

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky

Systémová integrace softwarových produktů pro "Průmysl 4.0"
ve výrobní společnosti
Bc. Roman Štěpánek

Diplomová práce
2021

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Roman Štěpánek**
Osobní číslo: **I19290**
Studijní program: **N0613A140007 Informační technologie**
Studijní obor: **Informační technologie**
Téma práce: **Systémová integrace softwarových produktů pro „Průmysl 4.0“ ve výrobní společnosti**
Zadávající katedra: **Katedra softwarových technologií**

Zásady pro vypracování

Cílem diplomové práce je navrhnout a realizovat integraci softwarových produktů ve společnosti, která plánuje nebo realizuje přechod na tzv. „Průmysl 4.0“.

Student v rámci diplomové práce provede analýzu existujících procesů ve výrobní společnosti, zmapuje využívané softwarové produkty používané za účelem detekce dekorativních vad a navrhne a implementuje systémovou integraci v duchu „Průmysl 4.0“ za účelem optimalizace jejich využití s ohledem na využívání aplikací, posouzení dopadu na licenční politiku ve společnosti apod. Pro popis systémové integrace budou použity vhodné výrazové prostředky (např. UML, SysML apod.).

Jedním z hlavních zaměření diplomové práce bude realizace vlastní aplikace nad SW produktem ViDi od společnosti Cognex za účelem prověření možnosti nasazení strojového učení dekorativních vad výrobků. Specifickým cílem diplomové práce je také posouzení možného paralelního zpracování pro detekci dekorativních vad výrobků.

V rámci praktické části dojde k otestování navrhovaných přístupů na dostupném HW i SW vybavení a vyhodnocení navrhovaných opatření.

Rozsah pracovní zprávy:

Rozsah grafických prací:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

*VENERI G., CAPASSO A. Hands-On Industrial Internet of Things: Create a powerful Industrial IoT infrastructure using Industry. Packt Publishing, 2018, 556 pp. ISBN 978-1789537222.

*MAHMOOD Z. The Internet of Things in the Industrial Sector: Security and Device Connectivity, Smart Environments, and Industry 4.0 (Computer Communications and Networks) . Springer, 2019, 326 pp. ASIN: B07W39XG91

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Michael Bažant, Ph.D.

Katedra softwarových technologií

Datum zadání diplomové práce:

6. listopadu 2020

Termín odevzdání diplomové práce:

15. května 2021

Ing. Zdeněk Němec, Ph.D. v.r.
děkan

L.S.

prof. Ing. Antonín Kavička, Ph.D. v.r.
vedoucí katedry

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 25. 5. 2021

Roman Štěpánek

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu diplomové práce, doc. Ing. Michaelu Bažantovi, Ph.D., za podnětné připomínky, cenné rady a odborné vedení této práce. Dále bych tímto chtěl vyjádřit poděkování mé rodině a partnerce za podporu v průběhu celého studia.

ANOTACE

Diplomová práce se zaměřuje na tvorbu a integraci softwaru dle kritérií Průmyslu 4.0.

V teoretické části jsou popsány základní principy a celkový koncept čtvrté průmyslové revoluce. Další část je věnována analýze stávajících procesů ve výrobní společnosti HELLA AUTOTECHNIK NOVA, s.r.o. především z oboru kontroly kvality, s cílem optimalizovat stávající procesy a prozkoumat dopady licenční politiky.

Praktická část práce se zaměřuje na tvorbu a aplikování softwaru, který využívá neuronové sítě pro vyhodnocování nedostatků na výrobcích. Dále dochází k využití simulační studie pro ověření funkčnosti navrhovaných opatření a následné shrnutí získaných výstupů. V závěru jsou pak stanoveny základní požadavky a rizika spojená s integrací systému do praxe.

KLÍČOVÁ SLOVA

Průmysl 4.0, umělá inteligence, neuronová síť, Kvalita 4.0, kontrola kvality.

TITLE

System integration of software products for "Industry 4.0" in a manufacturing company

ANNOTATION

Master's thesis is focused on software creation and integration according to the Industry 4.0 criteria.

Theoretical part is focused on describing basics principles and overall concept of the Fourth Industrial Revolution. There is also analysis of existing processes in manufacturing company HELLA AUTOTECHNIK NOVA, s.r.o. The analysis is primarily focused on field of quality control to optimize existing processes and examine impacts of licensing policy.

Practical part is focused on software creation and application which uses neural networks for evaluation of defects on products. Then there is application of simulation study for verification of functionality of the proposed measures and summary of the results. In the end there are determined basic requirements and risks which may occur when integrating the system.

KEYWORDS

Industry 4.0, artificial intelligence, neural network, Quality 4.0, quality control.

OBSAH

Seznam obrázků	10
Seznam tabulek	11
Seznam grafů	12
Seznam ukázek kódu	13
Seznam zkratk	14
Úvod	15
1 Průmysl 4.0	16
1.1 Koncept.....	16
1.1.1 Digitalizace	17
1.1.2 Kyberfyzikální systémy	18
1.1.3 Internet věcí	18
1.1.4 Umělá inteligence	18
1.1.5 Cíle a budoucnost Průmyslu 4.0	19
1.2 Přínosy a rizika konceptu Průmysl 4.0	21
1.2.1 Kvalita života	21
1.2.2 Nezaměstnanost	21
1.2.3 Kybernetické útoky	23
1.3 Trendy a inovace.....	23
1.4 Kontrola kvality v Průmyslu 4.0.....	26
2 HELLA AUTOTECHNIK NOVA, S.R.O.	30
2.1 O Společnosti.....	30
2.2 Proces vstřikování plastů	30
2.3 Proces dekorativní kontroly kvality výrobků.....	31
2.3.1 Aktuální stav	33
2.4 Využívaný software	35
2.5 Dopady licenční politiky.....	36
3 Cognex	38
3.1 Produkty pro 2D vidění.....	38

3.2	Produkty pro 3D vidění.....	38
3.3	Čtečky čárových kódů	39
3.4	Softwarové produkty.....	39
3.5	Knihovna ViDi.....	41
3.5.1	Blue Locate Tool	41
3.5.2	Red Analyze Tool	42
3.5.3	Green Classify Tool	43
3.5.4	Blue Read Tool	44
4	Použité technologie	45
4.1	Programovací jazyky	45
4.1.1	C#.....	45
4.1.2	Python	45
4.1.3	Python.NET	46
4.1.4	Popularita programovacích jazyků	47
4.2	Neuronové sítě	47
4.3	Datové struktury	48
4.4	Vícevláknové programování.....	50
4.5	Využité algoritmy z oboru operačních systémů	50
5	Implementace	52
5.1	Požadavky na implementaci	52
5.2	Problematika snímkování	52
5.3	První etapa	55
5.4	Druhá etapa	56
5.5	Popis výsledné aplikace DecoSystem.....	58
5.6	Klíčové body aplikace	59
5.6.1	Server	60
5.6.2	Thread pool	61
5.6.3	Sjednocení výsledků po vyhodnocení.....	62
5.6.4	Zamezení zbytečného vyhodnocování.....	65
5.6.5	Emulace ViDi	66

6	Simulace výpočetního uzlu	68
6.1	Sběr a analýza dat	68
6.1.1	Stanovení rozdělení náhodných hodnot.....	68
6.2	Model.....	69
6.2.1	Obecný popis pracoviště.....	69
6.2.2	Bližší nastavení modelu	70
6.2.3	Kritéria hodnocení	71
6.2.4	Stanovení počtu replikací.....	71
6.3	Výsledky	72
6.3.1	Scénář A.....	72
6.3.2	Scénář B.....	72
6.3.3	Scénář C.....	74
7	Vyvozené závěry.....	75
7.1	Požadavky na cílový systém	75
7.2	Rizika projektu.....	76
	Závěr	77
	Použitá literatura	78
	Přílohy.....	80

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Aktivita diagram dekorativní kontroly kvality výrobků	31
Obrázek 2: Světlovod	34
Obrázek 3: Světlovod s deformací	34
Obrázek 4: Nástroj lokalizace	42
Obrázek 5: Nástroj analýzy	43
Obrázek 6: Nástroj klasifikace	44
Obrázek 7: Nástroj pro čtení	44
Obrázek 8: Silnostěn	53
Obrázek 9: Půdorys silnostěnu	54
Obrázek 10: První etapa	55
Obrázek 11: Silnostěn s vyznačenou vadou	56
Obrázek 12: Aplikace DecoSystem	58
Obrázek 13: Sekvenční diagram komunikace klienta a serveru	60
Obrázek 14: Sekvenční diagram sjednocení výsledků po vyhodnocení	63
Obrázek 15: Náhled pracoviště dekorativní kontroly kvality	69

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Dlouhodobý procentuální odhad ohrožených pracovních míst	22
Tabulka 2: Poměr ohrožených a nově vzniklých pracovních míst	22
Tabulka 3: Popularita programovacích jazyků	47
Tabulka 4: Stanovení celkových výsledků.....	64
Tabulka 5: Výsledky testů pro stanovení náhodného rozdělení.....	68

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Trendy průmyslu 4.0 dle <i>StartUp Insights</i>	24
Graf 2: Stav Kvality 4.0 dle průzkumu <i>Quality 4.0 Takes More Than Technology</i>	28
Graf 3: Překážky Kvality 4.0 dle průzkumu <i>Quality 4.0 Takes More Than Technology</i>	29
Graf 4: Test barvy a svícení	35
Graf 5: Porovnání generátorů pseudonáhodných čísel.....	67
Graf 6: Směrodatná odchylka s intervalem spolehlivosti	71
Graf 7: Vytíženost výpočetního uzlu dle počtu GPU a výrobních linek.....	73
Graf 8: Délka čekání ve frontě na výpočetním uzlu	73
Graf 9: Změny vytížení po aplikování zamezení zbytečného vyhodnocování	74

SEZNAM UKÁZEK KÓDU

Ukázka kódu 1: PrematurelyTerminated	49
Ukázka kódu 2: ThreadVidi	61
Ukázka kódu 3: Načtení prvku.....	66

SEZNAM ZKRATEK

AI	Umělá inteligence (Artificial Intelligence)
CPS	kyberfyzikální systémy (Cyber-Physical System)
DoDS	distribuované odepření služby (Distributed denial of service)
DoS	odepření služby (Denial of service)
I4	Průmysl 4.0 (Industry 4.0)
IIoT	průmyslový internet věcí (Industrial internet of things)
IoT	internet věcí (Internet of things)
M2M	obousměrný bezdrátový přenos dat mezi monitorovacími zařízeními a řídicími systémy a aplikacemi (Machine2Machine)
OCR	metoda digitalizace tištěného textu (Optical Character Recognition)
PDF	Portable Document Format
PLC	Programovatelný logický automat
TNS	komunikační metoda vyvíjená dle standardů IEEE, která nabízí zcela novou úroveň determinismu v ethernetových sítích (Time-Sensitive Networking)

ÚVOD

V současné době je Průmysl 4.0 hlavním trendem ve velkém množství odvětví. Atraktivní téma láká velké množství autorů nejenom z akademického prostředí. V naprosté většině případů se nicméně jedná o obecná zpracování a zřídka dochází ke konkretizaci některého odvětví či specifického procesu. Z tohoto důvodu si autor práce klade za cíl analyzovat proces a poskytnout konkrétní implementaci, která bude součástí integrace konceptu Kvality 4.0.

V rámci této práce bude navázána spolupráce se společností HELLA AUTOTECHNIK NOVA, s.r.o., kde dojde k provedení analýzy procesu dekorativní kontroly kvality výrobků společně s procesem vstřikování plastů. Na základě získaných poznatků budou navržena vhodná řešení dle konceptu čtvrté průmyslové revoluce.

Při implementaci aplikace bude mimo jiné využito produktů od společnosti Cognex, které disponují nástroji pro detekci deformací nebo i jiných (např. dekorativních) vad. Tyto nástroje využívají algoritmy z oboru umělé inteligence, konkrétně neuronové sítě, případně i jiné přístupy. Hlavní náplní aplikace je realizace serverového vyhodnocování dekorativní kontroly kvality výrobků. Na základě měření bude následně provedena také simulační studie, aby bylo možné specifikovat požadavky na cílový výpočetní uzel.

V závěru dojde ke shrnutí všech poznatků, a především budou vyzdvižena rizika odhalená v průběhu realizace projektu. V rámci diplomové práce bude rovněž specifikována základní výpočetní kapacita uzlu.

1 PRŮMYSL 4.0

Následující kapitola seznámí čtenáře s pojmem Průmysl 4.0 a shrne jeho základní principy. Mimo jiné zde budou shrnuty také přínosy a rizika, které přichází s tímto konceptem. Závěr kapitoly se zaměřuje na kontrolu kvality z pohledu čtvrté průmyslové revoluce.

Poprvé byl termín „Industry 4.0“ zkráceně I4.0 nebo I4 použit týmem vědců z projektu high-tech, kteří pracovali pro německou vládu v roce 2011. Ve stejném roce byl tento termín na veletrhu v německém Hannoveru představen veřejnosti. O dva roky později v roce 2013 byla na stejném veletrhu představena finální koncepce I4. Definicí I4 dle Ministerstva průmyslu a obchodu z dokumentu *Iniciativa průmysl 4.0* zní „nový rámec technologické konvergence zahrnující bezprecedentní propojení digitálních, fyzických a biologických technologií“.

V této souvislosti vznikl další pojem Work 4.0. Ten má vystihovat, jak proces přechodu na I4 a především digitalizace ovlivní celý trh práce. Mnohdy jsou tyto dva pojmy Průmysl 4.0 a Práce 4.0 považovány za identické, nicméně rozdíl mezi nimi je významný. Autor bude dále užívat tyto pojmy dle jejich původně zamýšlených významů.

Dalším pojmem je chytrá továrna. Tu popisuje Elvis Hozdić ve svém článku *Smart factory for industry 4.0: A review* v překladu jako flexibilní a efektivní řešení pro výrobu, kdy jejím cílem je splnit požadavky současného trhu. Dále se snaží maximálně propojit jednotlivé průmyslové ale i neprůmyslové partnery, kteří spolu mohou digitálně snadněji spolupracovat. [14], [15]

1.1 Koncept

Jak již bylo zmíněno, celý koncept vychází z dokumentu o high-tech strategii, který byl představen v roce 2013 na veletrhu v Hannoveru. Ten si zjednodušeně bere za cíl plně elektronizovat výrobní průmysl bez nutnosti lidské účasti. V rámci České republiky vydalo Ministerstvo průmyslu a obchodu dokument *Iniciativa průmysl 4.0*. Ten se věnuje základnímu konceptu I4, především popisuje roli České republiky v procesu digitalizace a aplikování I4.

Obor I4 je velice široký a rozdílné zdroje uvádí různé klíčové prvky I4. Mezi ty, na kterých se různé zdroje shodují, jsou:

- ❖ digitalizace,
- ❖ kyberfyzikální systémy,
- ❖ internet věcí.

Další prvky do konceptu přidávají například v knize *Industry 4.0: Managing The Digital Transformation* Alp Ustundaga a Emre Cevikcan:

- ❖ datová analýza (big data, smart data),
- ❖ umělá inteligence,
- ❖ cloudové systémy,
- ❖ komunikační systémy,
- ❖ simulace,
- ❖ virtualizační technologie,
- ❖ automatizace,
- ❖ robotizace,
- ❖ aditivní výroba,
- ❖ kognitivní výpočty.

Škálu vědních oborů a technologií, které se podílejí na I4 lze jenom stěží striktně ohraničit. Dále budou popsány významné vědní obory, u kterých se autoři shodují na tom, že jsou hlavními hybateli I4, a rovněž budou zmíněny obory, kterých se přímo či nepřímo dotýká tato práce. [17]

1.1.1 Digitalizace

Jedná se o proces použití digitálních technologií ke změně obchodního modelu a poskytnutí nových příležitostí. V rámci I4 vznikl pojem digitální ekonomika. Její koncept je najít takové aktivity které lze převést na internet a díky tomu povedou tyto změny ke snížení nákladů a efektivnější práci. Díky takovéto transformaci může dojít k přehodnocení a zdokonalení interních procesů. To vše s cílem zvýšit produktivitu a uspořit náklady. Digitalizace je nutnou podmínkou pro aplikování dalších principů I4, jelikož další procesy a systémy již těží z aplikované digitalizace. Využívají data, která lze pak snadno získávat a dále zpracovávat. Velkou výhodou digitalizace je její schopnost uplatnění v libovolném oboru. [5], [14]

1.1.2 Kyberfyzikální systémy

Základní myšlenou I4 jsou kyberfyzikální systémy zkráceně CPS. Tento pojem označuje systém, který obsahuje fyzické entity, které jsou řízeny či monitorovány počítačovými algoritmy. Jedná se o těsnou vazbu mezi fyzikou a výpočetní částí.

Kyberfyzikální systémy dále dělíme na multiagentní a holonitické. Výhodou multiagentních systémů je samostatnost každého agenta, dále flexibilita a odolnost proti poruchám. Holonitické jsou rovněž multiagentní systémy, pouze agenti tvoří část výrobního přístroje, který obsahuje řídicí prvek s agentem. Takový agent pak dokáže plánovat, spolupracovat a provádět jemu předurčené činnosti. [8]

1.1.3 Internet věcí

Velice blízký výraz je internet věcí zkráceně IoT. I když oba systémy sdílí identickou architekturu, tak CPS oproti IoT má vyšší míru koordinace mezi prvky fyzické a výpočetní sekce. Nicméně koncept čtvrté průmyslové revoluce využívá pro své aplikování jak principy CPS, tak IoT, popřípadě M2M systémy. Pro popsání rozdílů CPS a IoT bude použit konkrétní příklad. Součástí CPS jsou i tzv. vestavěné systémy. Jedná se o spotřebiče v domácnosti: pračka, mikrovlnná či pečicí trouba atd. Takovéto přístroje jsou tedy samy o sobě CPS systémy. Po jejich zapojení do komunikační sítě vzniká IoT. Takovéto spotřebiče jsou specifickým příkladem CPS, přesto na nich lze názorně zobrazit základní rozdíl těchto dvou systémů. [9], [16]

1.1.4 Umělá inteligence

Jedná se o velmi komplexní a nesourodý vědní obor. Neexistuje všeobecně uznávaná definice umělé inteligence. Za východisko lze považovat význam slova inteligence, kdy mezi její základní projevy patří:

- ❖ schopnost komunikovat,
- ❖ spolupracovat,
- ❖ řešit odlišné složité úlohy,
- ❖ schopnost učit se,
- ❖ odvozovat nové poznatky.

U strojů či softwarů nevyžadujeme striktně všechny zmíněné kategorie, aby mohly být zařazeny do oboru umělé inteligence (AI). Již po obsáhnutí jednoho či dvou zmíněných projevů inteligence lze tento systém zařadit do oboru AI. Obor AI dělíme na:

- ❖ metody prohledávání stavového prostoru,
- ❖ metody strojového učení,
- ❖ metaheuristické optimalizační algoritmy.

Další členění bude zaměřeno výhradně na obor umělých neuronových sítí, neboť ty byly použity v této práci. Metody strojového učení dělíme na dvě kategorie, a to s učitelem a bez učitele. Obor umělých neuronových sítí spadá do obou kategorií, jelikož využívá jak učení s učitelem, tak bez něj. Zjednodušeně by se dalo říci, že metody využívající učení s učitelem dostávají očekávaný výstup, a tak daný algoritmus ví, čeho má ideálně docílit. Tohoto rozdílu mezi výstupem a očekávaným výsledkem pak využívá ke zlepšení. Při učení bez učitele pak daný algoritmus vyhodnocuje výsledek a nevyžaduje předkládat očekávaný výstup. Tyto algoritmy se například uplatňují pro třídění vstupních dat do skupin. Nejsou předkládány žádné očekávané kategorie pro jednotlivé vstupní prvky. Neuronová síť sama odhaluje podobnost a vytváří jednotlivé shluky, které jsou následně převedeny na jednotlivé kategorie.

V rámci metody učení s učitelem jsou dále neuronové sítě děleny na:

- ❖ perceptron,
- ❖ vícevrstvý perceptron,
- ❖ konvoluční neuronové sítě,
- ❖ omezený Boltzmannův stroj,
- ❖ hluboké neuronové sítě.

V rámci knihovny ViDi lze použít několik nástrojů, které využívají některé z těchto neuronových sítí. Bohužel nelze přesně specifikovat, o jaké druhy strojového učení se jedná, protože tyto informace jsou pro výrobce Cognex klíčové a cílovému uživateli nejsou detailnější informace zpřístupněny. [4]

1.1.5 Cíle a budoucnost Průmyslu 4.0

Za prvotní myšlenku, která byla vyřčena již při první průmyslové revoluci a dodnes je symbolem právě pokroku v průmyslu, je věta: „*Práce, kterou mohou dělat stroje, by měly dělat stroje.*“

Každá průmyslová revoluce vždy využívala nových objevů a technologií pro zlepšení produkce a kvality. Ta čtvrtá se v ničem neliší a rovněž jsou zde hlavními hybateli nové technologie, se kterými jsem se již seznámili v předchozí části.

