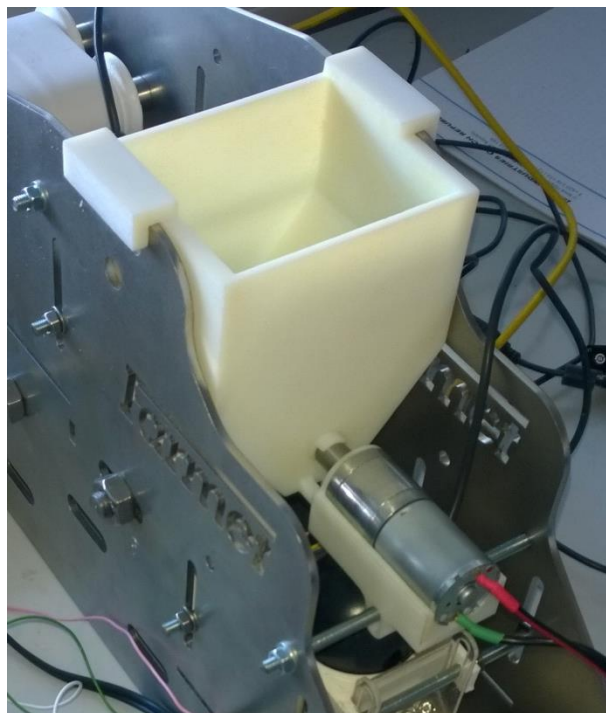
Na základě provedených pokusů s různými variantami šneků, lze finální šnek vytvořit kombinací druhé a třetí varianty. To znamená šnek s jádrem, prodlouženou šroubovicí se zpevněným začátkem a koncem.



Obr. 30 Upravený model šneku

5.2.3. Kompletní násypka

Na Obr. 31 lze vidět kompletní násypku i s osazeným pohonem šneku. Zamezení pohybu je vyřešeno dvěma úchyty po stranách násypky a v závěsu pro motor se nachází oválný otvor pro závitovou tyč.



Obr. 31 Usazená násypka v modelu

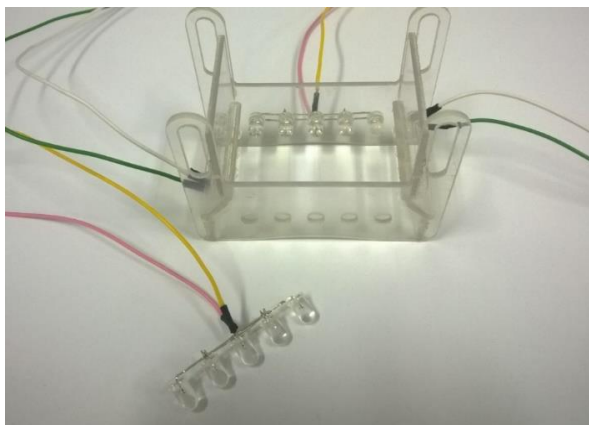
Pro výměnu šneku je potřeba násypku otočit kolem osy závitové tyče a poté násypku vysunout. Šnek je na spojce jen nasunut, lze jej tedy jednoduše nahradit za jiný.

Pro šnek ze třetí varianty odpovídá rychlost dávkování 10-12 semen za minutu pro nastavení rychlosti otáčení motoru na 60 %.

5.3. Osvětlení

Každá webkamera potřebuje pro snímání optimální světelné podmínky. Pro osvětlení webkamer byly použity dva druhy osvětlení.

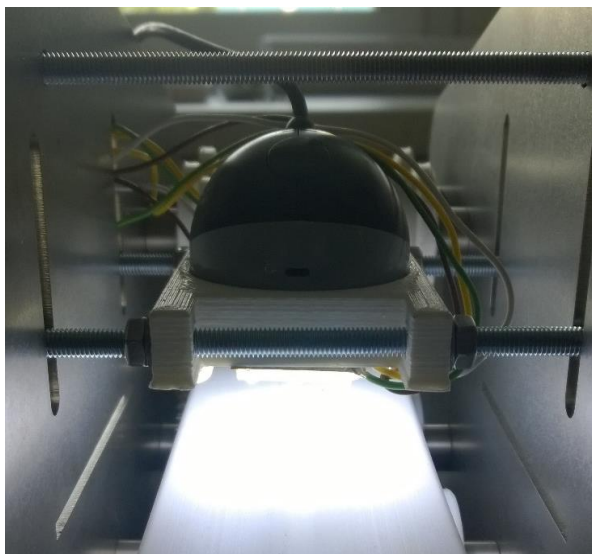
Prvním způsobem osvětlení bylo umístění bílých LED (typ L-53SWC-J+G) o průměru 4 mm do předem vyrobeného rámu z průhledného plexiskla. Rám má po obvodu celkem 18 otvorů, 10 LED směřujících rovnoběžně s pásem a 8 LED pod úhlem směrem do bodu ostření kamery. Na Obr. 32 je vidět osazený rám s LED.



Obr. 32 Model osvětlení

Každá strana rámu osazená LED je připojena k PWM (šířkově-pulzní modulaci) výstupu z Arduina, lze tedy pro každou stranu nastavit rozdílnou intenzitu světla. Oválné díry na stranách rámu zde umožňují vertikálně nastavit polohu vůči pásu, aby nedocházelo ke kolizi. Pro ještě lepší rozptyl světla by bylo vhodné použít difuzní LED, stejné, co se používají v průmyslu.

Druhou variantou osvětlení bylo umístění LED pásku s diodami ve směru snímání kamery. Tento LED osvětlovací modul má celkem 18 LED umístěných kolem kamery. Tento modul není napájen pomocí PWM, lze pouze zapnout nebo vypnout.




Obr. 33 Osvětlení LED

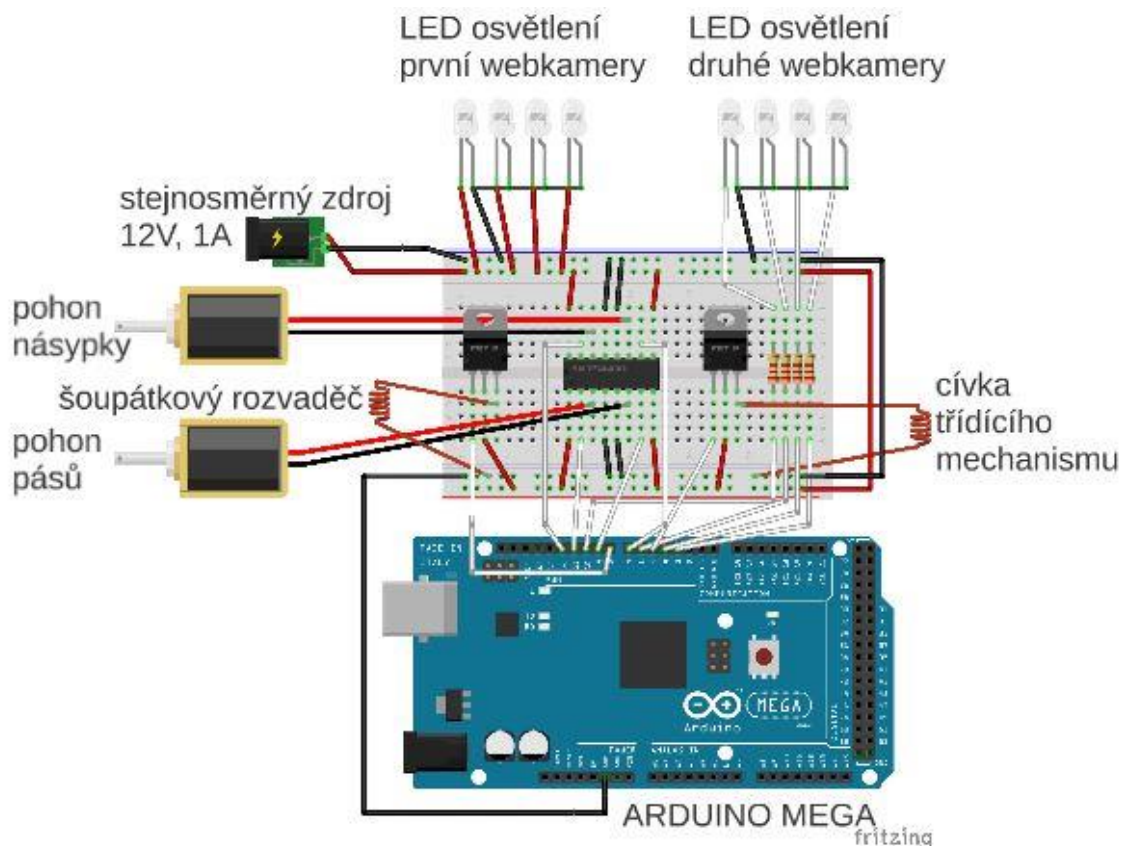
5.4. Arduino

O řízení všech elektrických součástí se stará mikro kontrolér Arduino Mega2560. Tento způsob řízení byl zvolen díky možnosti řízení z LabVIEW pomocí doinstalovaného balíčku MakerHUB LINX. Dále také kvůli dostatečnému množství PWM výstupů pro řízení dvou stejnosměrných motorů, ale také pro nastavení jasu LED.

Tab. 4 Parametry a specifikace Arduina MEGA2560 Rev3 [15]

Parametry a specifikace:	 <p style="text-align: center;">Obr. 34 Arduino MEGA2560 Rev3 [15]</p>
Mikro kontrolér: Čip: ATmega2560 Frekvence: 16 MHz Paměť: 256 KB SRAM: 8 KB EEPROM: 4 KB Napájení: 7-12 V	
Vstupy a výstupy: 54× digitální vstup/výstup (Sériový port, externí přerušení, 15x PWM) 16× analogový vstup Napětí: 5 V Proud: 20 mA	
Rozhraní: USB 2.0 (převodník na sériový port) SPI konektor	
Rozměry: 101,5 × 5,33 mm	

Na Obr. 35 je vidět schéma zapojení el. součástí a jejich propojení s Arduinem. Napájení nepájivého pole je zdrojem 12 V a 1 A. Komunikace mezi PC a kontrolérem je pomocí USB.



Obr. 35 Propojení nepájivého pole s Arduinem

5.5. Snímání obrazu

Snímání obrazu v průmyslu se provádí pomocí vysokorychlostních CCD nebo CMOS kamer. Ceny těchto kamer jsou příliš vysoké, bylo tedy rozhodnuto snímat obraz levnou webkamerou pro běžné videohovory.

Použitými kamerami je webkamera QuickCam® Connect™ od firmy Logitech (Obr. 36). Kamera disponuje čipem CMOS, rozlišením VGA (640x480) a rychlostí snímání 15 snímků za sekundu.

Kamera nedisponuje přisvětlovacími diodami a k PC je připojena USB kabelem.



Obr. 36 Webkamera Logitech QuickCam® Connect™

5.6. Třídění semen

Vzhledem k účelu třídičky bylo vyřazování semen vyřešeno dvěma způsoby. Prvním způsobem je, v průmyslu nejvíce využívaný, vyfukování stlačeným vzduchem. A druhým způsobem je mechanické odstranění.

První způsob odstranění je řešen dvoucestným rozvaděčem FESTO, který na základě informace z kamery je sepnut tranzistorem MOSFET. Otevřený rozvaděč pustí stlačený vzduch do trysky a dojde k vyfouknutí semena mimo pás.

Druhý způsob odstranění je řešen pákovým mechanismem (Obr. 37). Mechanismus je umístěn až na konci pásu, zde dojde pohybem páky ke změně směru nežádoucího semena. Páka je ovládána posuvem jádra cívky. Cívka je, stejně jako rozvaděč, spínána tranzistorem MOSFET.