Hlavním ukazatelem úspěchu společnosti je její příjem či obecně ziskovost. V případě výrobní společnosti, pak lze tento ukazatel nahradit produktivitou společně s kvalitou produktů. Právě kvalita má vliv na produkci a vždy je neopomenutelným kritériem výroby. Cílem I4 je poskytnout průmyslu nástroje, kterými posílí tato hlediska hodnocení.

Za jeden ze základních cílů I4 je považováno spojení či propojení. Jedná se o propojení strojů společně se senzory a lidmi. Jeden člověk pak může snadno monitorovat a kontrolovat celou výrobní linku. Jako příklad bude uvedeno odvětví prediktivní údržby. Základní myšlenkou prediktivní údržby je s využitím statistiky a senzorů rozpoznat závadu na strojích dříve, než k ní dojde a zabránit porouchání celého stroje včasnou výměnou problematické součástky. Právě na tomto příkladu je zřetelně vidět, že jeden technik s vhodným softwarem a za pomoci informací od strojů a senzorů může monitorovat chod celé výrobní linky a včasné zasáhnout v případě komplikací, na které ho aplikace sama upozorní. Prediktivní údržba je mnohdy řazena mezi prvky konceptu I4, zde je však uvedena jako příklad uplatnění cílů I4.

Dalším cílem je problematika rozhodování, respektive jde o získání nástrojů, které pomohou v procesech rozhodování. Získávat data pro tyto procesy je nezbytné již nyní. Nicméně cílem I4 je přenechat procesy rozhodování jako takové na strojovém vyhodnocení. Není nutně nezbytné přenechávat systém řízení zcela na strojích. Například může docházet pouze k navržení optimálního řešení, které následně uživatel potvrdí. Díky dosažení tohoto cíle mohou být uplatněny různé rozhodovací politiky. Rovněž lze takto odhalit skrytá hlediska, která mohou být jednoduše opomenuta.

Jedním z dalších cílů je obecně sdílení a transparentnost informací. Díky transparentním a komplexním informacím lze adekvátně provádět proces rozhodování. Vzájemné propojení umožňuje získávat například data z celého výrobního procesu, a ta pak lze efektivně zpracovávat, samozřejmě nejen pro procesy rozhodování či prediktivní údržbu. Možných uplatnění je již celá řada, podstatou zde však je toto propojení realizovat. Mnohdy zastaralé části výrobní linky neumožňují poskytovat identická data jako modernější prvky, a tak vzniká nekonzistence mezi získanými informacemi. Nelze pak ze získaných dat provést odpovídající vyhodnocení. Tento problém lze řešit doplněním senzorů, které nahradí scházející informace, které neposkytuje sám stroj.

Posledním z cílů, které jsou s I4 spojovány, je decentralizace rozhodování. Separací rozhodovacích procesů a jejich přesměrováním na CPS systémy získáme samostatně řízené úseky, které již stačí pouze monitorovat a není zapotřebí vyšší míra režie. Případné nezbytné zásahy se pak adekvátně delegují konkrétním sekcím ve společnosti. [6], [7]

1.2 Přínosy a rizika konceptu Průmysl 4.0

Pokud se zaměříme na Českou republiku, tak dominujeme na žebříčku podílu lidí zaměstnaných v sektoru průmyslu. Proto je pro nás otázka I4 společně s jejími přínosy a riziky velice důležitá. Následující podkapitola zachycuje stěžejní témata z této oblasti.

1.2.1 Kvalita života

Často zmiňovaným přínosem v rámci probíhající průmyslové revoluce je zlepšení kvality života, což je obecná formulace, za kterou se skrývá velké množství přínosů pro společnost i jednotlivce. Nelze ovšem opomínat rizika a hrozby, které s poměrně radikální změnou nejen průmyslu, ale celé společnosti, přijdou.

Principy I4 nelze chápat jako ojedinělou technologii. Jak již bylo zmíněno, jedná se o širokou sadu technologií. Pojmy jako smart cities, IoT a celková modernizace dopravy a energetiky budou mít společně s I4 skutečné přínosy pro zlepšení kvality života.

Odstranění lidmi vykonávané těžké práce z průmyslu je stále jednou z priorit. Nemusí se vždy jednat o fyzicky náročnou práci, může jít o repetitivní činnost nebo například vizuální kontrolu jakosti výrobku. Nové technologie, a především odvětví AI umožňuje nahradit lidský faktor na pozicích, kde to dříve nebylo možné. Podobně jako každá předchozí průmyslová revoluce s sebou mimo zvýšení kvality života přináší i otázku nezaměstnanosti a propouštění na zaniklých pozicích.

1.2.2 Nezaměstnanost

Odhady pro ČR hovoří, že v příštích 20 letech bude silně ohroženo 10 % pracovních míst a u dalších 35 % pracovních míst dojde k výrazným změnám. Pro lepší představu se jedná o 408 tisíc zaniklých pracovních míst a 1,4 milionu pracovních míst, na kterých dojde k razantním změnám. V následujících tabulkách jsou shrnuty odhady nezaměstnanosti dle různých autorů. V první tabulce je zobrazen odhad zaniklých pracovních míst v dlouhodobém horizontu.

Autor	Odhad zaniklých pracovních míst	Destinace
Špidla, V. (2017)	53 %	ČR
Frey, Osborne (2013)	47 %	USA

Tabulka 1: Dlouhodobý procentuální odhad ohrožených pracovních míst

Tyto dva odhady jasně naznačují podobnost a je na nich vidět enormní vliv na nezaměstnanost. Nicméně v této souvislosti je dobré zmínit, že s příchodem I4 dojde i ke vzniku nových pracovních pozic. Ty budou kompenzovat jejich úbytek, a z toho důvodu je více vypovídající následující tabulka právě s tímto poměrem.

Autor	Poměr ohrožených a nově vzniklých pracovních míst	Destinace
Úřad vlády ČR (2015)	5:2	ČR
Arntz, Gregory, Zierahm (2016)	7:6	SRN
Davoské fórum (2016)	7:2	vyspělé země

Tabulka 2: Poměr ohrožených a nově vzniklých pracovních míst

Odhad pro Německo je výrazně pozitivnější než pro Českou republiku. V rámci ČR je velice dominantní průmyslová výroba, a tak lze předpokládat významný vliv přínosů i dopadů I4. Tabulka současně poukazuje na vznik nových pracovních míst ve výhodnějším poměru u nás než ve světě. Jelikož tyto dopady jsou teprve z nedávné minulosti, lze je porovnávat s dosavadním průběhem. Co se týká dosavadního průběhu, tak nezaměstnanost oproti předpokladům v rámci ČR dlouhodobě klesala, avšak tento trend byl aktuálně přerušeno dopady onemocnění covid-19. Proces integrace je pomalejší, než jak naznačovaly některé z odhadů, a rovněž dopady na nezaměstnanost nebudou v tak vysoké míře, jak byly predikovány.

Dalším předpokladem, který se oproti předchozímu již začíná naplňovat, je nedostatek odborníků v klíčových odvětvích. Schází především odborníci z oboru AI. V této oblasti však pro ČR vzniká velký problém, neboť průměrná mzda se pohybuje na spodních příčkách EU, a tak lze předpokládat, že nastanou velké komplikace s přilákáním odborníků. Tento problém zmiňuje i SWAT analýza vytvořená Ministerstvem průmyslu a obchodu pro integraci 4I. Jedním z řešení je úprava vzdělávacího systému, který by byl schopen „vychovat“ potřebné odborníky. To však

není zaručené řešení a snahou ČR by mělo být zvýšení průměrné mzdy na standard EU. Tím by byl přerušen trend odchodu odborníků do zahraničí.

Progresivní nástup I4 byl dosud významně podpořen nízkým podílem nezaměstnanosti, a díky přebývajícím poptávce před nabídkou tento trend trval. Na základě probíhající situace s onemocněním covid-19, aktuálními restrikcemi s ním spojenými a dopady, které zasáhnou všechny obory, nelze nic s určitostí predikovat. [10]

1.2.3 Kybernetické útoky

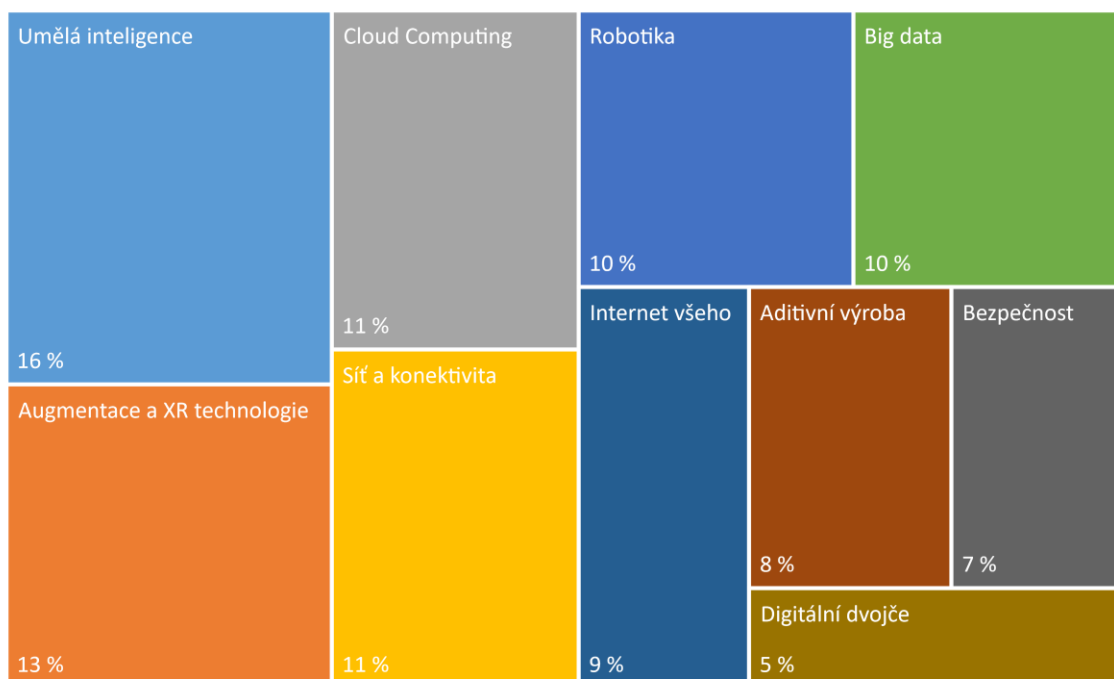
Otázka bezpečnosti je neopomenutelná. Již nyní je monitorována rostoucí tendence v počtu útoků na průmyslové roboty, výrobní linky, logistické, technologické a další systémy. S rostoucím podílem automatizace a množstvím robotů lze předpokládat úměrný nárůst útoků. Nedostatečné zabezpečení může vést k napadení IoT v podobě DDoS (Distributed denial of service) útoku.

Cílem takového útoku však není získat informace, ale službu či robota učinit nefunkčními či nepřístupnými pro další řízení. Distribuovaný útok je pak veden z více zařízení a snaží se cílovou službu například zahltit příkazy, a tak ji znepřístupnit. Takovýto úspěšný útok na klíčové zařízení může významnou měrou ochromit celý podnik. Z těchto důvodů bude zapotřebí komplexní přístup ke kybernetické bezpečnosti na všech úrovních.

1.3 Trendy a inovace

Novinky, které zde budou zmíněny z oblasti 4I byly stanoveny na základě analýzy, kterou pro rok 2021 zveřejnila společnost StartUp Insights. Na základě monitorování několika stovek startupů (770) po celém světě bylo zjištěno jejich zaměření v rámci odvětví I4. Díky této rešeršní technice tak byla sestavena výsledná odvětví, kterými se aktuálně zabývají nově vznikající společnosti. Lze tak získat obraz aktuálně řešených problémů v tomto odvětví. Navíc díky procentuálnímu poměru počtu založených společností v daném oboru lze předpovědět, jakou měrou je daný obor pro příštích několik let žádaný.

Graf 1: Trendy průmyslu 4.0 dle *StartUp Insights*



Kybernetická bezpečnost a transparentnost informací jsou jedny ze základních pilířů a výchozím bodem pro implementaci I4. Zvyšující se tok informací vede k podcenění otázky bezpečnosti, neboť rostou požadavky na síťové zapojení výrobní linky a konkrétních strojů, rostou útoky právě na tato zařízení, která v rámci zabezpečené sítě nejsou na podobné útoky prioritně budována. Řešením může být aktualizace s adekvátním softwarem, který dokáže ochránit před konkrétními útoky. Samozřejmě díky takovéto integraci strojů poroste i množství požadovaných aktualizací. Otázkou pak je, jak bezpečně dodávat aktualizace na tyto stroje. Těmito a dalšími otázkami z oboru kybernetické bezpečnosti se zabývá 7 % nově vzniklých společností. Obor bezpečnosti je momentálně řazen mezi největší rizika I4.

Dalším trendem je rostoucí množství generovaných a následně přenášených dat. Cloudová, a především distribuovaná řešení jsou pak adekvátním východiskem pro tuto problematiku. Vzniká zde otázka, které výpočty budou realizovány na daných strojích a které budou dále distribuovány. Optimalizace procesů a rovnoměrné vytížení výpočetních prvků je nezbytné.

Strojové učení a AI jsou aktuálně považovány za hlavní hybatele průmyslu. Významnou měrou roste podpora hardwaru specializovaného na výpočty z oboru AI. Velkou snahou je implementace tohoto odvětví do automobilového průmyslu. Právě automobilový průmysl se svou sériovou výrobou je i v rámci České republiky předurčen státi se hlavním hráčem v procesu aplikování AI,

potazmo obecněji I4. V rámci výzkumu se jednalo o 16 % společností, které se tomuto trendu věnují. Jedná se tak o nejvíce zastoupenou skupinu.

Dalšími obory jsou rozšířená realita nebo augmentace člověka. Příkladem může být exoskelet. Exoskelet se svou oporou všech končetin má usnadnit fyzicky náročné úkony. Dále do této kategorie spadají technologie ze skupiny se zkratkou XR. Jedná se o:

- ❖ smíšenou realitu (mixed reality – MR),
- ❖ rozšířenou realitu (augmented reality – AR),
- ❖ virtuální realitu (virtual reality – VR).

I přes to, že rozšířená realita ve veřejném sektoru prozatím nenaplnila zcela svoje očekávání, která jí byla předurčována na přelomu minulého desetiletí (Google Glass), tak v průmyslu se jí daří implementovat. Jedním z obecnějších cílů a trendů v těchto oborech je maximálně usnadnit komunikaci člověka a stroje.

Síť a konektivita jsou společně základními kameny, na kterých lze vystavět I4. Jejich další rozvoj je nutnou součástí průmyslové revoluce. Jedná se o třetí nejvíce zastoupené odvětví v rámci tohoto výzkumu.

Automatizace a robotika byly symboly třetí průmyslové revoluce. Rozvoj robotiky však stále trvá a stejně jako dříve je v tomto odvětví kladen důraz na efektivitu a bezpečnost. V rámci tohoto odvětví dochází k rozvoji autonomních robotů, kolaborativních robotů (sdílí pracovní prostor s lidmi), humanoidních robotů (podobají se člověku), robotiky hejna (decentralizovaně řízená skupina agentů) a dalších.

Zbývající kategorie, jakými jsou:

- ❖ internet všeho,
- ❖ digitální dvojče,
- ❖ aditivní výroba,
- ❖ big data s analytikami

budou popsány již pouze rámcově. Internet všeho (Internet of Everything – IoE) rozšiřuje IoT, který má základní myšlenku propojení věcí, o další tři entity. Jedná se navíc o lidi, procesy a data. Kromě toho klade důraz na zlepšení výsledků v průmyslu a podnikání skrze rozmach internetu, a tím zlepšuje kvalitu života lidí. Digitální dvojče pak představuje virtuální model reálného systému, například výrobní linky. Ten pak slouží pro simulování libovolných scénářů a odhalení

případných úskalí v krizových situacích, aniž by k nim muselo docházet. Za aditivní výrobní procesy jsou označovány ty, u kterých výsledný výrobek vznikne postupným přidáváním vrstev na sebe. Tzv. 3D tisk je označení pro shodnou techniku, nicméně aditivní výroba produkuje koncový výrobek, a ne pouze prototyp. Velká data, tedy big data, pak označují enormně velké množství dat, která nelze zpracovat běžnými softwarovými prostředky v rozumném čase. Pro jejich zpracování jsou pak koncipovány datové sklady, které jsou schopny takovýto tok dat zpracovávat a těžit z nich informace.

Těchto deset odvětví, která zde byla jednotlivě představena, je prezentováno pro aktuální rok 2021, nicméně nejspíše se budou i nadále podílet na rozvoji I4 v rámci příštích několika let. Na závěr při porovnání rizik I4 lze říct, že se v zásadě jedná o odpovědi na nejpalčivější problémy, které, co se výrobních procesů týká, jsou s aktuální I4 spojovány. [1], [13], [18]

1.4 Kontrola kvality v Průmyslu 4.0

Praktická část této práce se věnuje procesu implementace neuronových sítí do výrobního průmyslu, konkrétně se jedná právě o proces kontroly kvality. Z těchto důvodů bude v teoretické části nastíněna tato problematika a její úskalí.

V rámci I4 vznikl související pojem Kvalita 4.0 (Quality 4.0). Obecně by se dalo říct, že od I4 očekáváme plně autonomní systém výroby. Kvalita 4.0 nám říká, že stejně automaticky bude docházet ke kontrole. Stroje, které vyrábí výrobky, budou kontrolovat jiné stroje a vzájemně budou komunikovat. Díky informacím z kontroly pak výrobní stroj může změnit konfiguraci, a odstranit tak chybu v minimálním časovém horizontu. Není zde tedy nutný zásah člověka.

V rámci odvětví kontroly kvality jsou stěžejní tyto obory:

- ❖ umělá inteligence,
 - strojové učení,
 - hluboké učení,
- ❖ datová věda,
- ❖ big data,
- ❖ ostatní technologie I4.

Nezastupitelnou roli zde hraje umělá inteligence, a především její podobory strojové a hluboké učení. Základním principem je získat snímky výrobku, nad těmito snímky provést analýzu obrazu

a získané informace pak promítnout v rámci výrobního procesu. Uplatnění datové vědy a zpracování velkého množství dat v rámci big data je již samozřejmostí.

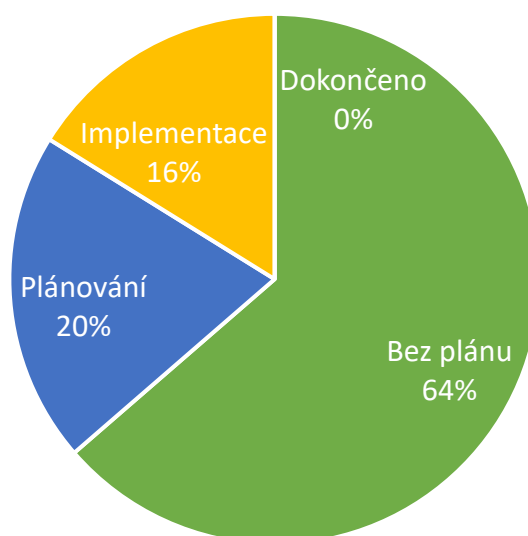
Pro představu, v jakém bodě se aktuálně nachází odvětví kontroly kvality, bude prezentován průzkum *Quality 4.0 Takes More Than Technology*, který v roce 2019 prezentovali autoři Daniel Küpper, Claudio Knizek, David Ryeson a Jan Noecker.

Průzkum byl zaměřen na oblast průmyslu a účastnilo se ho 221 společností z celého světa, kdy výrazně převažovali účastníci z USA a Německa společně s dalšími 14 státy EU, zastoupeny byly například také státy jako Čína nebo Japonsko.

Výsledky průzkumu ukazují, že pouze 27 % společností je pevně přesvědčeno, že jasně formulovaly požadavky na kvalitu v rámci všech vrstev organizace. Dále pouze 14 % uvedlo, že každý zaměstnanec rozumí své roli v rámci dosažení stanovených cílů kvality a pouze 6 % věří, že celá organizace plnohodnotně přispívá ke splnění stanovených standardů kvality. Z těchto výsledků vyplývá, že se společností nedaří problematiku kontroly kvality plnohodnotně integrovat, a přechod na Kvalitu 4.0 bude o to náročnější.