Obr. 37 Třídící mechanismus

6. Řízení optické třídičky

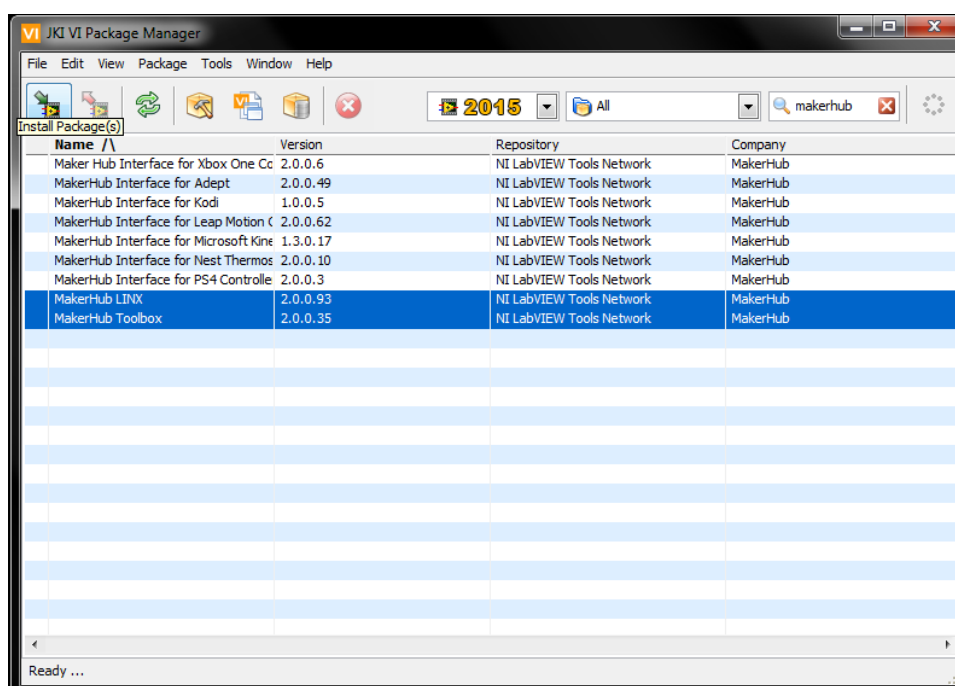
Řízení modelu probíhá na platformě LabVIEW od společnosti National Instruments. Použitou verzí LabVIEW je verze 2015 (32bit) s doinstalovanými doplňky Vision Acquisition, Vision Assistant a také MakerHUB LINX. Program MakerHUB zajišťuje řízení a komunikaci mezi LabVIEW a mikrokontrolerem Arduino.

Doplňěk MakerHUB je následníkem dříve používané LIFA Base, která mimo doplněk v LabVIEW potřebovala nahrát řídicí firmware přes programovací prostředí Arduino. Tento způsob měl časté problémy s nahráním firmwaru do Arduino a následně i problém s komunikací mezi kontrolérem a LabVIEW (PC).

6.1. Instalace MakerHUB LINX a nahrání firmwaru do kontroléru

V následujících krocích bude popsáno, jak doplněk pro Arduino nainstalovat do LabVIEW a jak nahrát řídicí firmware do kontroléru.

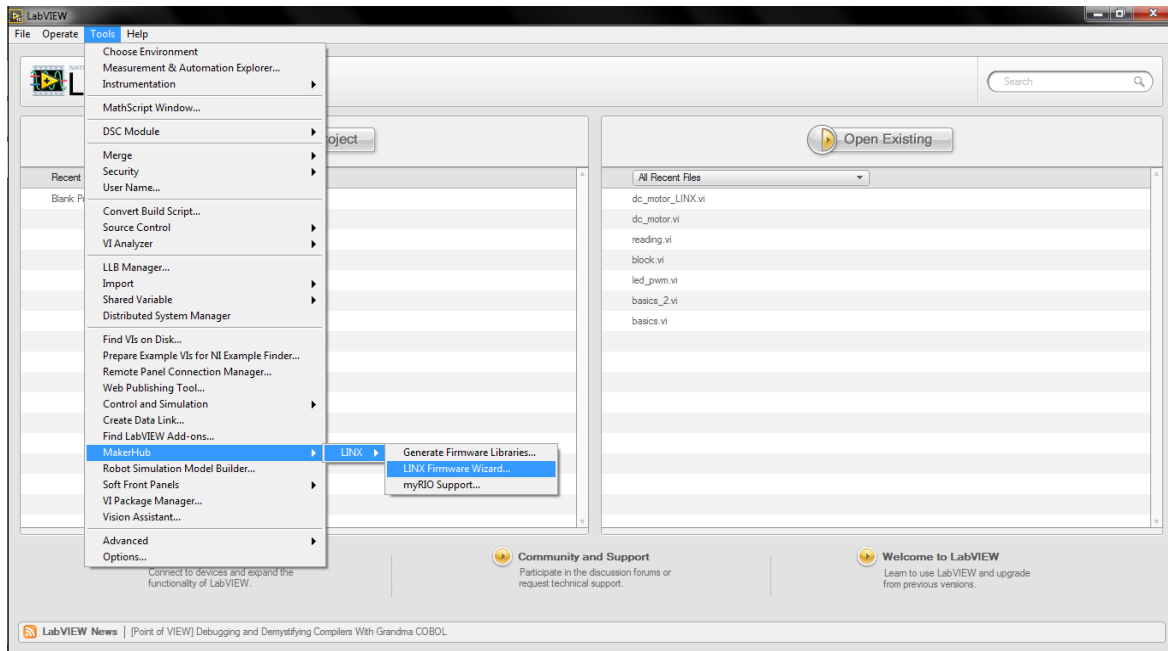
Spusťte VI Package Manager (nutno spustit jako administrátor). Vyhledejte a nainstalujte Makerhub LINX a Makerhub Toolkit viz Obr. 38. Po úspěšném nainstalování balíčku zavřete VI Package Manager. V paletách programu LabVIEW jej uvidíte pod záložkou LINX.



Obr. 38 VI Package Manager – MakerHUB LINX



Nahrání prostředí do ARDUINA, aby komunikovalo ARDUINO s LabVIEW. Otevřte LabVIEW a dle Obr. 39 spusťte LINX Firmware Wizard.



Obr. 39 LINX Firmware Wizard v paletě nástrojů LabVIEW

Po spuštění Linx Firmware Wizard postupujte následovně:

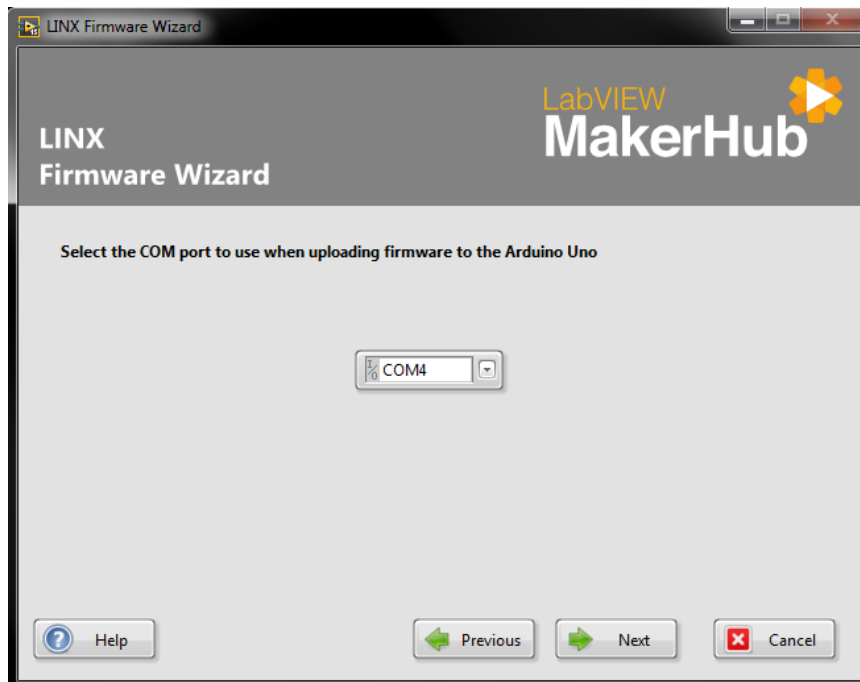
- I. Vyberte připojenou desku, ukázka pro připojení desky Arduino UNO.
 - a. Device Family – Výrobce desky, na výběr máme z výrobců (ARDUINO, Digilent, PJRS, Sparkfun)
 - b. Device Type – Umožní přesný výběr desky
 - c. Firmware Program Interface – Jak bude deska připojena (seriál/USB, WIFI, Bluetooth)