Graf níže odpovídá na otázku týkající se aktuálního stavu integrace Kvality 4.0. Jak je patrné, naprostá většina společností nezačala ani s procesem plánování a pouze pětina účastníků tento proces započala. Ve stavu implementace se aktuálně nachází 16 % ze všech oslovených firem. Významným výsledkem však je, že žádný účastník neoznačil dosažení cílového stavu implementace Kvality 4.0 do provozu v plné podobě. Tento ukazatel jasně naznačuje, že se jedná o aktuální problém této doby. Tato práce by proto mohla být alespoň drobným přínosem v tomto odvětví.

Graf 2: Stav Kvality 4.0 dle průzkumu *Quality 4.0 Takes More Than Technology*



Rozdíl společností na chvostu a na předních příčkách v procesu integrace Kvality 4.0, je, co se týká investic, jak uvedl průzkum, až desetinásobný. Markantní rozdíl investic naznačuje rovněž rozdíly v aktuálním stavu integrace.

Dalším podobně značným rozdílem je očekávání, kdy lze souhrnně říct, že průkopníci mají tendenci mít nižší očekávání o rozsahu vylepšení než nováčci. Graf níže zobrazuje základní problémy s plánováním a implementací Kvality 4.0. Číselná hodnota v grafu uvádí, jak velký je daná překážka problém, tedy 0 – nečiní žádnou překážku, až 10 – jedná se o závažný problém.

Graf 3: Překážky Kvality 4.0 dle průzkumu *Quality 4.0 Takes More Than Technology*



Zajímavostí průzkumu je odhalení rozdílu mezi Evropou, z níž dominuje Německo, a ostatními kontinenty. Evropa s pokročilou úrovní implementace v průzkumu výrazně dominovala, společnosti napříč severní Amerikou i přes značnou úroveň své vyspělosti v průzkumu výrazně zaostávaly.

Kvalita 4.0 není pouze nová technologie, ale jedná se o zcela nový přístup ke kontrole kvality. Jedná se o nástroj, pomocí něhož lze zákazníkům dodávat produkty v nejvyšší kvalitě. Není zde cílem omezit roli lidí při ověřování kvality, primární snahou je doplnit a posílit toto odvětví. [13]

2 HELLA AUTOTECHNIK NOVA, S.R.O.

Cílem kapitoly je představit společnost Hella a uvést aktuální stav v odvětví dekorativní kontroly kvality výrobků ve společnosti před započítím integrace I4 do výroby a dále nastínit proces zavádění I4, zejména proces zavádění Kvality 4.0. Současně bude nastíněn i cílový stav po implementaci ve výrobním procesu. V závěru bude v jednoduchosti popsána problematika licenční politiky, která byla v rámci projektu řešena.

2.1 O Společnosti

Společnost Hella působí v České republice již od roku 1992 kdy byl založen závod v Mohelnici. Hella má dále v ČR závod v Lošticích a v Ostravě, kde se nachází vývojové centrum. Závod v Mohelnici rovněž nepředstavuje jenom výrobní závod, ale především technické a vývojové centrum. Je zde zaměstnáno více než 3 000 zaměstnanců, kteří se podílí na výrobě:

- ❖ předních světlometů,
- ❖ zadních skupinových svítlen,
- ❖ další elektroniky.

Právě ve spolupráci s tímto závodem v Mohelnici byla realizována tato práce. Významnou výrobní fází mimo montáže světlometů je proces vstřikování plastů. Výsledné výlisky jsou jedním ze zásadních produktů, které v rámci tohoto závodu vznikají. [11]

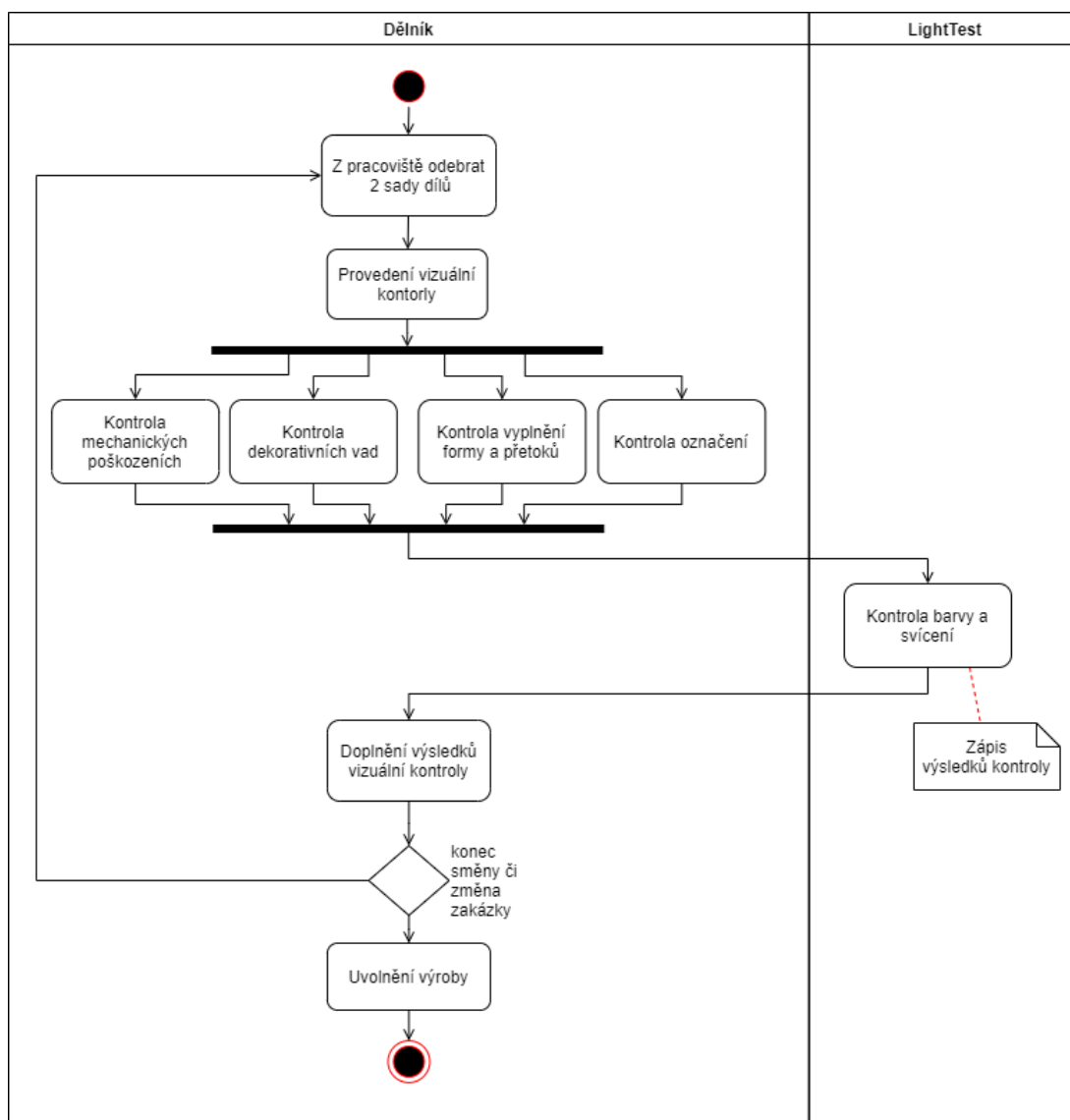
2.2 Proces vstřikování plastů

Jedná se o cyklický tvářecí termodynamický proces. Na počátku je plastická hmota v podobě granulí. Tento granulát může být buď již obarvený, nebo je přidán další granulát barviva ve stanoveném poměru. Před použitím je nutné provést proces sušení, a odstranit tak veškerou vlhkost. Následně vstřikovací lis přístroj na zpracování plastů zahřeje granulát na nižší jednotky stovek stupňů, kde probíhá proces plastifikace. Díky tomu vstřikovací stroj následně pomocí trysky může vstříknout pod vysokým tlakem tekutý plast do vstřikovací formy. Forma se zpravidla skládá ze dvou částí a je klíčová pro kvalitu výlisku. Důležitý je rovněž odvod plynů z formy pro následné nahrazení plastem při vstřikování. Následuje proces chlazení a poté vyjmutí výlisku z formy.

Jak bylo zmíněno na počátku je proces cyklický, součástí vstřikovacího lisu je šnek, který posouvá granulát směrem k trysce, kde dochází k jeho zahřívání. Tento šnek rovněž zabraňuje stékání již tekutého plastu zpět a usměrňuje jej stále kupředu. Díky tomu se jedná o nekončící proces, který lze provádět plynule.

2.3 Proces dekorativní kontroly kvality výrobků

Poté co vylisky opustí vstřikovací lis, pokračují na dekorativní kontrolu kvality výrobků. Proces kontroly popisuje aktivita diagram, který následuje.



Obrázek 1: Aktivita diagram dekorativní kontroly kvality výrobků

Hlavní činnost zde vykonává dělník a jeho práce je podporována programem LightTest. Nejprve dochází k odebrání dvou dílů z pracoviště, následuje aktivita vizuální kontroly výlisků, která začíná odhalením dekorativních vad. Do této kategorie spadají vady:

- ❖ stříbření,
- ❖ stopy po tečení materiálu,
- ❖ studené spoje,
- ❖ bubliny,
- ❖ puchýře,
- ❖ vpadliny,
- ❖ cizí tělíska,
- ❖ šmouhy,
- ❖ vlnitost povrchu.

V rámci mechanického poškození mohou vzniknout:

- ❖ praskliny,
- ❖ vylomené části,
- ❖ škrábance,
- ❖ odřeninny,
- ❖ špatné opracování vtoků či případných přetoků.

Mechanické závady vznikají převážně nedobrym zacházením s výliskem a většinou až později, například při montáži. Proto je důležité provádět kontrolu i v pozdějších etapách výroby, aby tato poškození byla odhalena. Výjimkou je však opracování vtoků a případných přetoků. Tyto defekty lze pozorovat a případně odstraňovat právě v této fázi výrobního procesu. Toho se týká i další bod kontroly vyplnění formy a přetoků. Zde se monitoruje, zda je výlisek kompletní a neschází-li například některé jeho části. Rovněž jsou zde kontrolovány přetoky, které se nesmí na výlisku vyskytovat. V závěru vizuální kontroly dochází k revizi označení materiálu a čísla dílů. Tím končí vizuální kontrola a lze přikročit ke kontrole barvy.

V rámci kontroly barvy je výrobek umístěn do prosvětlovacího zařízení. Prosvětlovací zařízení je v jednoduchosti zatemněný box, ve kterém je umístěno bodové světlo, které nasvítí plastový výlisek, aby odhalilo, zda vhodně vede světlo a zda je vedené světlo v odpovídajících barevných

škálách. Snímky z prosvětlovacího zařízení lze vidět na obrázku *Světlovod* a *Světlovod s deformací*.

Následně již dochází pouze k zapsání výsledku zkoušek do interního systému a vrácení výlisků na pracoviště. Proces je přerušen pouze ve zmíněných případech, jinak plynule navazuje svým opakováním.

2.3.1 Aktuální stav

Společnost Hella aktuálně vyrábí celou řadu plastových dílů s rozdílnou úrovní kvality. Jedná se především o to, zda je daný díl pohledový, či nikoli. To samozřejmě není jediným kritériem, neboť všechny plastové výlisky musí splňovat příslušnou kvalitu. V rámci této práce byl analyzován proces dekorativní kontroly plastových dílů u tzv. světlovodů a silnostěňů. Tyto díly byly společností označeny za průkopníky v procesu integrace Kvality 4.0.

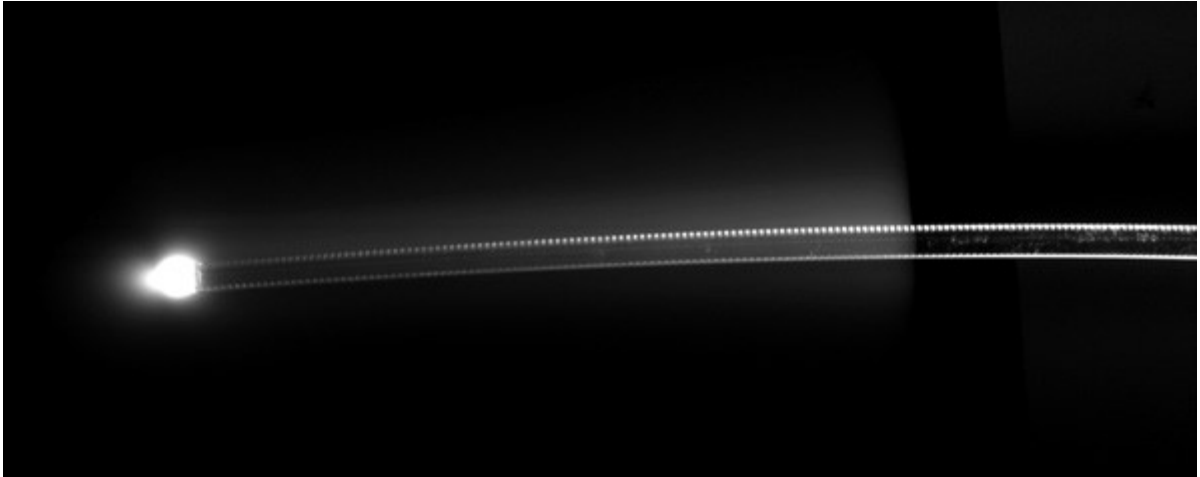
Světlovod je úzký pruh plastového výlisku určený k vedení světla. Je zde nezbytné, aby v plastovém výlisku nebyly vady, které by tento tok světla rozptýlily či změnilly barvu výsledného světla. Silnostěň je část světloometu v přední části, který kryje světelné zdroje. Jedná se o tvar odpovídající vždy konkrétnímu světlometu. Jeho název pramení z jeho tloušťky, která se pohybuje okolo dvou a více milimetrů.

Proces dekorativní kontroly kvality plastových výlisků světlovodů lze rozdělit do dvou primárních částí. Jedná se o

- ❖ vizuální kontrolu výlisku,
- ❖ kontrolu barvy a svícení.

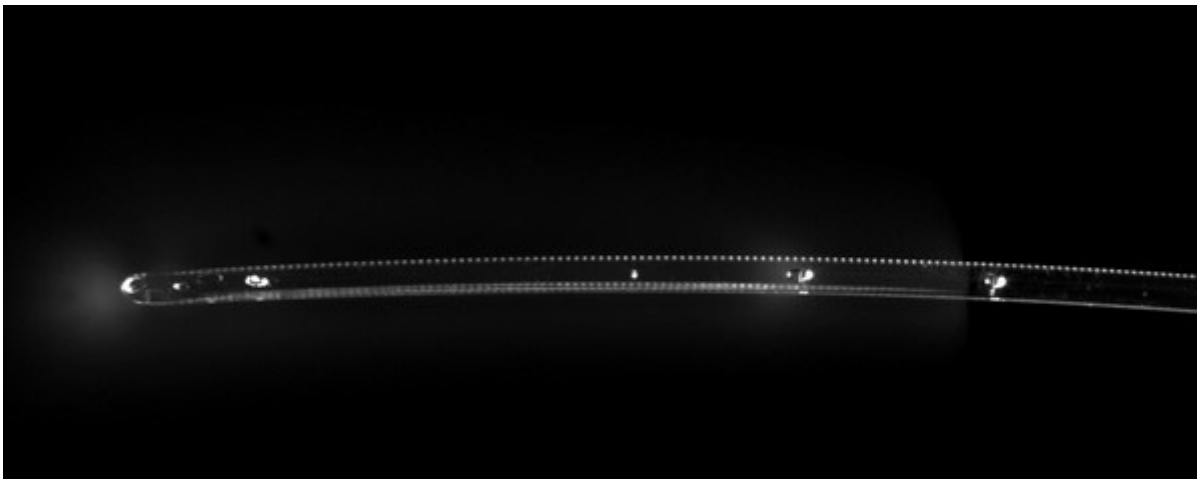
Vizuální kontrola výlisku je aktuálně prováděna poučenými zaměstnanci. Jednotlivé vady jsou vždy zařazovány do katalogu dekorativních vad. V tomto katalogu je rovněž uvedeno, zda je konkrétní defekt natolik výrazný, že je výlisek vyřazen, či se jedná o drobný nedostatek a výlisek může pokračovat dále ve výrobním procesu. Podle tohoto katalogu pak postupují zaměstnanci a provádí vizuální kontrolu.

Následuje kontrola barvy a svícení. Tato kontrola je již automatizovaná a je prováděna programem LightTest. Tomuto programu jsou předkládány snímky získané v prosvětlovacím zařízení. Níže následuje obrázek světlovodu z prosvětlovací komory, kde je nasvícen bodovým světlem tak, aby se projevila vlastnost vedení světla.



Obrázek 2: Světlovod

Na snímku je dominantně svítící levý konec světlovodu, kde se vedené světlo dále rozptyluje. Bodový zdroj světla, který je použit pro nasvícení, není na snímku a nachází se za pravým okrajem. Pro názornost rozdílu oproti světlovodu s vadou následuje druhý snímek.



Obrázek 3: Světlovod s deformací

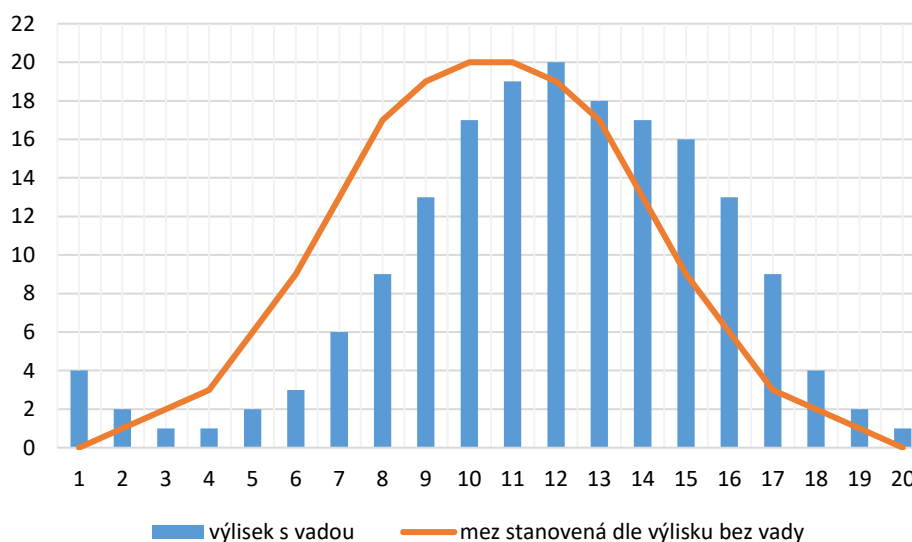
Z tohoto snímku je patrný rozdíl v intenzitě světla na konci světlovodu. Konkrétně se zde jedná o vadu bublin, která vzniká již při vstřikování plastů. Tento konkrétní výlisek nespĺňuje již dekorativní kontrolu, která předchází kontrole barev, a je zde zobrazen především pro svou jednoznačnost.

2.4 Využívaný software

V rámci procesu dekorativní kontroly kvality výrobků je využíván program LightTest. Ten odpovídá za komunikaci s PLC a také obstarává mimo jiné komunikaci s kamerami v provozu. Rovněž se stará o zpracování výsledků po vyhodnocení všemi testy. Program aktuálně disponuje testem barvy a svícení. Druhým zamýšleným testem je zkouška kvality výrobků využívající neuronové sítě společně s dalšími nástroji, které poskytuje knihovna ViDi. Jedná se o výsledek první fáze této práce, proto bude blíže popsán v sekci 5 *Implementace*. Jak již bylo zmíněno, tuto zkoušku provádí poučený pracovník a není zde uplatněn žádný software.

Test barvy a svícení spočívá v sestavení meze podle histogramu výlisku bez vady. Následně je tento vzor použit pro porovnávání a lze tak ověřit libovolný výlisek, zda je v pořádku či nikoli. Snímky z prosvětlovacího zařízení jsou *Světlovod* a *Světlovod s deformací*, u nich je sestaven zmíněný histogram a ten je následně předkládán ke kontrole. Graf níže zobrazuje modrý histogram, který má naznačovat výrobek s deformací a oranžově je vyznačen ideální tvar nezbytný pro splnění testu barvy a svícení.

Graf 4: Test barvy a svícení



Tímto principem lze snadno ověřit všechny barevné kanály, a zkontrolovat tak, zda jsou splněny požadavky na limitující barevnou škálu. Následně lze stejným principem ověřit světlost snímku. Díky této technice dochází k provedení testu za minimum výpočetního času. Jedná se o efektivní metodu, která rovněž nevyžaduje oproti uplatnění neuronových sítí zdlouhavý a náročný proces učení.