Po vybrání postupujte dále tlačítkem NEXT.



Obr. 40 Výběr kontroléru

- II. Nyní vybereme port, na kterém je připojeno ARDUINO, v tomto případě COM4. Po vybrání portu pokračujeme tlačítkem NEXT.



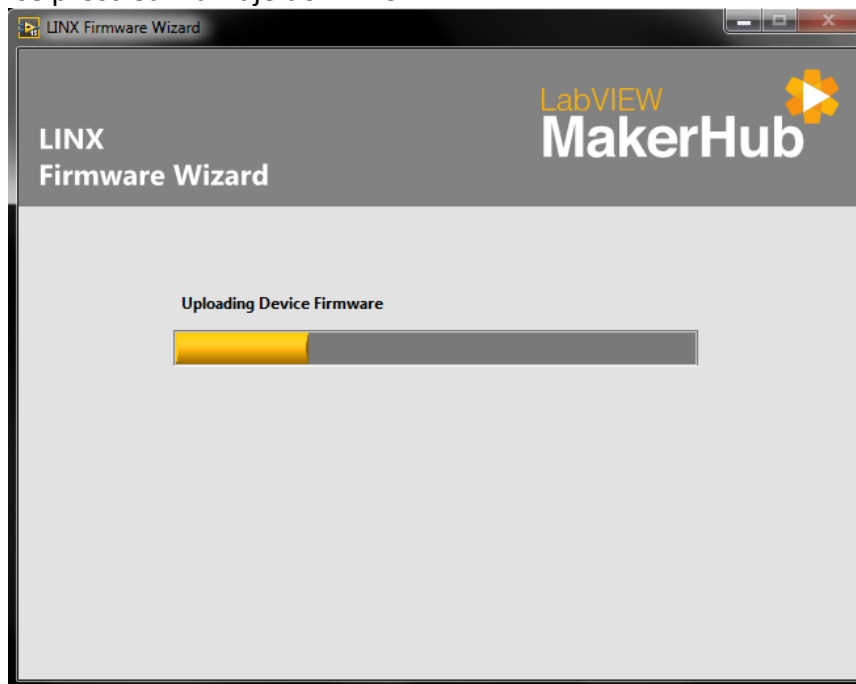
Obr. 41 Výběr portu ke komunikaci

- III. V posledním bodě vybereme, přes jaké prostředí program do ARDUINA nahrajeme. V tomto případě přes USB kabel. Po zvolení rozhraní pokračujte tlačítkem NEXT.



Obr. 42 Výběr rozhraní

IV. Nyní se prostředí nahraje do ARDUINA.



Obr. 43 Nahrávání firmwaru do kontroléru

Po úspěšném nahrání pokračujte tlačítkem FINISH. Nyní můžeme řídit ARDUINO programováním v LabVIEW.



Obr. 44 Dokončení kopírování firmwaru

6.2. Blokové schéma řídicího algoritmu

Blokové schéma je rozděleno celkem do pěti smyček. Každá smyčka má vlastní frekvenci a svou prioritu.

První smyčkou je načtení Arduina a vynulování všech hodnot na počáteční přednastavené hodnoty. Poté dojde k spuštění tří dalších smyček.

Jednou ze tří smyček je samotné řízení Arduina. Je zde ovládání rychlosti pohon jak pro násypku, tak pro pás. Nastavení jasu LED, spínání rozvaděče pro trysku a cívky pro třídící mechanismus. Tato smyčka běží s frekvencí 100 Hz a má nižší prioritu než vyhodnocení obrazu.

Dvě další smyčky jsou totožné, jedná se o zpracování obrazu z dvojice webkamer. Na základě vyhodnocení obrazu ovládají mechanismy pro odstranění semen. Tyto smyčky běží s frekvencí 1 kHz a mají nejvyšší prioritu.

Poslední smyčka je Centrální Stop, který slouží jak k vypnutí celého modelu, ale také k zastavení ostatních smyček.

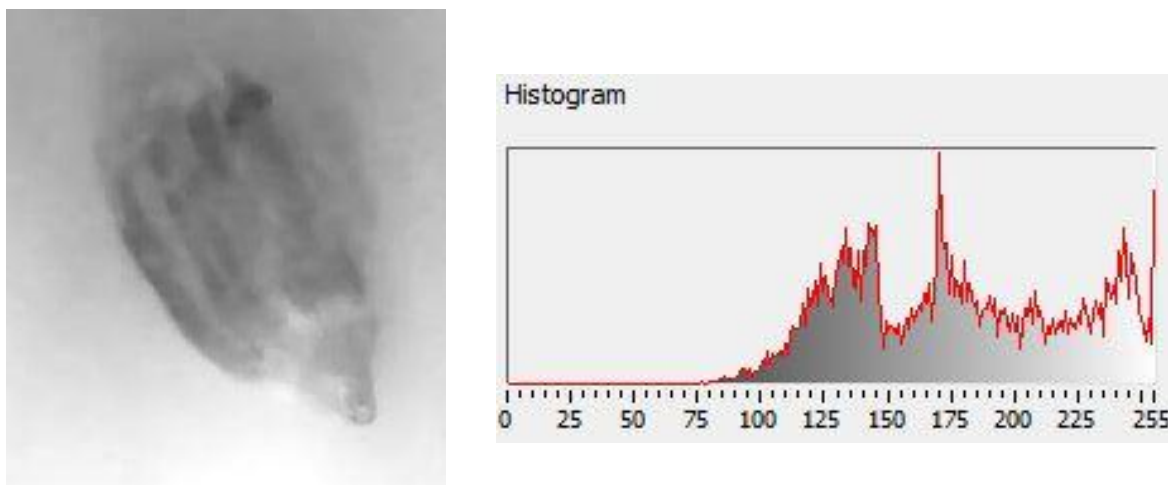
Vzhledem k velikosti blokového schématu je kompletní schéma v Příloze 1.