2.5 Dopady licenční politiky

Problematika licenční politiky výrazným způsobem ovlivňovala tuto práci, a tak je nezbytné položit obecnější otázku, jaké jsou dopady mnohdy důmyslně nastavených licenčních politik. Každá společnost má za svůj cíl maximalizovat obrát a jedná se o součást tržní ekonomiky, kdy je cílem najít rovnováhu mezi nabídkou a poptávkou, tzv. bod rovnováhy. V daném bodě je trh uspokojen za odpovídající cenu vydanou za službu či produkt. V případě licencí vydávaných na využívání softwaru je uplatňován stejný princip. Nicméně společnosti, které produkují software chtějí oslovit celý trh, tedy dělí nabízený program do více kategorií pod různými licencemi, aby si zákazník zvolil libovolnou úroveň a nebyl nucen platit za rozšíření, která nevyužije.

Díky těmto principům může malý podnikatel využívat základní funkcionalitu, která je pro jeho společnost dostačující, a není tak donucen provádět velké investice za celý software. Tato politika přináší výhody pro všechny, avšak společnost, která libovolný software produkuje, samozřejmě chce svůj produkt prodávat, pokud možno se všemi nadstavbami, proto jsou již základní verze koncipovány tak, aby uživatel byl v průběhu využívání produktu donucen dokoupit rozšíření.

Omezení, se kterými přichází základní verze softwaru, se na počátku kupujícímu mohou zdát dostatečné, nicméně s odstupem času dochází k rozšiřování licencí. Ovšem pak již zákazník platí více než na počátku plánoval, i přes to, že rozšířenou licenci využívá pouze na pomyslné dolní hranici z poskytnuté funkcionality. Následně pak tedy zákazník platí za něco, co nevyužívá a co nebylo na začátku součástí poptávky, a to vede k jeho nespokojenosti. Přesto je však software již využíván a nelze ho bez nahrazení stáhnout. Touto technikou se softwarový prodejci snaží nalákat a udržet si své zákazníky.

Při pořizování je samozřejmostí, že si chce kupující zvolit takové produkty z nabídky, které bude využívat, a ne zbytečně platit za nevyužité části. Toho však nelze nikdy zcela dosáhnout, pokud nedojde k vlastnímu vývoji, který s sebou ovšem přináší rizika.

V rámci této práce byla licenční politika opakovaně řešena. Společnost Hella pořídila licenci typu standard. Jednalo se o dva fyzické klíče v podobě s konektorem USB. Jeden klíč s omezením runtime, což znamená využití pouze pro uplatnění dříve připravených nástrojů, a druhý bez tohoto omezení, který umožňuje pracovat se všemi programy, které byly zařazeny do zakoupeného balíčku.

Pro lepší porozumění další části je doporučeno seznámit se s produkty od společnosti Cognex. První ideou bylo využít nástroj Cognex Designer pro tvorbu aplikace, která by využívala

nástrojů, které poskytují programy VisionPro a VisionPro Deep Learning. Nicméně licence je udělována na každý z programů zvlášť.

Snahou programu Cognex Designer je, aby jej mohl využívat i uživatel bez hlubších znalostí programování. To však vede k mnoha kompromisům, a program Cognex Designer tak nelze z uživatelského hlediska hodnotit příliš kladně.

Náplní programu Cognex Designer je vytvořit aplikaci se svým vlastním GUI, která by obstarávala veškerý provoz všech dříve vytvořených nástrojů v programech VisionPro. Výsledná aplikace však vyžaduje pro své spuštění mimo licenci k využitým nástrojům také licenci k VisionPro či VisionPro Deep Learning i licenci Cognex Designer, bez které ji nelze spustit. Další z komplikací je nutnost realizovat komunikaci s PLC i kamerami, i když program Cognex Designer má pro tyto účely předpřipravené nástroje. Společnost Hella však již disponuje vlastním dříve zmíněným softwarem LightTest, který má tuto komunikaci již zcela vyřešenou.

Tyto podněty vedly ke snaze vyhnout se využití programu Cognex Designer, což bylo možné, neboť mimo využívání tohoto programu jako celku bylo možné využít pouze klíčové knihovny ViDi. Díky této knihovně bylo možno využít předpřipravené nástroje z VisionPro a VisionPro Deep learning bez nutnosti vlastnit licenci programu Cognex Designer. Současně pro využívání knihovny ViDi postačovala verze runtime. Z těchto důvodů byla stanovena první etapa této práce, kterou bylo implementovat modul využívající ViDi do programu LightTest.

Díky odhalení schopnosti vyhnout se programu Cognex Designer lze ušetřit v dlouhodobém horizontu finance, které by byly za vyšší úroveň licence vydány. Počáteční investice do vybudování modulu je poměrově minimalistickou položkou oproti dlouhodobě vyšší ceně využívané licence. V tomto případě jsou rovněž rizika vlastního vývoje na modul minimální, neboť klíčové problematiky komunikace s PLC a kamerami již obstarává software LightTest, který byl navržen vhodným modulárním způsobem a predikoval přidání dalších testů.

3 COGNEX

Americká společnost Cognex byla založena v roce 1981 a již od počátku je jejím oborem průmyslová automatizace. Prvotní zaměření bylo konkrétně na optické rozpoznávání znaků. Byl vyvinut systém navržený ke čtení, ověřování a zajišťování kvality písmen, čísel a symbolů. Hlavní vizí je pomáhat společností zlepšovat kvalitu výrobků, eliminovat výrobní chyby, snižovat výrobní náklady a překračovat očekávání spotřebitelů u vysoce kvalitních produktů za dostupnou cenu. Dále aplikace společnosti Cognex poskytují strojové vidění zahrnující detekci defektů, monitorování výrobních linek, vedení montážních robotů a sledování, třídění a identifikaci dílů. [3]

3.1 Produkty pro 2D vidění

První kategorie obsahuje kamerové produkty, které jsou schopny vysokorychlostně pořizovat a zpracovávat obraz. Důležité je podotknout, že tato zařízení jsou schopna kontrolovat a identifikovat konkrétní díly při výrobě. Pro jejich nastavení není zapotřebí znalost programovacího jazyka, veškeré potřebné nastavení probíhá v softwaru EasyBuilder. Tento program obsahuje již předpřipravenou možnost komunikace s PLC či robotem.

Software je primárně určen k řešení triviálnějších případů a nelze jej považovat za řešení z oblasti neuronových sítí. Kamery jsou vybaveny vlastní výpočetní jednotkou, kde probíhá proces vyhodnocování nebo je lze využít pouze pro poskytování snímků a vyhodnocování přenechat na centrálním výpočetním uzlu. Mnohé kamery jsou rovněž vybaveny vlastním podsvícením pro lepší kvalitu obrazu. Společnost poskytuje celou řadu produktů dle všech možných potřeb uplatnění. [3]

3.2 Produkty pro 3D vidění

Druhá kategorie se zaměřuje na trojrozměrné skenování. Díky této technologii lze odhalit nedostatky, které obtížně či zcela vůbec nelze tradičním 2D snímkováním objevit. Pomocí skenování je možné měřit vzdálenost či vytvořit 3D model. Společnost nabízí produkty zaměřené dle různých kritérií, ať již na rychlejší skenování, menší či rozměrově větší produkty. Součástí kamery je rovněž výpočetní uzel, který se stará o sestavení prostorového modelu. Lze stanovit kritéria modelu, a tak je možné díky těmto nástrojům rovněž odhalovat závady a nedostatky na výrobcích. Další výhodou je využití laserového svícení přímo v linii skenování, která slouží pro potlačení odraženého světla. Výsledkem je zamezení vzniku stínů, které by vedly k výraznému zkreslení vytvořeného prostorového modelu. [3]

3.3 Čtečky čárových kódů

Série průmyslových čteček čárového kódu jsou schopny dekodovat 1D, 2D i kombinované kódy. Čtečky jsou schopny snímat z tištěných štítků, ale i z komplikovanějších DPM (Direct part marking) kódů. Ty jsou leptány, vyraženy či vtištěny přímo na povrch dílu.

Společnost Cognex nabízí mimo statických monitorovacích nástrojů, které jsou navrženy pro monitorování výrobní linky, i mobilní zařízení. Všechny produkty společnosti jsou primárně navrženy na prostředí výrobní haly a fungování v provozu, a tak odolnost těchto produktů je jednou z priorit. [3]

3.4 Softwarové produkty

Do následující kategorie spadají programy, které poskytují přístup k průmyslovým kamerám a jejich nástrojům. Všechny aplikace využívají široce pojatou sadu nástrojů pro průmyslové využití od společnosti Cognex. Pro použití nástrojů lze uplatnit cestu programovacího jazyka či použít předpřipravené grafické rozhraní, kde není nutností podrobnější znalost jazyků C++ a C#. Společnost Cognex poskytuje softwarové produkty:

- ❖ VisionPro,
- ❖ Cognex Designer,
- ❖ VisionPro Deep Learning,
- ❖ Cognex Vision Library (CVL).

Prvním z této rodiny programů je program VisionPro. Jeho účelem je nastavení a následné nasazení softwaru využívající analýzu obrazu bez omezení na fotoaparáty či kamery, které budou použity pro sbírání snímků. Díky aplikaci lze provádět širokou škálu funkcí, od umístění a kontroly objektů až po identifikaci, měření a zarovnání, stejně jako speciální funkce specifické pro polovodičové a elektronické součástky.

Jedná se o sadu schopností, které lze libovolně použít, nicméně stále jde o předpřipravené nástroje pro konkrétní použití a nelze je porovnávat s flexibilitou uplatnění vlastního hlubokého učení. I přes tyto konkrétní problémy jsou dosahovány výrazně lepší výsledky s těmito připravenými nástroji než se samostatně naučenou neuronovou sítí. Pokud jsou tedy požadavky plnohodnotně pokryty poskytnutou paletou nástrojů programu VisionPro, není zapotřebí dalších softwarů.

Druhým prvkem v seznamu je nástroj Cognex Designer. Ten slouží především pro nasazení, kompletaci a následnou údržbu vytvořených aplikací. Díky grafickému programování pomocí blokového diagramu lze přehledně nastavovat a později udržovat jednotlivé prvky vlastní aplikace. Jedná o API, kde lze jednoduše vytvořit i vlastní grafické rozhraní.

Pro vývoj je možno využít programovací jazyky C++ a C#. Ty jsou vždy vkládány do jednotlivých bloků. Tyto bloky pak představují jednotlivé události, které jsou vyvolány buď v grafickém prostředí či příchodem snímku jako požadavku pro zpracování. Tyto bloky pak představují jednotlivé události, které jsou vyvolány buď v grafickém prostředí, či příchodem snímku jako požadavku pro zpracování. Rovněž program Cognex Designer obsahuje nástroje na pohodlné připojení databáze a jednotlivé kamery. Pro navržení vlastní aplikace v tomto programu je nutná znalost základů programování.

Tento produkt se nachází v pomyslné vyšší vrstvě, která se zabývá integrací předpřipravených nástrojů, ať z programu VisionPro či z programu VisionPro Deep Learning. Pro lepší představu následující diagram vystihuje architekturu softwarů od společnosti Cognex.

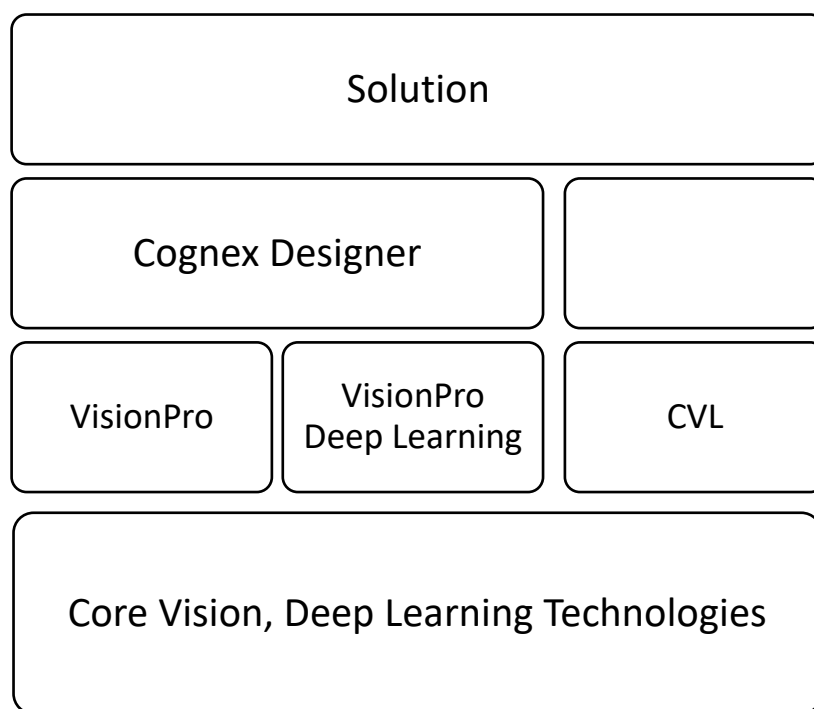


Diagram 1: Architektura programů společnosti Cognex

Třetím programem je VisionPro Deep Learning. Tento produkt se zaměřuje na hluboké učení specializovaně pro tovární automatizaci. Jeho účelem je naučení neuronové sítě, která bude následně sloužit podle druhu využití. Hlavní výhodou tohoto softwaru je jednoduchost nastavení

před započítím procesu učení. Stejně tak není po uživateli vyžadovaná nutná podrobnější znalost z oboru neuronových sítí. V rámci tohoto programu lze použít 4 základní nástroje:

- ❖ modrý nástroj lokalizace,
- ❖ červený nástroj analýzy,
- ❖ zelený nástroj klasifikace,
- ❖ modrý nástroj v režimu pro čtení.

Na závěr zbývá popsat knihovnu CVL tedy Cognex Vision Library. Knihovna v jazyce C++, která umožňuje výrobcům OEM (Original Equipment Manufacturer) vytvářet nejširší škálu aplikací strojového vidění s maximální flexibilitou. Díky knihovně lze například psát vlastní nástroje pro vidění či využít vícevláknové zpracování. V rámci knihovny jsou obsaženy všechny nástroje. [3]

3.5 Knihovna ViDi

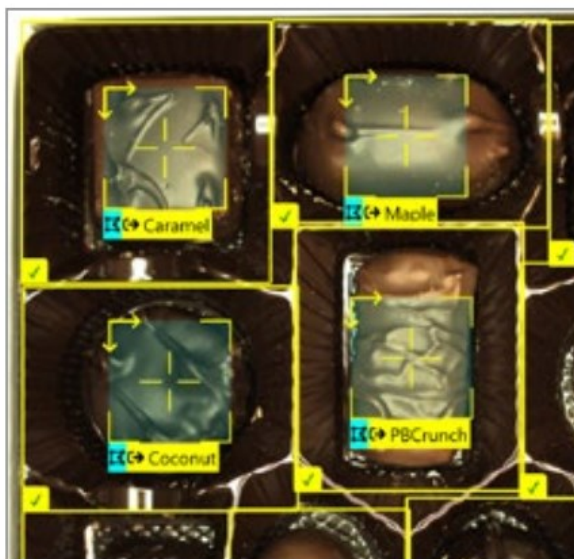
Mimo základních softwarových produktů společnost Cognex nabízí knihovnu ViDi. Název je odvozený od názvu společností ViDi Systems SA, která se věnovala hlubokému učení se zaměřením na průmyslové strojové vidění. Společnost ViDi byla zakoupena v roce 2017 společností Cognex, která do té doby dominovala spíše v odvětví kamerových systémů a optickém rozpoznávání textu. Dále bude ViDi vždy zmiňována pouze ve smyslu názvu knihovny, a ne názvu původní společnosti, která je jejím autorem.

Tato knihovna implementuje neuronové sítě a poskytuje všechny nástroje potřebné pro jejich učení i následné nasazení. Rovněž jsou součástí i všechny barevné nástroje, tak jak byly popsány. Díky knihovně tak lze zcela nahradit jak program VisionPro Deep Learning, který slouží pro naučení neuronových sítí, tak program Cognex Designer, který se spíše zaměřuje na samotné nasazení a řízení komunikace. Právě nahrazení programu Cognex Designer bylo hlavní náplní této diplomové práce. Důvody, které k tomu vedly, jsou popsány v kapitole 2.5 *Dopady licenční politiky*. [3]

3.5.1 Blue Locate Tool

Lokalizace, tedy modrý nástroj ve svém základním módu, slouží pro hloubkovou analýzu obrazu, který se používá při výrobě pro hledání komplexních prvků a objektů v zorném poli. Jak uvádí výrobce tento nástroj je schopný rozpoznávat prvky na výrazném pozadí či ve špatně osvětleném

prostředí, na částech s nízkým kontrastem, a dokonce na částech, které se ohýbají nebo mění tvar. Obrázek níže zobrazuje lokalizaci pomocí tohoto nástroje na platu čokoládových bonbónů.



Obrázek 4: Nástroj lokalizace

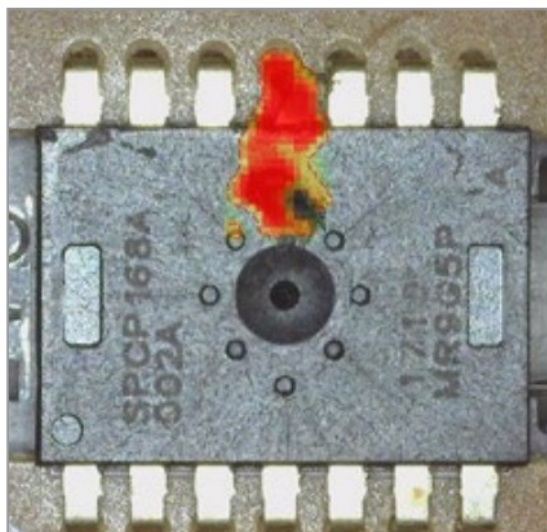
Je však důležité upozornit na proces, na jehož základě dle předložených vzorů uživatelem nástroj pracuje. Tedy stále tu platí jedno ze základních pravidel, že je zapotřebí, aby data určená pro učení a následné testování vždy rámcově pokrývala celou množinu z možných případů. Pak se nejedná o vadu nástroje, ale špatný proces učení, na jehož základě je vytvořena více chybující neuronová síť. Samozřejmě proces učení neuronových sítí s sebou přináší další rizika, která je potřeba maximálně eliminovat. Tento nástroj je většinou použit jako první pro nalezení klíčových částí na snímku a výstup z něj je následně předkládán dalším nástrojům na konkrétnější zpracování. Tento nástroj najde například na snímku čárový kód a pak je již dále zpracovávána jenom část snímku s čárovým kódem. [3]

3.5.2 Red Analyze Tool

Druhým nástrojem je červený nástroj analýzy. Jedná se o klíčový prostředek pro rychlou identifikaci defektů. Při procesu učení jsou předloženy a označeny dobré a špatné snímky. Na špatných snímcích se manuálně vyznačí oblasti deformací na výrobku. Lze označit i oblast, na kterou se má neuronová síť zaměřit při procesu učení a která je z tohoto pohledu nezajímavá.

Pak se již neuronová síť naučí tento rozdíl rozpoznat a nástroj lze použít pro vyhodnocování. Výsledkem tohoto nástroje je celkové ohodnocení společně s číselnou kvalifikací od 0 – bez

deformací až k 1 – fatální deformace na výrobku. Jak může vypadat možný výstup, je vidět na obrázku níže.



Obrázek 5: Nástroj analýzy

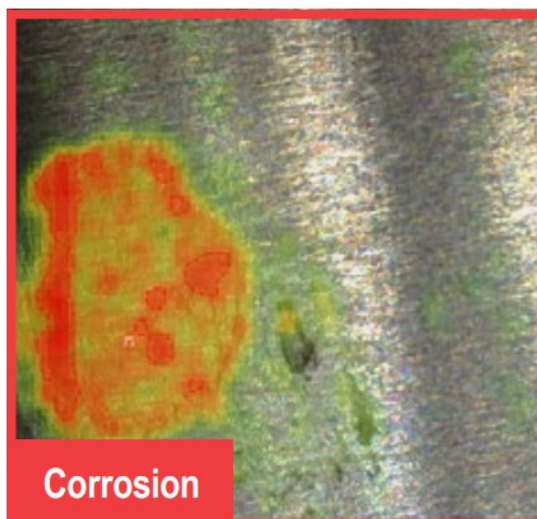
Od jaké hranice bude výrobek považován za vadný, si lze zvolit číslem ve zmíněném rozsahu. Mimo jiné je výstupem tohoto nástroje i seznam souřadnic po obvodu dané deformace. Lze tak případně závady dále zkoumat a snáze odhalit jejich příčiny. [3]

3.5.3 Green Classify Tool

Zelený nástroj klasifikace slouží pro rozlišení jednotlivých produktů, objektů, obecně identifikuje a třídí produkty do kategorií na základě jejich společných charakteristik. Nástroj toleruje odchylky v rámci třídy a současně odlišuje přijaté odchylky od různých tříd. Je tak zaručeno, že výsledek musí být do některé třídy zařazen, či nikoli.

Nástroj může pracovat ve dvou základních režimech. Prvním je zaostřený režim, který je ideální pro jednodušší aplikace, kdy jsou rychle zapotřebí robustní výsledky. Druhý režim vysokých podrobností lze pak uplatnit spíše na výpočetním centrálním uzlu, kdy výpočet je znatelně náročnější časově i výkonově, ale lze tak získat přesnější a podrobnější data. Tento režim nabízí i vizuální zpětnou vazbu, kterou lze použít při dalším ladění neuronové sítě. Mezi režimy lze volně přepínat.

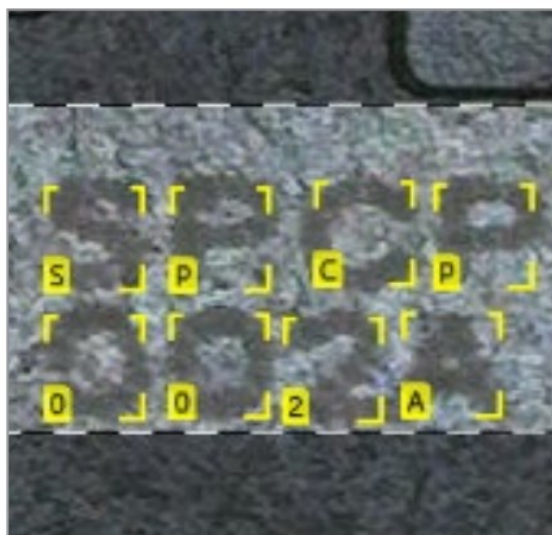
Konkrétním případem užití může být klasifikace deflorací získaných červeným nástrojem, díky čemuž lze odhalit četnosti jednotlivých deformací. Tato klasifikace deformací je zobrazena i na ukázkovém snímku níže, kde byla vyznačená vada klasifikována jako koroze. [3]



Obrázek 6: Nástroj klasifikace

3.5.4 Blue Read Tool

Posledním je modrý nástroj v módu pro čtení. Ten dešifruje zdeformované, zkosené a špatně vytištěné kódy pomocí metody optického rozpoznávání znaků. Nástroj vyžaduje snadné označení oblasti zájmu a nastavení velikostí znaků. Dále je zapotřebí označit jednotlivé znaky v rámci trénovací množiny. Jak může vypadat výsledný přečtený text zobrazuje obrázek níže.



Obrázek 7: Nástroj pro čtení

Výhodou tohoto nástroje oproti jiným je především jednoduchost nastavení a schopnost vyznačení znaků. Díky tomu lze snadněji tyto nedostatky odstranit. Výstupem je výsledný řetězec znaků včetně mezer a speciálních znaků. [3]

4 POUŽITÉ TECHNOLOGIE

Tato kapitola seznamuje čtenáře se všemi významnými základními technologiemi a programy, se kterými bylo v průběhu realizace práce zacházeno. Kapitola shrnuje proces volby a následné benefity nástrojů, které byly využity.

4.1 Programovací jazyky

Účelem podkapitoly je představit oba programovací jazyky, které byly v rámci diplomové práce použity. Především pak seznámit čtenáře s důvody, které vedly k volbě zvolených programovacích jazyků. V závěru podkapitoly se nachází žebříček oblíbenosti nejpoužívanějších programovacích jazyků.

4.1.1 C#

Programovací jazyk C# byl v rámci této diplomové práce uplatněn v jeho prvotní fázi pro implementaci modulu, který sloužil pro obsluhu knihovny ViDi od společnosti Cognex. Tento jazyk byl zvolen především díky tomu, že realizovaný modul měl být součástí větší již fungující aplikace LightTest, která je vytvořena právě v tomto jazyce. Modul byl tedy součástí existujícího softwaru pro kontrolu kvality a zaměřoval se na konkrétní funkcionalitu knihovny ViDi a zpřístupňoval její nástroje v transformované čitelnější podobě. Usnadňoval nastavení neuronové sítě před vyhodnocováním a pokrýval veškerou funkcionalitu právě procesu vyhodnocování neuronovou sítí. Nebylo cílem zpřístupňovat metody sloužící pro tvorbu nástrojů tedy procesu učení neuronových sítí. Modul byl testován a aktuálně je využíván v provozu. Důvody, které vedly ke vzniku modulu, byly již představeny v předchozí části práce v kapitole 2.5 *Dopady licenční politiky*.

4.1.2 Python

Druhým použitým programovacím jazykem Python. Ten byl zvolen především pro velké množství výhod, jakými jsou například:

- ❖ snadné učení,
- ❖ dynamické typování,
- ❖ otevřený zdrojový kód,

- ❖ komerční použití,
- ❖ široká podpora knihoven,
- ❖ přenositelnost.

Díky absenci závorek je kód programu výrazně čitelnější, rovněž díky dalším úsporám zápisu se odstraňují některé řádky, a tak se více kódu zobrazí na menším prostoru. Python patří do skupiny jazyků, která pro dělení kódu do bloků nevyužívá právě zmíněných závorek, ale pravidla Off-side, tedy odsazení. Díky tomu ovšem kód nelze formátovat v tradičním slova smyslu, neboť bílé znaky a odsazení udávají hranice bloků kódu. Vyšší produktivita je spojována s širokou základnou knihoven, a tak se programátor může plně věnovat konkrétnímu zadání a není nucen implementovat například rozsáhlejší datové struktury, kterými již knihovny jazyka Python disponují. Další výhodou je dynamické typování, které zaručuje že datový typ se dynamicky přiřadí až při provádění. Programátor tedy není nucen provádět deklaraci proměnných a jejich datových typů. Nezbytností je jeho komerční použití a přenositelnost která již hovoří sama a sebe.

4.1.3 Python.NET

Jak již bylo zmíněno balíček slouží pro integraci knihovny ViDi která je implementována v jazyce C#. Nicméně tento produkt má širší pole využití a jeho cílem je poskytnout vývojářům pohodlné využití služeb .NET respektive všech programovacích jazyků využívající běhové prostředí CLR. Jedná se o jazyky:

- ❖ C#
- ❖ VB.NET
- ❖ F#
- ❖ C++/CLI

Balíček je vydán pod open source licencí MIT, kterou lze použít pro komerční účely. Díky tomu ho lze využívat a

Díky balíčku Python.NET lze pohodlně využívat knihovny jazyka C#. Balíček řeší i využívání rozhraní, která se v jazyce Python nevyskytují, podobně jako výčtový typ, který má sice rozdílnou implementaci oproti standartnímu použití v Pythonu pomocí třídy Enum, nicméně lze jej rovněž využít po krátkém prostudování implementace. Patrně největší nevýhodu při vývoji však je absence nápovědy v libovolném vývojovém prostředí. Bohužel aktuálně žádné vývojové prostředí nedokáže momentálně zpřístupnit seznam komponent připojené knihovny pomocí balíčku

Python.NET. Přes tuto drobnou komplikaci nebylo při práci na praktické části odhaleno žádné další negativní hledisko spíše naopak. Pohodlný přístup a intuitivní použití bylo velkou výhodou.

4.1.4 Popularita programovacích jazyků

Pro zajímavost bude uvedena statistika aktuálně nejvíce vyhledávaných programovacích jazyků. Lze si tuto četnost vyhledávání vyložit jako aktuální trend a lze tak stanovit programovací jazyk s momentálně nevyšším potenciálem.

Pořadí	Programovací jazyk	Podíl ve vyhledávání	Trend
1	Python	29,5 %	- 1,0 %
2	Java	17,51 %	-0,6 %
3	JavaScript	8,19 %	+0,2 %
4	C#	7,05 %	-0,2 %

Tabulka 3: Popularita programovacích jazyků

V tabulce popularity výrazně dominuje právě programovací jazyk Python. Dle statistiky vyhledávání se na první příčku dostal již na začátku roku 2018. Nicméně v poslední době u něj u něj pozorovat klesající tendenci.

Všechny zmíněné výhody společně s aktuálním potenciálem vedly k volbě tohoto jazyka pro implementaci hlavní části praktické části diplomové práce. Neodmyslitelnou výhodou zde je možnost budoucího nahrazení knihovny ViDi vlastní realizací neuronových sítí v jazyce Python, který je v tomto oboru naprosto dominantním hráčem. Nicméně jako možnou komplikaci lze považovat knihovnu ViDi, která je implementována v jazyce C#. Pro řešení tohoto problému byl využit balíček Python.NET, který bude blíže popsán v následující části. [2]

4.2 Neuronové sítě

V rámci knihovny ViDi byly využity nástroje, které využívají například konvoluční či rekurentní neuronové sítě. Ty slouží pro detekci objektů na snímku či rozpoznávání znaků textu. Díky prostředí pro tvorbu v programu VisionPro Deep Learning, který po uživateli nevyžaduje hlubší znalosti, je proces učení, a tedy tvorby nástroje, velmi usnadněn. Pokud by bylo cílem porovnat

tento proces učení s tradičním procesem učení pomocí knihoven Python TensorFlow či PyTorch, jedná se o výrazně náročnější činnost a nejedná se pouze o znalost programovacího jazyka.

Náplní této práce nebyl proces učení neuronových sítí, v jejím procesu však bylo nezbytné se s programem seznámit a provést rovněž proces učení. Díky těmto zkušenostem byl postup tvorby nástrojů, který většinou obnáší proces učení neuronových sítí, zmíněn v kapitole 3.5 *Knihovna ViDi*.

4.3 Datové struktury

Za programovací jazyk byl zvolen Python a jak již bylo zmíněno jednou z jeho hlavních předností je jeho bohatá opora v knihovnách a efektivní údržbě balíčkovacího systému. Díky těmto vlastnostem lze snadno využívat velmi efektivní datové struktury bez nutnosti vlastní implementace.

Rovněž již v základu jazyk Python obsahuje několik datových struktur, které lze použít pro řešení celé řady problémů. Tyto základní datové struktury, které není nutné importovat, lze současně označit jako Thread safety. Díky tomu, že vlákna byla v rámci vývoje často použita, bylo nezbytné využívat datové struktury, které disponují ochranou proti užívání více vláken. Díky tomu nebylo nezbytné realizovat řízení přístupu například pomocí semaforů, zámků či dalších nástrojů pro synchronizaci vláken.

Jediným případem využití datové struktury z balíčku mimo základních struktur jazyka Python byla fronta a prioritní fronta. Ty byly využity z balíčku *queue*. Jazyk Python nabízí tzv. obousměrnou frontu *deque*. Ta umožňuje mimo základních vlastností fronty také vkládání na její začátek. Díky této vlastnosti ji lze použít i jako implementaci zásobníků. Nicméně tato vlastnost může být v určitých případech nevýhodou. Při špatném pochopení může dojít k záměně užití fronty za zásobník či naopak, a tak například při nepozorné refaktorizaci může programátor chybovat.

Dalším důvodem pro využití tohoto balíčku je, že implementace *queue.PriorityQueue* je bezpečná pro použití ve vícevláknovém programování na rozdíl od implementace *heapq*, která touto vlastností nedisponuje. Navíc obě implementace jsou realizovány na principech haldy, i když to název naznačuje pouze u jedné, asymptotická složitost je pro obě varianty identická. Především z těchto důvodů byla použita implementace fronty a prioritní fronty ze zmíněného balíčku *queue*.

V rámci oboru datových struktur vznikl zajímavý požadavek na datovou strukturu. Bylo nezbytné evidovat vyhodnocené snímky, na kterých byla odhalena deformace, následně tento záznam využít v případě, pokud má být vyhodnocen snímek stejného výlisku. V těchto případech lze

vyhodnocení neprovádět, neboť lze predikovat rovněž jeho negativní ohodnocení. Pokud by byla využita fronta pro evidenci těchto negativních snímků, proces hledání v této struktuře by byl optimální. Rovněž pokud by byla využita struktura s lepší asymptotickou složitostí pro nalezení, pak by se vyskytl problém s horší složitostí u metody vkládání. Rovněž by se objevila komplikace s odstraňováním starších záznamů. Následuje ukázka třídy *PrematurelyTerminated*, která poskytuje řešení této problematiky.

```
class PrematurelyTerminated:
    def __init__(self, max_size: int = 20):
        self.queue = Queue()
        self.set = set()
        self.max_size = max_size

    def add(self, item) -> None:
        if self.max_size <= len(self.set):
            self.set.remove(self.queue.get())
        self.set.add(item)
        self.queue.put(item)

    def __contains__(self, item):
        return item in self.set
```

Ukázka kódu 1: PrematurelyTerminated

Na základě těchto požadavků byly zkombinovány dvě struktury, a to *set* a *queue*. První je sada, která je realizovaná jako neuspořádaná a neindexovaná datová struktura, která je prioritně určena pro testování členství a eliminaci duplicitních záznamů. Pro odhalování členství využívá hashovací funkce, rovněž má průměrnou konstantní asymptotickou složitost pro vkládání, odebírání a testování členství.

Druhou strukturou je fronta, která nenarušuje složitost vkládání a odebírání, nicméně díky ní lze jednoduše identifikovat zastaralé záznamy a ty, v případě vkládání nových, odstranit. Tento postup záměny, nový záznam za starý, byl použit místo periodického mazání po předem stanoveném intervalu. Nezbytné je, aby kapacita byla dostatečně velká pro efektivní vyřazování snímků, které není nutné vyhodnocovat.

4.4 Vícevláknové programování

V rámci diplomové práce bylo použito vícevláknové programování s cílem vytvořit efektivní software. Paralelní zpracování je využito hned na několika místech. Prvním případem je již navázání komunikace se serverem. Na počátku je řídicí vlákno, které neaktivně čeká na příchozí komunikaci. Po detekování požadavku předá navázané spojení novému vláknu a vrací se do stavu čekání na další spojení. Díky této technice vznikne-li kdykoliv nový požadavek na komunikaci, je obslužen, a není tak možné, že by byl požadavek zamítnut.

Druhým paralelismem je využití třídy *ThreadPoolExecutor*, tedy jakési předem stanovené množiny vláken. Tato vlákna čekají na přiřazení úkolu a následně jedno vlákno z této množiny daný proces provede. Díky tomu, že vlákna nejsou vytvářena, ale již existují, dochází k úspoře času. Tento princip ovšem nebylo možné realizovat u předchozího případu s navázáním komunikace, protože nelze předem stanovit, kolik vznikne požadavků na komunikaci, a tedy velikost množiny vláken.

Tento princip byl použit pro paralelní zpracování procesu vyhodnocení snímků. Velikost množiny vláken je stanovena dle počtu GPU, neboť náplní těchto vláken je výhradně provádět vyhodnocení jednotlivých snímků. Vlákno tedy čeká na výsledek, který mu poskytne přidělené GPU. Následně se vlákno vrací do množiny vláken, kde vyčkává na další snímek.

V rámci práce bylo vícevláknové programování použito na více místech a z tohoto důvodu bylo nezbytné využívat převážně koncept thread safety. Ten zahrnuje datové struktury a další nástroje které dovolují použití v rámci více vláken bez rizika vzniku uváznutí.

4.5 Využití algoritmy z oboru operačních systémů

V rámci přidělování GPU jednotlivým snímkům bylo nezbytné zvolit vhodnou variantu pro řízení posloupnosti zpracování jednotlivých snímků. Problematika je velice podobná plánovacím algoritmům v rámci operačního systému. Z toho důvodu byly tyto algoritmy považovány za vhodné ověřené předlohy pro řešení.

Patrně nejjednodušší variantou je realizace algoritmu *First Come First Serve*, která je vystavěna na principu paměti FIFO. Fronta v tomto případě zaručí zpracování ve shodném pořadí, v jakém se nové požadavky vyskytly. Tento bezpochyby funkční algoritmus neumožňuje jakýkoli zásah do pořadí, nicméně zaručuje, že v žádném případě nedojde k vyhladovění nějakého požadavku. Požadavek tudíž nebude obslužen, nebo nebude obslužen v rámci časového okna.

V rámci této práce bylo nutné realizovat vyhodnocení za dobu jednoho cyklu výroby. Toto časové okno je stanoveno pro každou výrobní linku na základě délky procesu vstřikování. Pro představu se čas výrobního cyklu pohybuje v desítkách sekund. Za tento cyklus musí dojít k vyhodnocení včetně pořízení všech snímků.

Druhým možným řešením je vycházet z algoritmu *Priority Based Scheduling*. Jedná se téměř výhradně o nahrazení fronty prioritní frontou. Priorita pak určuje posloupnost ve zpracovávání požadavků, výhodou tedy je možnost řízení za použití této priority. Hlavní nevýhodou je možnost vyhladovění v případě udělení nízké priority požadavku, tedy že požadavek bude „předbíhán“ ostatními požadavky s vyšší prioritou a sám se nikdy nedostane ke zpracování.

Pro řešení byla zvolena kombinace těchto dvou algoritmů. Výchozí je zde rovněž prioritní fronta, nicméně priorita je v základu stanovena dle aktuálního času, a tedy bez dalších úprav funguje jako běžná fronta. Uživateli je přesto umožněno nastavit jakousi dodatečnou prioritu, která se od počáteční časem stanovené hodnoty odečte či přičte, a tak dochází k možnosti ovlivnit pořadí zpracovávání s omezením rizika vzniku vyhladovění.

5 IMPLEMENTACE

Praktická část práce si klade za cíl implementovat software v duchu Průmyslu I4. Jak již bylo zmíněno, tento úkol byl realizován v rámci projektu ve společnosti Hella. Konkrétně se jedná o integraci nástrojů dle I4 do výrobního procesu vstřikování plastů se zaměřením na vizuální kontrolu s využitím neuronových sítí a dalších nástrojů umělé inteligence.

5.1 Požadavky na implementaci

V rámci projektu ve společnosti Hella bylo od počátku plánováno využít hotové nástroje od společnosti Cognex pro analýzu obrazu. Alternativa vlastního vývoje v tomto oboru byla z časové a finanční náročnosti již dříve zamítnuta, neboť široká škála nástrojů, které poskytují programy společnosti Cognex, jsou aktuálně na velice dobré úrovni. Vlastní vývoj s sebou navíc nese riziko neúspěchu, které nikdy nelze vyřadit.

Na základě této spolupráce byl stanoven první úkol. Tím byla tvorba aplikace s využitím programu Cognex Designer. Jak bylo již zmíněno, tento cíl se změnil na tvorbu vlastního modulu. K tomuto kroku došlo především z licenčních důvodů. Cílem první etapy tedy bylo navrhnout vlastní software, který umožní využívat stejné nástroje z programů VisionPro a VisionPro Deep Learning, pouze bez nutnosti využívat Cognex Designer. Základním požadavkem bylo sestavení přehledného modulu, bez GUI, který umožní využívat všechny nástroje ve zjednodušené formě. Díky tomu, že program LightTest obstarává veškerou nezbytnou komunikaci, bylo dohodnuto, že nový modul nebude tyto náležitosti sám obsahovat.

Cílem druhé etapy bylo prozkoumání možností serverového řešení, konkrétně stanovení požadavků na případný výpočetní uzel, který by odpovídal za veškeré potřebné vyhodnocování zaslaných snímků, především pak se zaměřením na výkonnostní požadavky cílového stroje. Součástí druhé etapy bylo dále prozkoumat paralelní zpracování, které je v rámci tohoto navrhovaného řešení samozřejmostí.

5.2 Problematika snímkování

Problematika snímkování má přímý vliv na schopnost detekovat deformace na výliscích. Je zde nezbytné dodržet stálost snímků. Tím je myšleno, aby se na snímcích nevyskytovali nenadálé změny, které by mohly vést k falešnému negativnímu vyhodnocení. Může se jednat o odlesky či obecné změny světelných podmínek v prostoru snímkování.

V rámci kontroly barvy a svícení je v zatemněné komoře využito bodové svícení. Nasvícení bodovým světlem společně s využitím zatemněného boxu vyřadí všechny vnější vlivy, jakými mohou být nechtěné odlesky. Zatemnění hraje významnou roli i z pohledu testu barvy, protože osvětlení ve výrobě by mohlo zkreslovat výsledky testu.

Pro tento test vizuální kontroly se využívá technologie podsvícení backlight. Jedná se o plošné podsvícení, které se například využívá v LCD monitorech, kde je nutné k vytvoření viditelného obrazu. Tento druh podsvícení v případě vizuální kontroly lépe odhalí dekorativní vady či mechanická poškození. Následující obrázek zobrazuje silnostěn podsvícený právě pomocí podsvícení backlight. Jedná se o levou část výlisku silnostěnu bez dekorativních a jiných vad.