7. Vyhodnocení obrazu

Pro zpracování obrazu z webkamer byly použity dva moduly pro LabVIEW, těmi jsou Vision Acquisition a Vision Assistant. První modul umožňuje obraz zaznamenávat s různými nastaveními a druhý umožňuje obraz zpracovávat a vyhodnocovat.

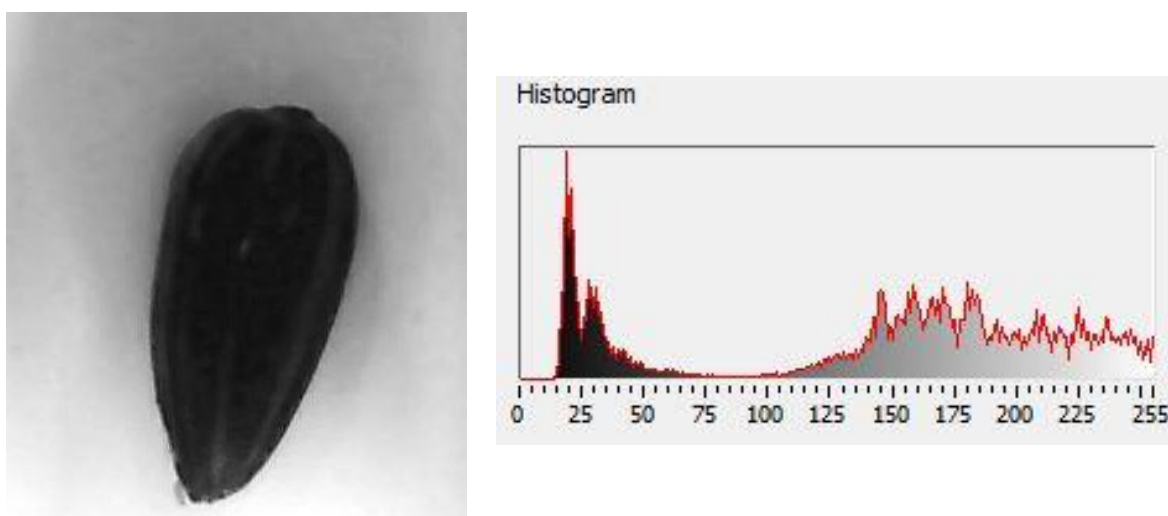
7.1. Stanovení kritérií

Pro správné vyhodnocení vyloupaného slunečnicového semena bylo potřeba stanovit rozhodující kritérium, které stanoví hranici vyloupaného a nevyloupaného semena. Na Obr. 45 je vidět semeno vyloupané a histogram dané oblasti, hodnoty intenzity zelené složky obrazu. Z histogramu vyloupaného semena lze říci, že hodnoty intenzity jsou vyšší než 75.



Obr. 45 Vyloupanuté semeno s histogramem

Když se podíváme na histogram semena nevyloupaného (Obr. 46), lze říci, že hodnota černé barvy je zde dominantní a je pod hodnotou 75. Porovnáním těchto dvou histogramů bylo stanoveno kritérium pro vyloupané semeno nad hodnotu 75 a pod touto hodnotou se

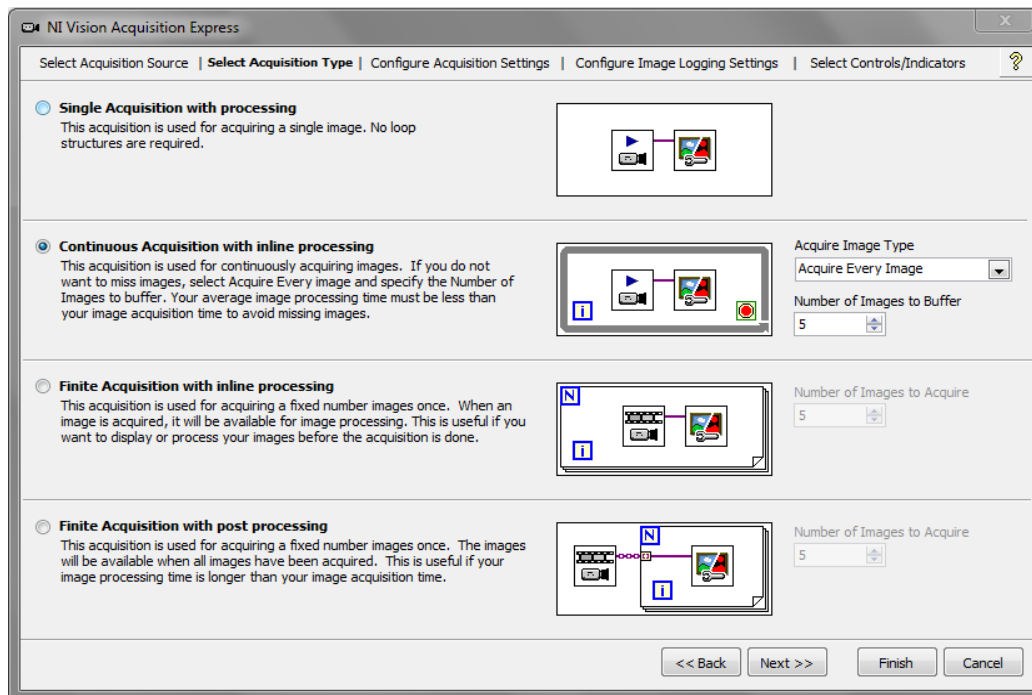


Obr. 46 Nevyloupanuté semeno s histogramem

nachází semeno nevyloupané.

7.2. Vision Acquisition

Na Obr. 47 lze vidět nejdůležitější nastavení ve Vision Acquisition a tou je záložka Select Acquisition Type, zde je potřeba zaškrtnout políčko Continuous Acq. with inline processing a v pravé části vybrat ze seznamu Acquire Every Image. Toto nastavení bude neustále pořizovat obraz, posílat ho dále ke zpracování. Další nastavení bylo ponecháno původní.