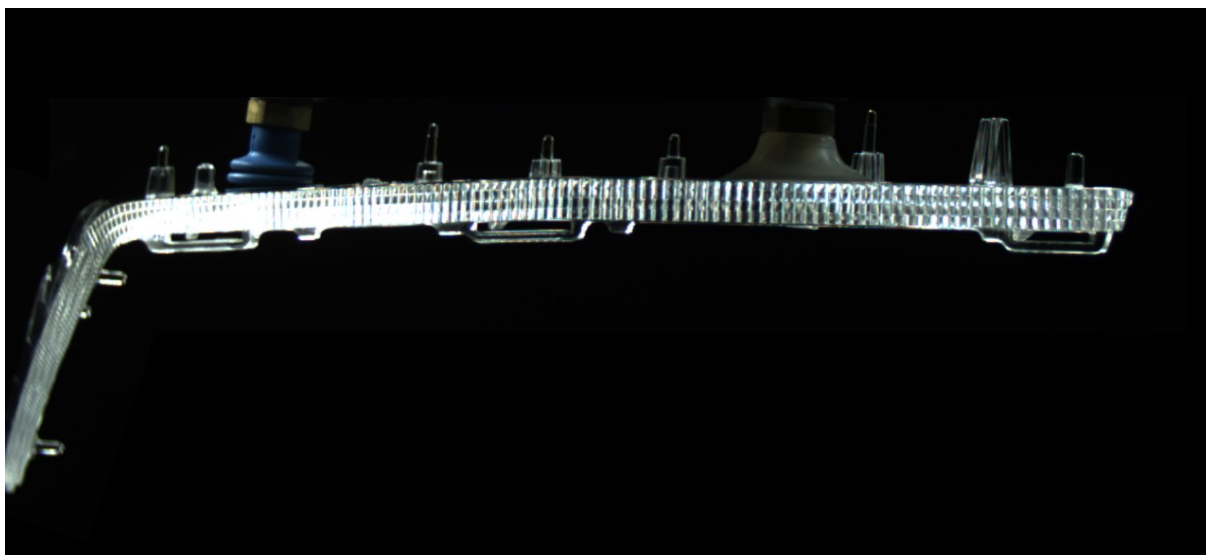
Obrázek 8: Silnostěn

Problémem tohoto druhu podsvícení je úchyt, za který je silnostěn při snímkování držen. Ten je vidět na snímku v pravém horním rohu. Je zjevné, že případné dekorativní či mechanické vady v této části výlisku nelze žádným způsobem detekovat, neboť nejsou z obrázku patrné. Pro zvýšení kvality snímků je plánováno zkombinovat aktuální technologii svícení s technologií bodového svícení, která by mohla tmavou část vhodně nasvítit.

Další komplikací, konkrétně u těchto výlisků, je velká plocha, kterou je zapotřebí zkontrolovat společně s kombinací mnohdy minimalistických vad, které se na výlisku objevují. Z tohoto důvodu je výlisek rozdělen na dvě části, které se separátně snímají a vyhodnocují.

I když to ze snímku není patrné, je focení přímo v provozu proti podsvícení, přesto zde ale není žádná forma zatemnění jako u snímků určených na kontrolu barvy a svícení. Nenadálá změna ve světelných podmínkách ve výrobě by mohla vést k chybným vyhodnocením neuronovou sítí, které jsou na takovéto změny velice citlivé, nebylo-li s těmito změnami počítáno v rámci procesu učení. Tento problém je rovněž v procesu řešení, prozatím je však počítáno s variantou bez vnějšího stínění, dokud nenastanou komplikace.

Možným řešením by bylo využívat snímky ze zatemněné komory pro vizuální kontrolu. Toto řešení však nelze realizovat. Na snímcích ze zatemněné komory mohou být některé druhy vad hůře patrné.

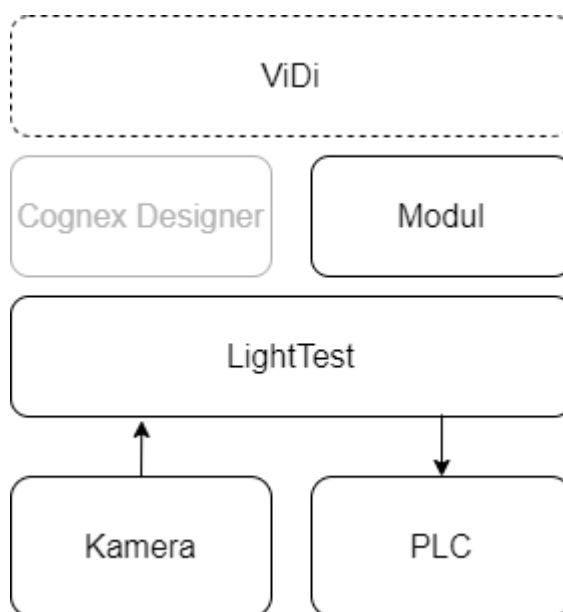


Obrázek 9: Půdorys silnostěny

Případnou další komplikací by mohlo být nastavení kamer v rámci zatemňovací komory. Aktuálně jsou kamery nastaveny v rámci zatemňovacích komor pro snímání z úhlů vhodných pro provedení testování barvy a svícení, jak je vidět na obrázku výše. Bylo by tedy zapotřebí výrazně zasáhnout do podoby snímání, a to ovšem s nejistým výsledkem, který je spojený s hůře detekovatelnými objekty na černém pozadí.

5.3 První etapa

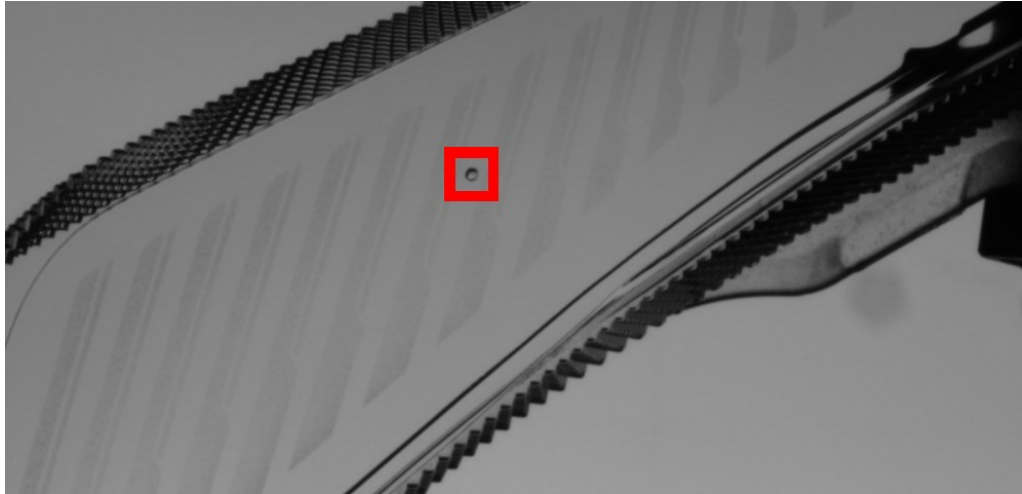
Následující diagram zobrazuje základní ideu první etapy, a tedy vybudovat modul, který zpřístupní nástroje knihovny ViDi, a tím nahradí aplikaci vytvořenou v programu Cognex Designer. Program LightTest disponuje momentálně jedním testem. Jedná se o test, který slouží v rámci dekorativní kontroly barvy a svícení. Základní ideou bylo přidat další test, pomocí kterého bude možné využívat libovolné nástroje poskytované knihovnou ViDi.



Obrázek 10: První etapa

Knihovna ViDi slouží především pro uplatňování připravených nástrojů, například v podobě naučené neuronové sítě, která dokáže rozpoznávat vady na výrobku. Neuronové sítě však nemají být v tomto programu LightTest tvořeny a učeny. Jsou zde pouze využity při procesu testování a provádění dekorativní kontroly kvality výlisku. Pro proces učení a tvorbu s nastavením jednotlivých nástrojů slouží programy VisionPro a VisionPro Deep Learning. Díky těmto programům jsou vytvořeny runtime verze, které modul bude využívat.

Úkolem testu je odhalit všechny dekorativní a jiné vady a jednotlivě je vyznačit. Vady pak lze pomocí dalších nástrojů zkoumat a případně třídit do kategorií. Výstupem tohoto modulu v případě použití červeného nástroje, který slouží pro odhalování nedostatků a vad na výrobcích je kromě získání výsledku zkoušky i snímek s vyznačenými vadami. Bližší rozbor jednotlivých nástrojů bude v rámci kapitoly 3.4 *Softwarové produkty*. V tomto případě se jedná o přiblížený snímek s vyznačenou vadou bublinky, která vznikla při procesu vstřikování plastů.



Obrázek 11: Silnostěn s vyznačenou vadou

Výsledný snímek je archivován pro další zpracovávání s cílem dále analyzovat jednotlivé vady, a zjistit tak jejich četnost a umístění na výlisku. Dle zjištěných poznatků mohou být odhaleny dosud skryté příčiny, rovněž lze upravit formu pro výlisky, a zamezit tak vzniku některých defektů.

5.4 Druhá etapa

Základním cílem druhé etapy bylo prověření možností serverového řešení a dále pak stanovení požadavků na tento výpočetní uzel. Nedílnou součástí bylo rovněž prověřit možnosti paralelního zpracování.

Průběh vývoje obou etap byl komplikovaný, neboť licence byla sdílena mezi programátory, kteří odpovídali za integraci modulu do programu LightTest, dále mezi pracovníky, kteří odpovídali za tvorbu a učení neuronových sítí v rámci tvorby jednotlivých nástrojů v programech VisionPro a VisionPro Deep Learning, a autorem této práce.

Kvůli těmto omezením byla významná část práce realizována bez licence, a především z těchto důvodů byl sestaven provizorní emulátor. Ten byl schopen nahradit základní funkcionalitu knihovny ViDi, a umožnil tak práci bez licence. Samozřejmě tento emulátor nedisponoval žádnou vyhodnocovací schopností a všechny výstupy byly simulovány.

Pořízená licence společností Hella v Mohelnici byla omezena v rámci verze standard v podobě využívání pouze jednoho GPU. Tento fakt byl zjištěn až v pozdějších fázích práce. Z těchto důvodů bylo rozhodnuto rozšířit, do té doby provizorní emulátor, na základě poznatků z dokumentace a se zkušenostmi s využíváním jednoho GPU. Úkolem emulátoru bylo nahradit

funkcionalitu knihovny do té míry, aby odpovídala použití standardní knihovny nyní i v odvětvích zaměřujících se na paralelní zpracování.

Knihovna ViDi nabízí ve své plné podobě několik režimů pro zpracování. Jedná se o

- ❖ *Default*,
- ❖ *SingleDevicePerTool*,
- ❖ *MultipleDevicesPerTool*,
- ❖ *NoSupport*,
- ❖ *Deferred*.

Daný režim je zvolen dle výčtového datového typu *GpuMode*. Zdání, že se jedná celkem o pět samostatných režimů, je klamavé, neboť *Default* společně s režimem *SingleDevicePerTool* nabývají hodnoty 1, podobně jako *NoSupport* a *Deferred* nabývají hodnoty 0. Takže knihovna v realitě nabízí tři základní režimy.

Prvním režimem je režim *Default* společně se *SingleDevicePerTool*. Mezi těmito dvěma režimy není žádný rozdíl. Základním principem je přidělování konkrétních snímků vždy jednotlivě zvoleným GPU. To tedy znamená maximální paralelní zpracování takového počtu snímků, jakým disponujeme počtem GPU.

Druhý režim je *MultipleDevicesPerTool*, který využívá „vlastního“ paralelního zpracování. Tím je myšleno, že výpočet jednoho konkrétního ohodnocení snímku je rozložen mezi jednotlivé GPU v rámci knihovny ViDi. Tento režim tedy není zapotřebí nijak specificky řídit. Nevýhodou tohoto režimu však je jeho schopnost použití pouze na jeden z nástrojů. Jedná se o červený nástroj. Ten je v rámci práce nejvíce využíván a slouží právě pro detekci deformací. Nicméně v případě použití v kombinaci s jinými nástroji dojde k využívání výpočetních kapacit pouze jednoho GPU.

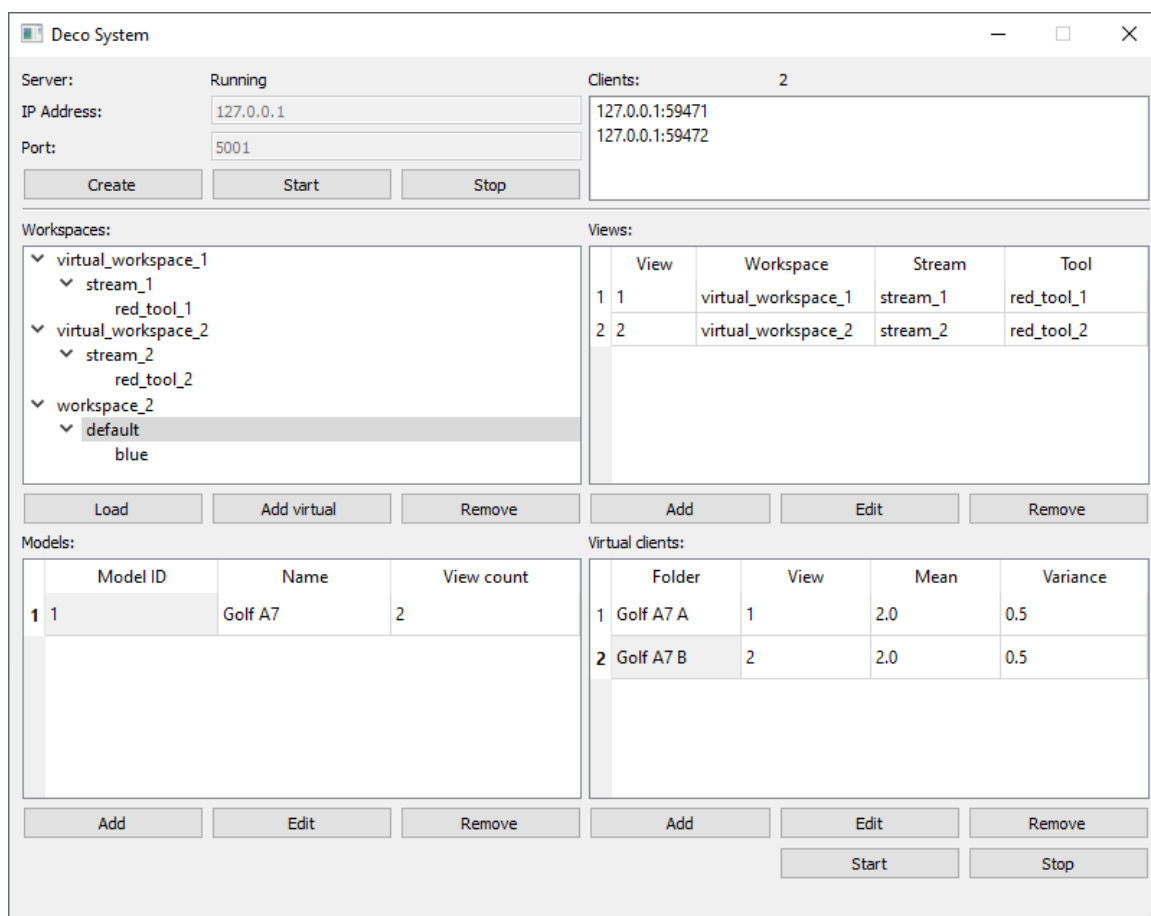
Třetí režim, který se skládá z *NoSupport* a *Deferred* slouží pro zamezení využívání GPU a přesměrování všech výpočtů na CPU. Tento režim obecně nedosahuje výpočetních schopností předešlých dvou a je násobně pomalejší. Není zde tedy důvod tento režim jakkoli porovnávat, neboť výsledek je zřejmý. Režim slouží výhradně pro použití při komplikacích s připojením GPU.

V pozdějších etapách realizace práce byla vydána aktualizace od společnosti Cognex, kde již v rámci ViDi byl podporovaný režim paralelního zpracování pouze v rámci režimu *SingleDevicePerTool*. Režim *MultipleDevicesPerTool* byl označen za do budoucna nepodporovaný, a tak již nebylo nutností tento režim dále analyzovat. Díky této změně a rovněž

licenčnímu omezení byl následný vývoj zaměřen především na režim *SingleDevicePerTool*. Tento režim byl následně maximálně věrně emulován pro dosažení cílů druhé etapy.

5.5 Popis výsledné aplikace DecoSystem

Aplikace DecoSystem je výsledkem druhé etapy. Slouží jako program na výpočetním uzlu pro zpracování příchozích požadavků na vyhodnocení. Mimo tohoto základního účelu dále rozšiřuje svou působnost o možnost vytvářet virtuální klienty, kteří zasílají snímky pro vyhodnocení a rovněž je součástí aplikace emulátor knihovny ViDi.



Obrázek 12: Aplikace DecoSystem

Výchozím bodem aplikace je samotné nastavení a ovládání serveru, které se nachází v levé horní části. Součástí je i informační zpráva, která periodicky informuje uživatele o aktuálním stavu serveru. V pravé horní části je umístěno okno s aktuálně připojenými klienty a jejich celkovým počtem. Rovněž zde dochází k periodické aktualizaci, aby měl uživatel aktuální informace.

V prostřední úrovni okna se nachází sekce *Workspaces* a *Views*. Pracovní prostředí je nahráno pomocí dialogového okna, které se zobrazí po stisknutí tlačítka *Load*. Pak je nahrána struktura workspace tak, jak byla vybudována v programu VisionPro Deep Learning. Rovněž lze využít virtuální workspace, který lze přidat po kliknutí na tlačítko *Add virtual*.

V tomto případě si v následně zobrazeném dialogovém okně uživatel zvolí, zda využije beta rozdělení (jiná rozdělení pravděpodobnosti nebyla na základě analýzy provozu požadována), či nahraje data a uplatní deterministický přístup. V obou případech virtuálního workspace dojde k vygenerování struktury s jedním streamem a jedním červeným nástrojem. Libovolný workspace lze automaticky odstranit. Na obrázku aplikace je rovněž vidět mimo dvou virtuálních i jeden reálný workspace s modrým nástrojem.

Okno *Views* zobrazuje, jaký pohled bude vyhodnocen a jakým nástrojem vyhodnocení bude realizováno. Při snímkování může jedna kamera sbírat více snímků na jednom výlisku, tedy nelze stanovit, že kamera snímá vždy výhradně jeden pohled. Z tohoto důvodu je nezbytné, aby se snímkem byl zasílán identifikátor pohledu, který následně odpovídá použitému nástroji. Přidávání nových položek je možné pomocí dialogového okna, které nabízí volbu pro vyhodnocení pouze z již nahraných nástrojů a rovněž je zaručena jedinečnost identifikátoru pohledu.

V levé spodní části je okno zobrazující přehled modelů. Ten slouží především pro specifikování, z kolika snímků se daný model skládá. V tomto případě byl silnostěn fotografován dvěma kamerami, jeho levá a pravá část vždy separátně, z toho důvodu je počet pohledů nastavený na hodnotu dva. Model je identifikován podle prefixu názvu produktu.

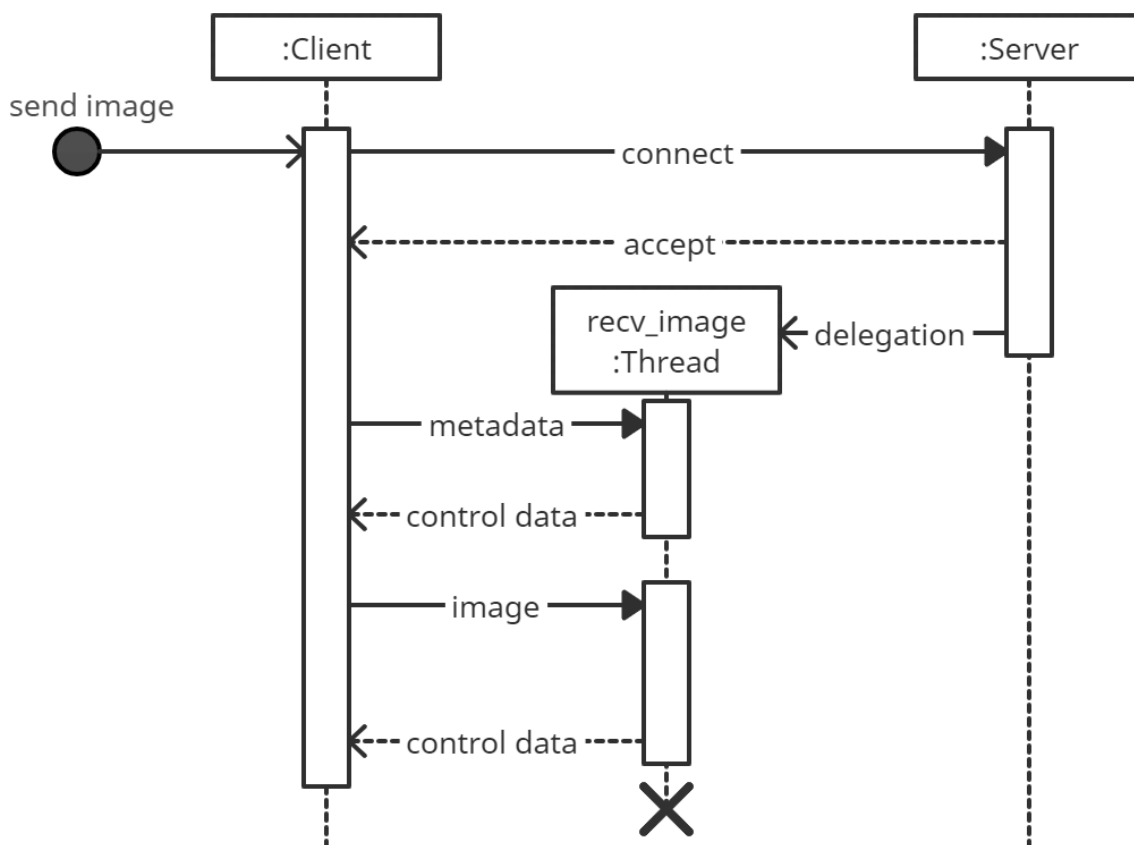
Poslední okno slouží již pouze v případě, že nedojde k připojení klientů a je zapotřebí vytvořit virtuální klienty. Pak lze pomocí dialogového okna vybrat složku se snímky a specifikovat normální rozdělení, dle kterého budou snímky zasílány na server. Všechny klienty lze řídit tlačítkem *Start* či *Stop* v pravém dolním rohu aplikace.

5.6 Klíčové body aplikace

Tato kapitola si klade za cíl představit průběh zpracování s bližším zaměřením na konkrétní úseky kódu. Současně u konkrétních implementací bude vysvětlen důvod použití konkrétní implementace a případně také odůvodnění, proč nebyl zvolen alternativní postup.

5.6.1 Server

Třída *Server* je výchozím bodem aplikace. Obstarává a řídí příchozí komunikaci. Dále poskytuje informace o počtu připojených uživatelů a stavu samotného serveru. Proces samotné komunikace je vyobrazen pomocí sekvenčního diagramu.



Obrázek 13: Sekvenční diagram komunikace klienta a serveru

Server vytváří pro každé navázané připojení nové vlákno, kterému deleguje navázané spojení. Vlákno je vytvořeno pomocí třídy *Thread*, která je součástí balíčku *threading*. V konstruktoru třídy je předána funkce společně s jejími argumenty. V rámci funkce *recv_image* je již realizována obsluha komunikace s klientem. Díky této implementaci dojde k obslužení každé příchozí komunikace a nemůže nastat problém se zamítnutím z důvodu zahlcení.

Server je realizován na základě využití balíčku *socket*. Hodnota *listen* je tradičně nastavena na hodnotu 5. Tato hodnota zaručuje, že pokud vznikne ve shodný okamžik až 5 požadavků na spojení, třída *Server* tyto požadavky dokáže obsloužit. V případě vzniku více požadavků, než je stanovená kapacita, budou nově příchozí požadavky zamítnuty. Omezení na stanovenou kapacitu

spojení však trvá pouze do doby, než dojde k delegování komunikace. Pak vzápětí dochází k uvolnění jednoho ze zmíněných 5 slotů a může být přijat další požadavek. Vlákno serveru tedy nečeká na přenos dat, a tím je zaručeno, že každá příchozí komunikace bude obsloužena. Poté, co jsou snímky získány, jsou vkládány do prioritní fronty, která byla popsána blíže v kapitole 4.3 *Datové struktury*.

5.6.2 Thread pool

Po odebrání snímku z prioritní fronty, která řídí posloupnost, je snímek předložen pro vyhodnocení knihovnou ViDi a jejími nástroji. Po vyhodnocení je snímek vkládán do fronty sloužící pouze jako přestupní bod pro další zpracování. Aby bylo umožněno paralelní zpracování, je zde uplatněn princip thread pool, tedy třída *ThreadPoolExecutor* v rámci balíčku *concurrent*.

```
def run(self) -> None:
    while self.running:
        item = self.load_item()
        gpu_id = self.free_gpus.get()
        if not self.running:
            break
        self.executor.submit(self.__task, item, gpu_id)
def __task(self, evaluation_item: EvaluationItem, gpu_id) -> None:
    rating_results = self.vidi.evaluate(evaluation_item, gpu_id)
    self.free_gpus.put(gpu_id)
    for rating_result in rating_results:
        self.output.put(rating_result)
```

Ukázka kódu 2: ThreadVidi

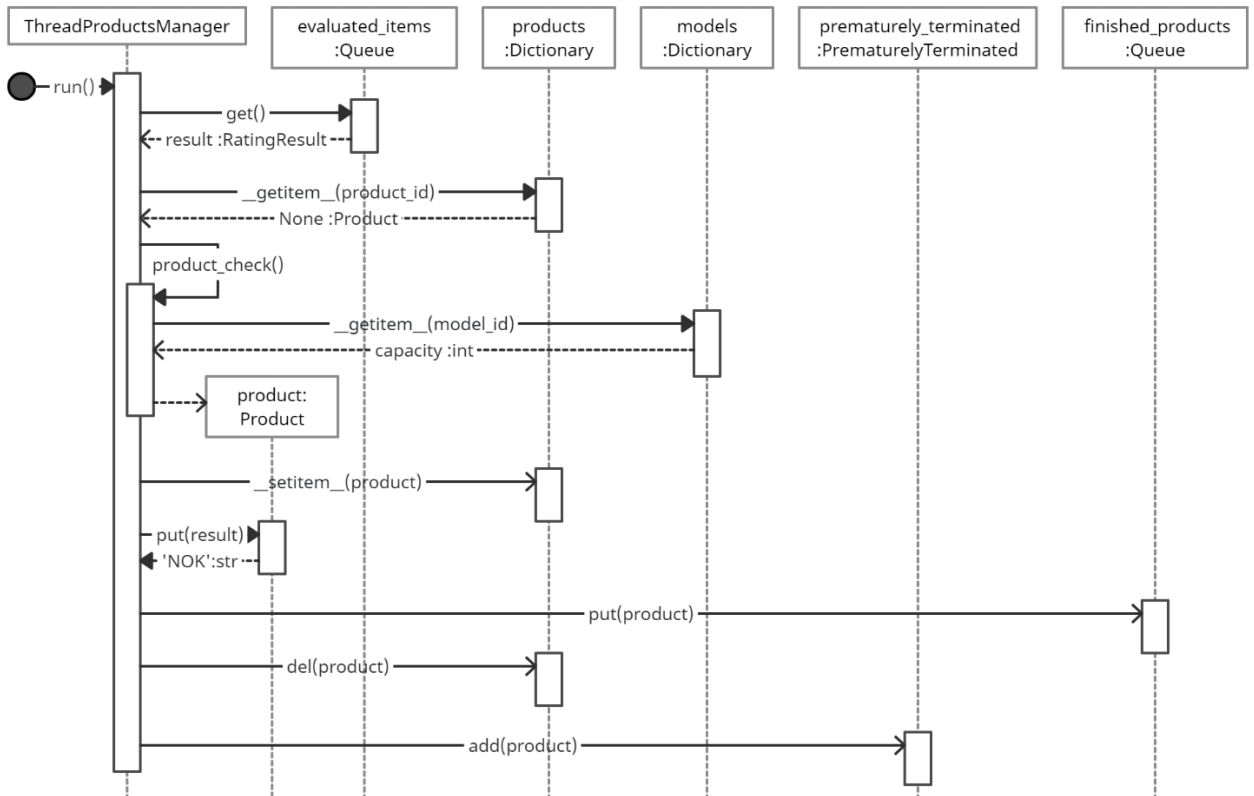
Na ukázce je zobrazena metoda *run* a metoda *task* třídy *ThreadVidi*. V rámci metody *run* nejprve dochází k načtení snímku a následně k rezervaci GPU, které musí být vždy specifikováno. Poté dochází ke kontrole běhu a následnému delegování úkolu jednomu z vláken třídy *ThreadPoolExecutor*, která je v ukázce zastoupena proměnnou *executor*. Při inicializaci této třídy je počet vláken nastaven, aby byl shodný s počtem GPU v zařízení. Tento počet se při testování potvrdil jako optimální.

Metoda *task* je vždy prováděna jedním z volných vláken, které poskytuje zmíněná třída *ThreadPoolExecutor*. Hned v úvodu provádění metody dochází k vyhodnocení a následnému uvolnění GPU. To je provedeno pomocí vložení jeho identifikátoru do příslušné fronty GPU. Jelikož může být v rámci jednoho vyhodnocení použito více nástrojů, může být výstupem rovněž více výsledků. Ty jsou pak za pomoci cyklu jednotlivě vkládány do výstupní fronty. Výstupní fronta následně slouží pro sjednocení výsledků.

5.6.3 Sjednocení výsledků po vyhodnocení

Po provedení vyhodnocení je získán výstup dle použitého nástroje. Pro správu výstupu slouží třída *RatingResult*. Výstupní hodnoty se samozřejmě liší pro jednotlivé nástroje, z toho důvodu jsou implementovány i třídy *RatingResultRed*, *RatingResultGreen*, *RatingResultBlue*. Tyto třídy jsou sestaveny tak, aby obsahovaly všechna významná data, která poskytuje knihovna ViDi. Nebylo možné využít výstupní objekty knihovny, neboť byly velice obsáhlé a převážná většina parametrů neměla pro další zpracování význam. Na základě konzultací s odborníky ze společnosti Hella byly stanoveny parametry, které jsou již součástí zmíněných výstupních tříd.

Dalším krokem je sjednocení výsledků pro jednotlivé produkty, neboť jak již bylo uvedeno, aktuálně je jeden silnostěn snímkován dvěma kamerami, a tak je zapotřebí zpracovat oba výsledky, a stanovit tak celkový výstup pro daný produkt. Celá problematika zpracování výsledku je vyobrazena pomocí sekvenčního diagramu níže.



Obrázek 14: Sekvenční diagram sjednocení výsledků po vyhodnocení

Nejprve dochází k odebrání výsledku vyhodnocení z fronty *evaluated_items*. Při dalším zpracování této problematiky je využita datová struktura slovníku, která slouží pro evidenci jednotlivých produktů. Z identifikátoru snímku je odvozen identifikátor produktu, který je použit pro vyhledání v datové struktuře *products*. Diagram zobrazuje případ, kdy se jedná o dosud nevidovaný výrobek. Nedochozí tak k jeho nalezení a návratovou hodnotou je *None*.

Metoda *product_check* v tomto případě zaručí vytvoření a zaevidování instance třídy *Product*. Pro vytvoření je ještě nezbytné získat kapacitu produktu, tedy hodnotu, která udává počet snímků připadajících na jeden produkt. Pro to, aby mohl být stanoven souhrnný výsledek pro produkt, je nezbytné znát všechny dílčí výsledky. Metoda *put* slouží pro vložení výsledku z vyhodnocení do příslušného produktu. V tomto případě může nastat několik variant řešení a některé z nich zobrazuje následující tabulka.

Případ	Výsledek 1. snímku	Výsledek 2. snímku	Celkový výsledek
1	OK	OK	OK
2	N/A	OK	NOK
3	NOK	NOK	NOK
4	OK	NOK	NOK

Tabulka 4: Stanovení celkových výsledků

Jak ukazuje první případ, je celkový výsledek pozitivní, pouze pokud jsou oba pozitivní. Ve druhém případě je pak zobrazeno, co se děje, pokud dojde k ohodnocení jednoho ze snímků výsledkem „N/A“, tedy stav, kdy nebyla zřetelně rozpoznána vada, ale nejedná se o jednoznačné rozhodnutí. V takovýchto případech je výsledek považován za negativní. V dlouhodobějším horizontu budou tyto výsledky dále zkoumány, nicméně aktuálně je k nim takto přistupováno.

Obecně se jedná o velice výjimečný stav. Ve 3. případě může nastat otázka, zda je skutečně nezbytné vyhodnocovat 2. snímek, i když je zřejmé, že celkový výsledek nemůže skončit úspěchem, neboť již byla detekována deformace na 1. snímku. Této otázce se věnuje následující kapitola 5.6.4 *Zamezení zbytečného vyhodnocování*. Poslední čtvrtý případ popisuje variantu s jedním negativním a druhým pozitivním výsledkem měření. Jak již bylo řečeno, celkový výsledek je v těchto případech „NOK“.

Tato problematika je řešena v rámci třídy *Product*. Při vkládání nového výsledku dochází ke kontrole, zda je již možné stanovit celkový výsledek. Pokud ne, je vrácena hodnota *None* a algoritmus pokračuje dále. V případě, který byl zvolen pro zobrazení sekvenčním diagramem, je však navrácen celkový výsledek „NOK“. Je tedy nezbytné zařadit produkt s celkovým výsledkem do fronty *finished_products* a rovněž odebrat tento prvek ze slovníku *products*, který obecně slouží pro evidenci aktuálně zpracovávaných produktů, u kterých dosud není možné stanovit celkový výsledek.

Příklad, který je vyobrazen v diagramu, popisuje situaci, kdy se jedná o první z dvojice snímků, a jak můžeme vidět, byl tento snímek ohodnocen stavem „NOK“. Dochází zde tedy k uplatnění zamezení zbytečného vyhodnocování a k zaevidování identifikátoru produktu do příslušné datové struktury *PrematurelyTerminated*. Na základě tohoto záznamu pak lze zamítnout vyhodnocení druhého snímku, a tak provést úsporu výpočetního času.

5.6.4 Zamezení zbytečného vyhodnocování

Jelikož se vyskytla varianta s více snímky na jeden produkt, jak je tomu například v případě silnostěnu, tak lze v případě negativního výsledku po vyhodnocení prvního snímku ten druhý snímek již nevyhodnocovat. Díky tomuto návrhu může dojít k úspoře výpočetního času.

Zpravidla se počet výrobků s vadou pohybuje v rámci desítek procent, a to především na začátku výroby, kdy teprve dochází k postupnému ladění formy. Právě kvalita formy je do značné míry ukazatelem počtu deformací. Při takto vysoké míře negativních výsledků může být tento princip velice efektivní. Pro představu při 30 % výlisků, které nesplňují dekorativní kontrolu není nutné provádět zkoušku u 15 % ze všech výlisků.

V rámci aplikace byl tento problém realizován za pomoci třídy *PrematurelyTerminated*. Tato třída slouží pro zaznamenávání snímků, které skončily se záporným výsledkem. Třída se skládá z dvojice datových struktur, které díky vhodné implementaci poskytují ideální nástroj pro řešení tohoto problému. Bližší komentář k volbě datových struktur pro řešení tohoto problému byl popsán v kapitole 4.3 *Datové struktury*.

Jak zobrazuje *Ukázka kódu 2: ThreadVidi*, vždy před započítím vyhodnocení dochází k volání metody *load_item*. Ta poskytne požadavek na vyhodnocení ze vstupní fronty pro další zpracování. Interně však realizuje, jak je vidět na ukázce níže, kontrolu přítomnosti identifikátoru produktu ve struktuře *PrematurelyTerminated*, a v případě nalezení je tento záznam přeskočen a načten následující. V případě nenalezení však dochází k vrácení požadavku na výstup.

```
def load_item(self) -> EvaluationItem:
    while True:
        item = self.input.get()
        if item == None:
            break
        if item.product in self.prematurely_terminated:
            continue
        else:
            break
    return item
```

Ukázka kódu 3: Načtení prvku

5.6.5 Emulace ViDi

Jak již bylo uvedeno, pro další vývoj bylo nezbytné vybudovat emulátor knihovny ViDi. Konkrétně se pro realizaci v kódu využilo rozhraní s alternativní implementací. Jazyk Python sice neposkytuje rozhraní jako samostatnou entitu, tak jak je tomu je v jazycích Java či C#, nicméně lze využít abstraktní třídu, která obsahuje výhradně abstraktní metody. Pak již stačí poskytnout tomuto rozhraní implementaci.

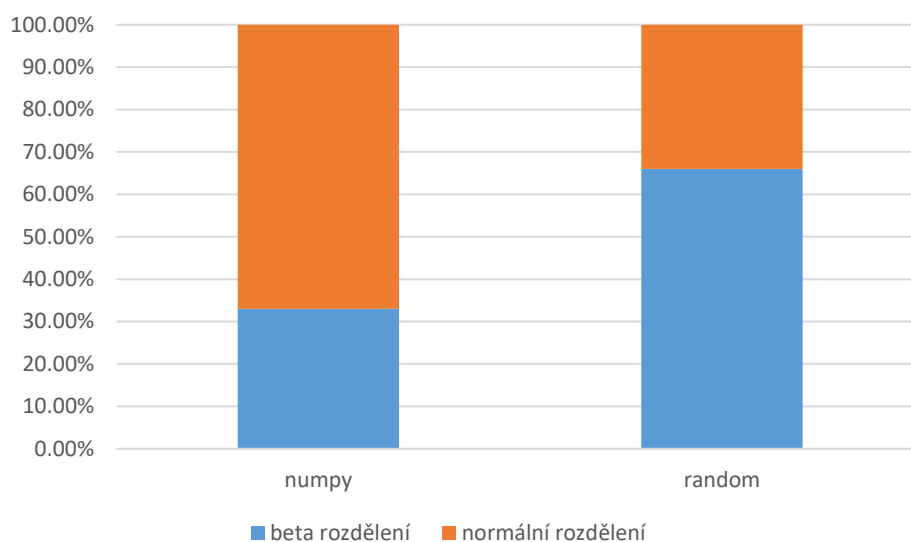
Při tvorbě emulátoru bylo nezbytné využít generátor pseudonáhodných čísel, který poskytne časový údaj, na jehož základě bude zablokováno jedno GPU, a tím dojde k emulování výpočetního času, po který by byl snímek při normálním použití vyhodnocován. V rámci jazyka Python lze pro generování beta rozdělení využít dva nejpoužívanější balíčky generátorů pseudonáhodných čísel.

Jedná se o

- ❖ random,
- ❖ numpy.

Oba poskytují výhradně pseudonáhodná čísla a využívají generátor Mersenne twister. Nicméně při ověřování obou byly odhaleny rozdíly, které lze vidět na grafu níže.

Graf 5: Porovnání generátorů pseudonáhodných čísel



V rámci měření bylo vygenerováno vždy 10 000 čísel dle beta rozdělení a následně pomocí nástroje Input Analyzer od Rockwell Automation bylo zpětně ověřeno, o jaké rozdělení se jedná. I na takto výrazném vzorku je patrné, že výsledky nedopadly příliš dobře. I přes to že byla generována data výhradně beta rozdělením, mnohdy nástroj Input Analyzer detekoval spíše normální rozdělení zastoupené v grafu oranžovou barvou. Významnou část u obou generátorů zastupuje právě normální rozdělení, které je chybně generováno. I přesto balíček *random* v testu dopadl výrazně lépe. Rovněž při dalším ověřování při 100 000 záznamech byly výsledné hodnoty výrazně blíže parametrům generátoru než u generátoru z balíčku *numpy*. Na základě těchto zjištění byla použita pro implementaci metoda *betavariate* z balíčku *random*.

6 SIMULACE VÝPOČETNÍHO UZLU

Na základě provedení testů a po konzultacích se zaměstnanci společnosti Hella byl vybudován model, který slouží pro zjištění kapacity zpracování plánovaného výpočetního uzlu. Bohužel v rámci výroby nejsou ještě všechny otázky plně zodpovězeny, a tak v některých případech procesů je čas stanoven na základě zkušeností odborníků.

6.1 Sběr a analýza dat

Zařízení, na kterém byly provedeny výkonostní testy, disponovalo dvěma grafickými kartami NVIDIA Quadro P2200. Test byl proveden na obou GPU nezávisle. Data byla získávána tak, aby výsledný čas zpracování odpovídal době zpracování výhradně výpočtům na GPU, a nedošlo například ke zkreslení zaviněnému výkoností CPU.