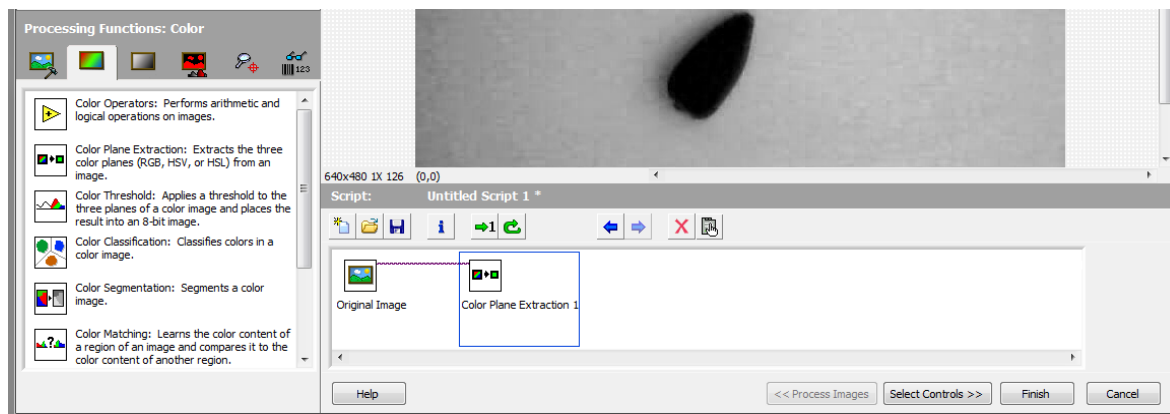
Obr. 47 Nastavení snímání obrazu ve Vision Assistant

Toto nastavení Vision Acq. bylo ponecháno stejné pro obě varianty vyhodnocení obrazu ve Vision Assistantu.

Pro vyhodnocení obrazu bylo nastavení Vision Acq. ponecháno stejné.

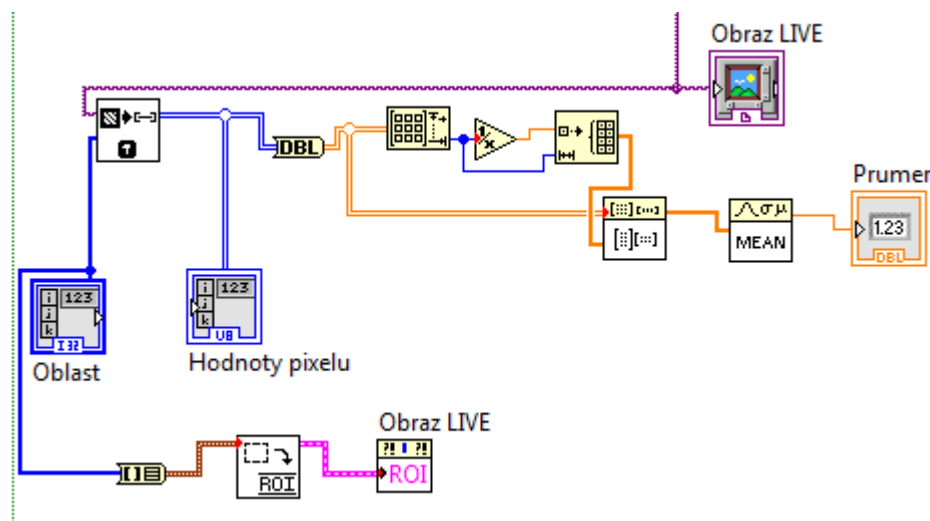
7.3. Původní způsob vyhodnocení obrazu

První možností, jak obraz vyhodnotit, bylo spočítat průměrnou hodnotu jedné složky barvy z obrazu. A poté rozhodnout kritériem menší nebo větší než 75.



Obr. 48 Nastavení vyjmutí složky z RGB

Obraz byl zaznamenán ve Vision Acquisiton a dále zpracován ve Vision Assistantu, kde došlo k vyjmutí zelené složky z obrazu RGB (Obr. 48). Jedna složka obrazu je popsána 2D maticí hodnoty intenzity jednotlivých pixelů. Tato matice je následně zprůměrována přes řádky a poté přes sloupce a výsledek je porovnán s kritériem. Aby oblast výpočtu průměrné hodnoty nebyla z celého obrazu (640x480), byla přidána pevná oblast zájmu (ROI, Region Of Interest). Tato funkce oblast zmenšila a výpočet je rychlejší. Blokové schéma výpočtu je na Obr. 49



Obr. 49 Výpočet průměrné hodnot pixelů obrazu

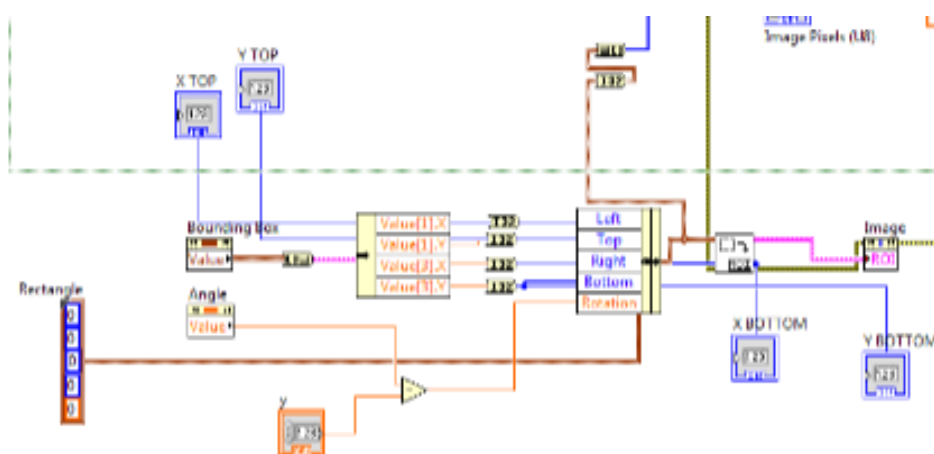
Tento způsob vyhodnocení je jednoduchý a splňoval svůj účel. Bohužel se často stávalo, že se semeno nacházelo mimo stanovenou oblast zájmu, tudíž nedošlo k vyhodnocení. Byl přidán adaptivní ROI, který funguje na základě vyhledávání shody s již nastavenou šablonou. V tomto případě to byl snímek nevyzloupaného semena.



Obr. 50 Adaptivní oblast zájmu ROI

Vyhodnocení probíhá následovně: nejprve se v obrázku najde shoda se šablonou – červený rámeček a poté dojde k překrytí výpočetním ROI – zelený rámeček. Následně dojde k výpočtu průměrné hodnoty a k rozhodnutí. Tento způsob vedl ke složitému schématu, to ve výsledku způsobovalo problém se zachycením semena v obrazu, semeno jen projelo pod kamerou a nebylo vyhodnoceno. Dalším problémem bylo zpoždění při překrývání dvou oblastí zájmu ROI, lze pozorovat na Obr. 50, kde mezera mezi rámečky je ono zpoždění.

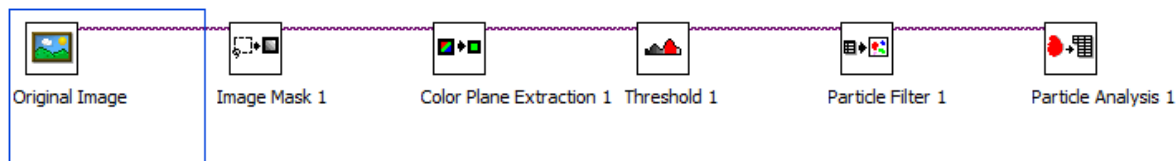
Vzhledem k těmto problémům byla potřeba najít jinou cestu vyhodnocení, rychlejší a jednodušší.



Obr. 51 Blokové schéma adaptivní ROI

7.4. Stávající způsob vyhodnocení

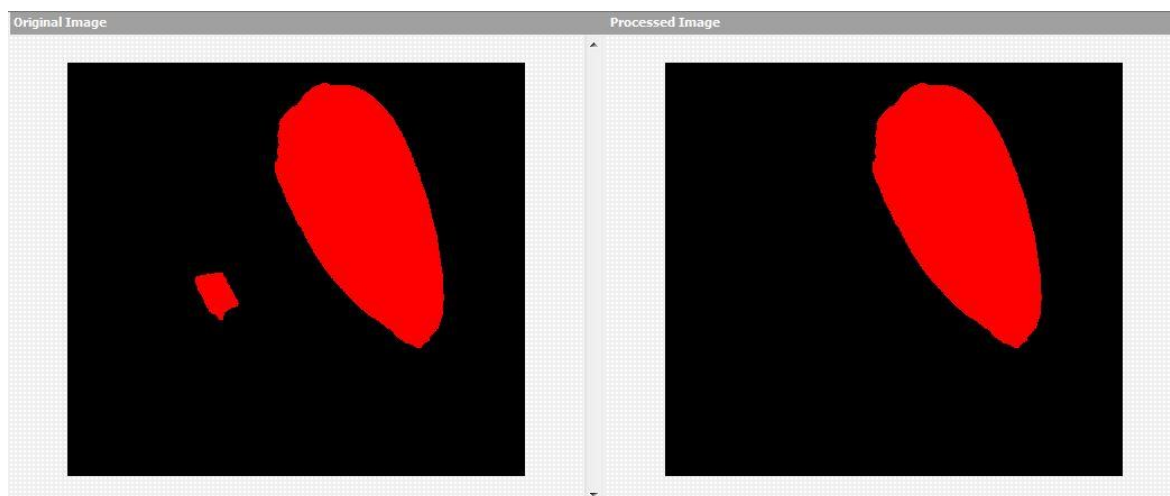
Vzhledem ke zmíněným problémům bylo potřeba změnit postup vyhodnocení obrazu. Bylo využito více filtrů ve Vision Assistantu, na Obr. 52 lze vidět celý postup, jak je obraz zpracováván.



Obr. 52 Zpracování obrazu ve Vision Assistantu

- Image Mask - oříznutí originálního obrazu na menší velikost
- Color Pane Ext. - vyjmutí jedné vrstvy barevného spektra (zelené)
- Threshold - nastavení kritéria, cokoliv pod hodnotu 75 bude zobrazeno
- Particle filter - cokoliv menší než 1000px (2 mm²) nebude zobrazeno
- Particle An. - vypsání žádaných parametrů, v tomto případě plocha vzorku

Výsledný obraz, který je zpracován pomocí Vision Assist., je již vyhodnocený a není potřeba semeno detekovat v obraze. Na Obr. 53 lze vidět nastavení funkce Particle Filter a také, jak výsledný obraz s nevylopaným semenem vypadá.



Obr. 53 Funkce Particle Filter

Jelikož je potřeba odstranit jen nevylopaná semena, není vyhodnocení díky funkci Threshold zatěžováno vyhodnocením semena vylopaného.

8. Závěr

Cílem práce bylo vytvořit funkční model laboratorní optické třídičky slunečnicových semen.

Zadání práce se podařilo splnit. Byla navržena a vyrobena kompletní konstrukce třídičky včetně dávkovacího, třídícího mechanismu, pohonů a osvětlení.

Dále byl navrhnout, postaven a vyzkoušen řídicí systém pro kompletní ovládání třídičky na platformě Arduino/LabVIEW. Podařilo se navrhnout robustní a spolehlivý vyhodnocovací algoritmus pro detekci nevykloupaných semen.

Rychlost třídění je omezena rychlostí snímání webkamery (15 snímků za sekundu), šnekovým dopravníkem (60 % nastavení odpovídá 10-12 semen za minutu), rychlostí otáčení bubny pásu (80 % nastavení odpovídá 20 min⁻¹, tj. 30 semen za minutu) a rychlostí vyhodnocovací smyčky (100 ms). Pro zrychlení procesu třídění je potřeba optimalizovat výše zmíněné komponenty.

Dávkovací a třídící mechanismy zatím nevykazují ideální spolehlivost. U dávkovacího mechanismu byl navržen nový tvar šneku na základě zkušenosti s použitými tvary šneků. Pneumatické vyhazování semen funguje spolehlivě. Mechanické třídění semen na konci pásu ještě vyžaduje optimalizaci.

LITERATURA

- [1] Elektromagnetické spektrum. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetické_spektrum
- [2] Ultrafialové záření. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Ultrafialové_záření
- [3] Infračervené záření. In: *Wikipedia* [online]. [cit. 2017-06-24]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Infračervené_záření
- [4] RGB. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-06-25]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/RGB>
- [5] Charged-Coupled device. In: *Wikipedia* [online]. [cit. 2017-04-22]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Charge-coupled_device
- [6] CMOS Image Sensor. In: *Olympus Micro* [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <http://www.olympusmicro.com/primer/digitalimaging/cmosimagesensors.html>
- [7] FSI vs. BSI. In: *DailyTECH* [online]. [cit. 2017-05-29]. Dostupné z: <http://www.dailytech.com/iPhone+6s+Focus+Pixels+Are+Already+Used+in+Galaxy+S5/article36587.htm>
- [8] What is CMOS sensor. In: *Engineers Garage* [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <https://www.engineersgarage.com/articles/what-is-cmos-sensor?page=5>
- [9] CCD and CMOS. In: *Sony alpha rumors* [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <http://www.sonyalpharumors.com/sony-will-no-more-make-ccd-sensors-future-is-cmos-only/>
- [10] Bandpass Filter. In: *Schneider Kreuznach* [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: http://www.schneiderkreuznach.com/en/industrial-solutions/industrial-filters/products/filter-types/bandpass-filters/?tx_curoprodukt_db_pi1%5B1_id%5D=13&no_cache=1
- [11] *IF 489 IR Cut Filter*. Dostupné také z: http://www.schneiderkreuznach.com/fileadmin/user_upload/bu_industrial_solutions/industriefilter/Cut/IF_489.pdf
- [12] *IR Pass Filters*. Dostupné také z: http://www.schneiderkreuznach.com/fileadmin/user_upload/bu_industrial_solutions/industriefilter/Color/IF_092_098_093.pdf
- [13] KRESS-ROGERS, Erika. a Christopher J. B. BRIMELOW. *Preview - Instrumentation and sensors for the food industry* [online]. 2nd ed. Cambridge: Woodhead, 2001 [cit. 2017-04-06]. ISBN 978-185-5735-606. Dostupné z: <https://books.google.co.uk/books?id=cJRc8NHac5wC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>

- [14] GRUNVALD, Anna Karolina, Claudio Guilherme Portela DE CARVALHO, Rodrigo Santos LEITE, José Marcos Gontijo MANDARINO, Juliana Leite GONÇALVES, Carlos Alberto DE BASTOS ANDRADE a Carlos Alberto SCAPIM. Discriminant Analysis of Sunflower Seeds for Fatty Acid Composition Using NIR Spectroscopy. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 2012, 89(6), 995-1001. DOI: 10.1007/s11746-011-2003-9. ISSN 0003-021x. Dostupné také z:
<http://link.springer.com/10.1007/s11746-011-2003-9>
- [15] Arduino: Arduino Mega2560 Rev3. *Arduino.cc* [online]. [cit. 2017-06-28]. Dostupné z: <https://store.arduino.cc/arduino-mega-2560-rev3>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Elektromagnetické Spektrum [1]	2 -
Obr. 2 Bitový popis barev [4]	4 -
Obr. 3 Dopad fotonů na CCD čip [5]	5 -
Obr. 4 CCD čip jako čtečka čárového kódu [5]	6 -
Obr. 5 Plošný CCD čip [5]	6 -
Obr. 6 Model fotodiody pro červenou barvu [6]	7 -
Obr. 7 Porovnání struktur FSI a BSI [7]	7 -
Obr. 8 Porovnání zpracování dopadu světla [9]	8 -
Obr. 9 Interpolace barvy na Bayerově filtru [5]	9 -
Obr. 10 Pásmový filtr [10]	9 -
Obr. 11 Filtr blokující Infračervené záření [11]	10 -
Obr. 12 Filtr propouštějící Infračervené záření [14]	10 -
Obr. 13 Princip gravitačního třídění	12 -
Obr. 14 Horizontální třídění [13]	13 -
Obr. 15 Spektrální křivka kávového zrna (druh Robusta) pro monochromatické třídění [13] — akceptované, - - - neakceptované	14 -
Obr. 16 Spektrální křivka kávového zrna (druh Arabica) pro monochromatické třídění [13] — akceptované, - - - neakceptované	15 -
Obr. 17 Odrazivost v NIR pásmu mléčného prášku - 42 -[13]	17 -
Obr. 18 Křivka absorpce NIR záření u slunečnicových semen [14]	17 -
Obr. 19 Porovnání difuzní a čiré čočky LED diody	18 -
Obr. 20 Schéma modelu třídačky	19 -
Obr. 21 Fyzický model třídačky (bez násypky, druhé webkamery a třídícího mechanismu)	20 -
Obr. 22 Model násypky s pohonem	22 -
Obr. 23 Surový výtisk násypky	23 -
Obr. 24 Očištěný výtisk násypky	23 -
Obr. 25 Výtisk šnek s jádrem a částečným krytí	24 -
Obr. 26 Výtisk šneku s jádrem	24 -
Obr. 27 Výtisk šneku bez jádra	25 -
Obr. 28 Ulomený začátek šneku	25 -
Obr. 29 Zaklíněné semeno ve šneku	25 -
Obr. 30 Upravený model šneku	26 -
Obr. 31 Usazená násypka v modelu	26 -
Obr. 32 Model osvětlení	27 -
Obr. 33 Osvětlení LED	27 -
Obr. 34 Arduino MEGA2560 Rev3 [15]	28 -
Obr. 35 Propojení nepájivého pole s Arduinem	29 -
Obr. 36 Webkamera Logitech QuickCam® Connect™	30 -
Obr. 37 Třídící mechanismus	30 -
Obr. 38 VI Package Manager – MakerHUB LINX	31 -
Obr. 39 LINX Firmware Wizard v paletě nástrojů LabVIEW	32 -

Obr. 40 Výběr kontroléru.....	- 32 -
Obr. 41 Výběr portu ke komunikaci.....	- 33 -
Obr. 42 Výběr rozhraní	- 33 -
Obr. 43 Nahrávání firmwaru do kontroléru	- 34 -
Obr. 44 Dokončení kopírování firmwaru	- 34 -
Obr. 45 Vyloupenuté semeno s histogramem.....	- 36 -
Obr. 46 Nevyloupenuté semeno s histogramem	- 36 -
Obr. 47 Nastavení snímání obrazu ve Vision Assistant	- 37 -
Obr. 48 Nastavení vyjmutí složky z RGB	- 38 -
Obr. 49 Výpočet průměrné hodnot pixelů obrazu	- 38 -
Obr. 50 Adaptivní oblast zájmu ROI.....	- 39 -
Obr. 51 Blokové schéma adaptivní ROI	- 39 -
Obr. 52 Zpracování obrazu ve Vision Assistantu	- 40 -
Obr. 53 Funkce Particle Filter	- 40 -

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 Závislost otáček na nastavení	- 21 -
--	--------

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Rozdělení UV záření dle vlnových délek [2]	- 2 -
Tab. 2 Rozdělení viditelného spektra [1]	- 3 -
Tab. 3 Rozdělení IR záření dle vlnových délek [3]	- 3 -
Tab. 4 Parametry a specifikace Arduina MEGA2560 Rev3 [15].....	- 28 -

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1. – Blokové schéma	
-----------------------------	--