6.1.1 Stanovení rozdělení náhodných hodnot

Získaná data byla následně předložena před statistické testy pro odhalení náhodného rozdělení. Pro odhalení, o jaké rozdělení se jedná, byl využit nástroj *Input Analyzer*. Jedná se o aplikaci, která je součástí simulačního programu Arena od společnosti Rockwell Automation. Tabulka níže zobrazuje výslednou p -hodnotu použitých testů při porovnání s rozdělením beta.

test	p-value
Chí-kvadrát	< 0.005
Kolmogorovův–Smirnovův	< 0.01

Tabulka 5: Výsledky testů pro stanovení náhodného rozdělení

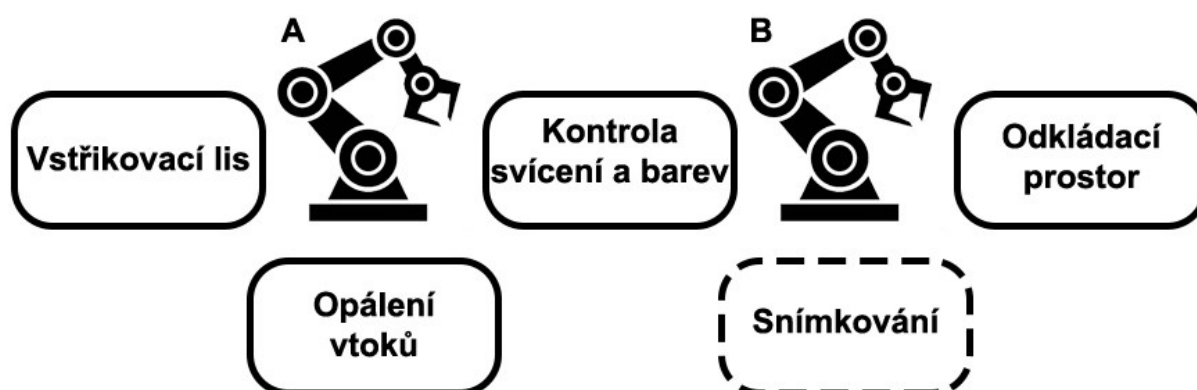
Hodnota p vyšla v případě Chí-kvadrát testu velmi pozitivně, a tak lze zamítnout hypotézu H_0 : *jedná se o rozdílné rozdělení dat*, ve prospěch H_A : *jedná se o shodné rozdělení dat*. Program *Input Analyzer* současně poskytne konkrétní parametrizaci zvoleného rozdělení, tedy jednoduchým způsobem lze nahradit naměřená data a získat vyšší míru variability než při použití výhradně naměřených dat, tedy za použití deterministického přístupu.

6.2 Model

Cílem bylo vytvořit zjednodušený simulační model pracoviště, kde probíhá dekorativní kontrola kvality. Na základě naměřených hodnot a získaných podkladů byl vybudován model výpočetního uzlu. Klíčovým prvkem modelu je realizace jednotlivých GPU, aby došlo k paralelnímu zpracování. Délka procesu vyhodnocení bude stanovena dle odhaleného beta rozdělení.

6.2.1 Obecný popis pracoviště

Prvotní nezbytnou částí pro tvorbu modelu je stanovení jeho hranic. V rámci abstrakce byly stanoveny hranice modelu tak, že za vstupní bod je považován vstříkovací lis a výstupním bodem je odkládací prostor. Parametry vstupu byly konzultovány s odborníky ve společnosti Hella. Obecně platí, že výchozím časovým údajem je doba cyklu vstříkovacího lisu, od něj se striktně odvíjí veškeré další úkony v rámci výrobní linky a je nezbytné na každém pracovišti tento kritický interval dodržet. Na obrázku níže je zobrazen zjednodušený náhled modelovaného pracoviště.



Obrázek 15: Náhled pracoviště dekorativní kontroly kvality

Součástí pracoviště jsou dva roboty v obrázku označeny písmeny *A* a *B*. Poté co vstříkovací lis vyprodukuje výlisky, robot *A* je odebere a přenáší je na pracoviště Opálení vtoků. Důležité je zmínit, že vstříkovací lis vyprodukuje v každém cyklu 8 výlisků, ale po odebrání z lisu dojde k jejich rozdělení na dvě čtveřice výlisků. Tyto čtveřice následně pokračují jednotlivě, tedy na pracoviště opálení vtoků pokračují již pouze první 4 výlisky. Druhá čtveřice prozatím čeká, dokud první neuvolní obsazené pracoviště.

Takto postupují výrobky až ke kontrole svícení. Tam končí pole působnosti průmyslového robota *A* a začíná pracovní prostor průmyslového robota *B*. Po dokončení kontroly svícení a barev je na řadě proces snímkování. Aktuálně dochází ke snímkování pouze jednoho ze čtveřice výrobků.

Jedná se tak především z důvodu nedořešené problematiky získávání snímků, tak jak bylo naznačeno v kapitole 5.2 *Problematika snímkování*.

Pro sestavení modelu bylo nezbytné stanovit výchozí časové hodnoty. Tyto hodnoty byly odvozeny ze známé časové náročnosti snímkování jednoho výlisku a převedeny pro celou čtveřici. Rovněž byla započítána rezerva, kdyby byl proces snímkování časově náročnější. Tyto a další časové údaje byly konzultovány s odborníky v rámci společnosti Hella.

Snímky po svém pořízení putují na vyhodnocení, kde modul obstará nezbytné výpočty a výsledek odesílá zpět robotu *B*. Ten následně umístí výlisky podle toho, jak dopadly v obou testech, do příslušných boxů.

6.2.2 Bližší nastavení modelu

Linka, která aktuálně disponuje automatickou kontrolou kvality na základě modulu ViDi, má čas cyklu 160 sekund. Při jednom výrobním cyklu dojde k vyprodukování 8 kusů výlisků. Ty následně podstoupí proces opálení vtoků a kontrolu svícení a barev. Protože výlisky postupují v dávce po čtveřicích, je nezbytné, aby obě dávky dokončily cyklus dříve, než započne další. Nesmí tedy nastat situace, kdy budou nové výlisky čekat na libovolném pracovišti na obsluhu robotem.

V jednom případě to však není komplikací. Jedná se o situaci, kdy čeká druhá z dvojice dávek na tu první, než uvolní pracoviště, neboť tyto čtveřice, které byly vylisovány v rámci jednoho cyklu, postupují v menším časovém rozpětí, než jaký je mezi druhou dávkou aktuálního cyklu a první dávkou z následujícího cyklu. Toto čekání není komplikací, neboť je nezbytné zaručit délku celého cyklu, a ne jednotlivých etap.

Většina procesů je v rámci modelu nastavena na konstantní hodnoty, neboť díky plné automatizaci nedohází mimo ojedinělých závad k porušení stanovených intervalů. Současné jsou závady díky aplikování principů prediktivní údržby skutečně ojedinělým jevem.

Po dokončení testu barvy a svícení robot upne čtveřici výlisků a umístí je před kamery. Robot *B* má po celou dobu až do jejich odložení do boxů výlisky v držení, tedy během procesu snímkování nedochází k jejich odkládání. Výlisek je snímán dvěma kamerami, to vede k požadavku vyhodnocení celkem 16 snímků během jednoho cyklu. Navíc je nezbytné, aby výsledky byly předávány robotu průběžně, aby bylo možné výlisky umístit do boxů v odkládacím prostoru.

Jedná se o příklad konkrétní výrobní linky. Ostatní linky se mohou lišit časem cyklu i počtem snímků. V rámci společnosti dochází k častým změnám a bohužel nebylo možné získat data pro

realizaci simulace celé výroby, a tedy všech vstřikovacích lisů. Z tohoto důvodu bylo stanoveno vytvořit model jedné výrobní linky a následně na základě duplikování této linky stanovit základní specifikace výpočetního uzlu.

6.2.3 Kritéria hodnocení

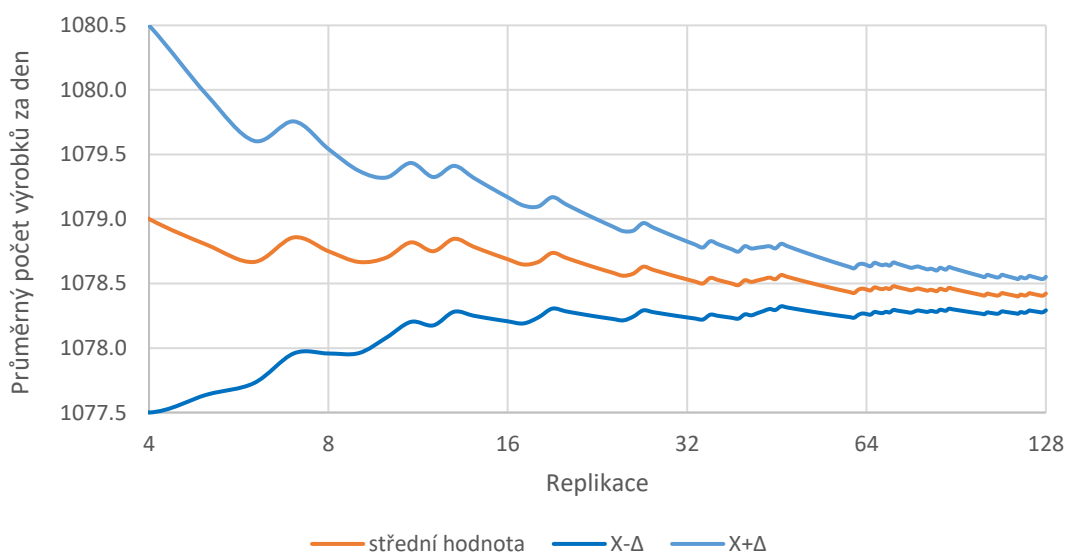
Pro stanovení, zda je výpočetní kapacita uzlu dostatečná, budou monitorovány oba roboty. Pokud dojde ke vzniku požadavku obslužení před dokončením úkonu, bude aktuální konfigurace považována za nestabilní, neboť i malé časové pozdržení by mohlo narušit celý proces výroby.

Z důvodu nutnosti dodržet čas cyklu, budou dalšími pozorovanými hodnotami časy výlisků počínaje od opuštění vstřikovacího lisu po uložení do boxů. Tyto ukazatele by měly být dostatečným důkazem pro výsledné vyjádření stability systému.

6.2.4 Stanovení počtu replikací

Pro specifikování počtu replikací bylo využito směrodatné odchylky společně s intervalem spolehlivosti. Díky velice malé variabilitě počtu výrobků postačuje pro získání dostatečné míry přesnosti nízký počet replikací. Na základě níže uvedeného grafu bylo stanoveno 50 replikací jako dostatečných pro získání potřebné přesnosti a všechny další simulace budou vždy v tomto specifikovaném počtu replikací.

Graf 6: Směrodatná odchylka s intervalem spolehlivosti



6.3 Výsledky

Na základě vybudovaného modelu bylo sestaveno několik scénářů, které si kladou různé cíle uvedené níže. Všechny scénáře vychází z popsaného modelu, pouze některé modely byly rozšířeny o další výrobní linky, vždy se však jedná o kopii linky původní.

6.3.1 Scénář A

Součástí prvního scénáře byl cíl vytvořit model s jednou výrobní linkou dle popisu v předešlé kapitole. Na tomto výchozím modelu bude ověřena schopnost obslužení vzniklých požadavků a dále dojde ke stanovení kapacity GPU pro jednu výrobní linku.

V rámci tohoto scénáře s jednou výrobní linkou postačuje výpočetní kapacita jednoho GPU. Jeho využití je na pouhých 24,48 %. Dále zde nedochází k jevu zahlcení výpočetního uzlu požadavky v takové míře, kdy už by je nestačil odbavovat. Rovněž časy výlisků, které stráví obě po sobě jdoucí čtveřice výlisků v druhé fázi obsazením robota *B*, jsou s výraznou časovou rezervou. Jedná se o rezervu více než 30 s na čas cyklu.

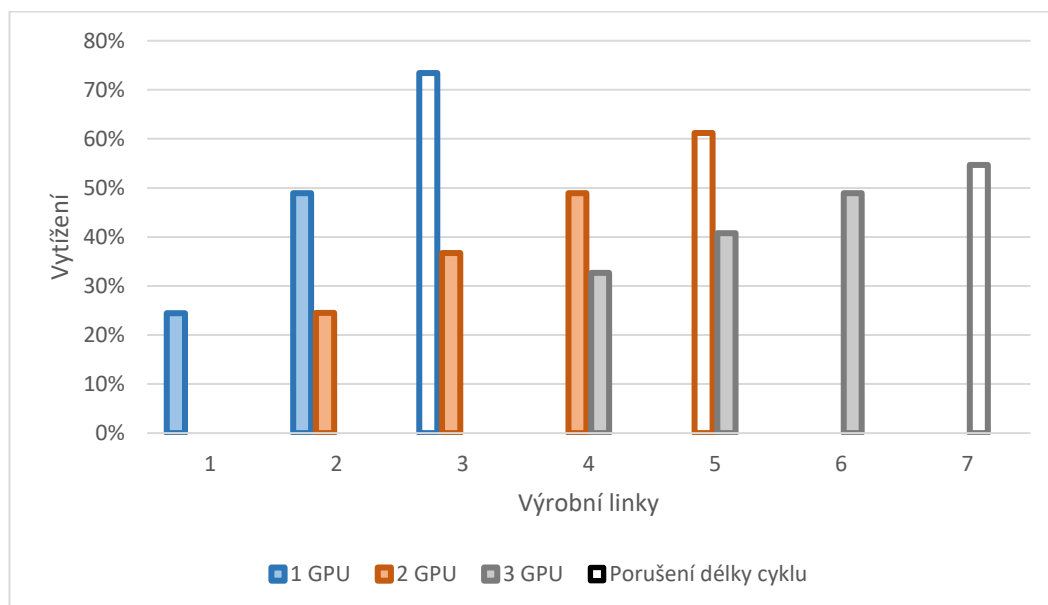
6.3.2 Scénář B

Druhý scénář obsahuje již několik výrobních linek. Rovněž si klade za cíl stanovit nezbytnou kapacitu pro výpočetní uzel vždy pro zvolený počet výrobních linek. Zjištěné informace budou následně porovnány s předchozím scénářem a na základě nich budou vyvozeny obecnější závěry pro stanovení kapacity výpočetního uzlu.

Klíčovým bodem tohoto scénáře je vždy odhalit, zda nedošlo k jevu zahlcení výpočetního uzlu, a kvůli tomu i k porušení doby cyklu. V rámci budování modelu bylo s těmito variantami počítáno a součástí výstupních souborů je i informace, zda nedošlo ke klíčovému porušení časového okna. Díky tomu lze odhalit, jaká je maximální kapacita linek pro daný počet GPU ve výpočetním uzlu.

Graf níže zobrazuje stěžejní výsledky. Jedná se celkem o tři varianty s 1, 2 a 3 GPU. Dále byly tyto varianty výpočetního uzlu kombinovány s adekvátním počtem výrobních linek. Poslední informací, která je v grafu zobrazena je informace o tom, zda došlo k porušení časového okna cyklu. V případě vyplněného sloupce se jedná o měření, při kterém nedošlo k porušení stability systému, oproti sloupci bez výplně, ve kterém byla porušena délka cyklu a systém je nestabilní.

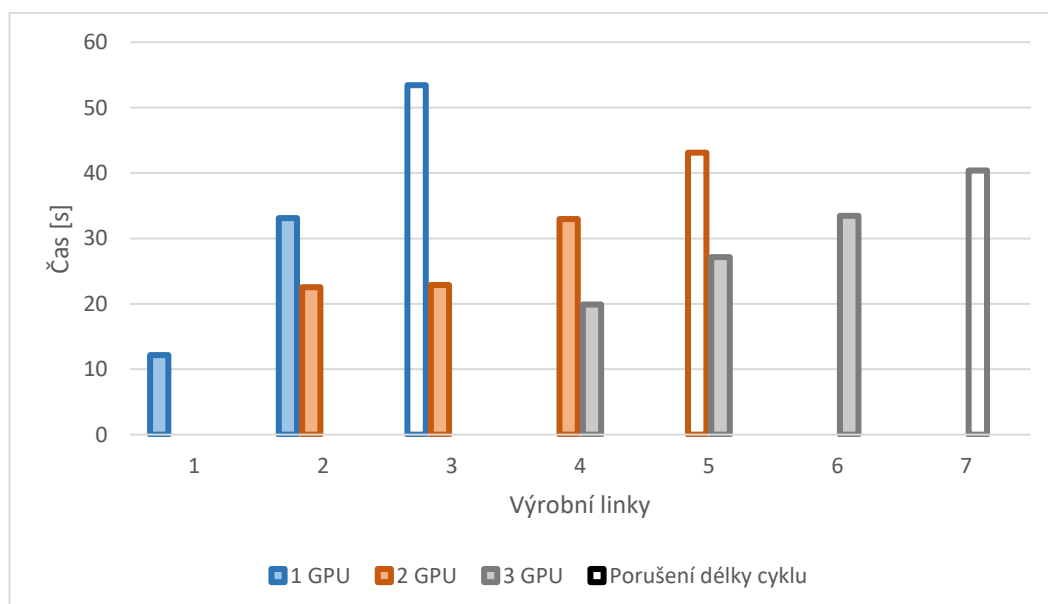
Graf 7: Vytíženost výpočetního uzlu dle počtu GPU a výrobních linek



Z grafu lze vypočítat, že v případě vytížení do 50 %, je systém vždy stabilní. Po opakovaném překročení této hranice ve všech variantách dochází k porušení stability systému. V rámci tohoto scénáře se potvrzuje pravidlo jednoho GPU na dvě výrobní linky.

Následující graf zobrazuje maximální dobu čekání ve frontě na vyhodnocení. Jedná se o klíčový údaj, který naznačuje jev zahlcení právě ve zmíněných případech porušení stability. Na základě tohoto grafu lze stanovit kritickou hodnotu 35 sekund jako maximální možnou pro dodržení délky cyklu.

Graf 8: Délka čekání ve frontě na výpočetním uzlu

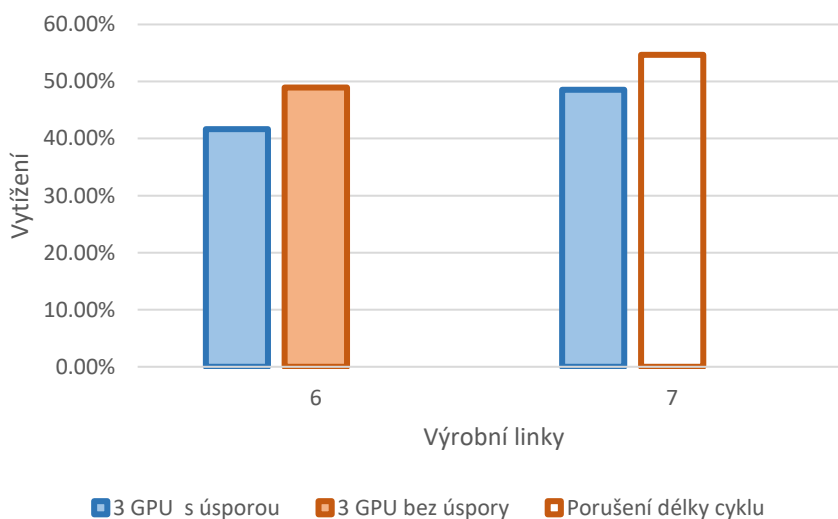


6.3.3 Scénář C

Třetí scénář bude vycházet z posledního použitého modelu ze druhého scénáře. Jedná se o model obsahující 3 GPU v kombinaci se 6 a 7 výrobními linkami. Navíc však bude aplikováno rozšíření o úsporu výpočetního času, tak jak bylo popsáno v kapitole 5.6.4 *Zamezení zbytečného vyhodnocování*. Tento scénář si klade za cíl ověřit teoretický předpoklad úspory výpočetního času. Pro tento scénář byl použit 30% podíl defektů.

Graf níže zobrazuje rozdíly vytížení bez úspory výpočetního času a s úsporou, tedy s použitým rozšířením. Jak je vidět, rovněž jako v předešlém scénáři, 3 GPU nedostačují na stabilní obsluhu 7 výrobních linek, i přesto po aplikování rozšíření je systém stále stabilní. Také se potvrzuje hypotéza o 50% kritické hranici vytížení, při jejímž překročení se systém stává nestabilní a nelze zaručit jeho funkčnost.

Graf 9: Změny vytížení po aplikování zamezení zbytečného vyhodnocování



Tento scénář taktéž potvrdil teoretický předpoklad o úměrné úspoře závislé na podílu defektů. Jak bylo predikováno, skutečně dochází při 30 % vadných výlisků k úspoře 15 % z celkové vytíženosti. Díky této úspoře může navíc dojít k docílení stability systému.

7 VYVOZENÉ ZÁVĚRY

Kapitola si klade za cíl seskupit získané poznatky a přeformulovat je ve hmatatelné požadavky na cílový systém. Tyto předpoklady by měly odpovědět na základní otázky při sestavování výpočetního uzlu.

7.1 Požadavky na cílový systém

Na základě simulační studie byly vyvozeny základní rysy výpočetního uzlu. Jelikož hlavní výpočetní náročnost je směřována na GPU, není nutné pořizovat extrémně výkonný CPU. V případě operační paměti je však klást důraz na to, že je zacházeno se snímky o velikostech od 300 do 800 kB a během zpracování nedochází k ukládání snímků na disk z důvodu časového omezení. Je tedy nezbytné přizpůsobit kapacitu operační paměti rozsahu výpočetního uzlu.

Dále byl stanoven předpoklad, že jeden GPU dokáže obsloužit dva vstřikovací lisy. Tento předpoklad je však závislý na počtu snímků pro vyhodnocení a na délce cyklu. V rámci simulace bylo také v některých případech použito predikcí jako například pro stanovení délky snímkování. I když tyto hodnoty byly konzultovány s odborníky, může po reálném sestavení výrobní linky dojít k odchylkám, které by mohly mít vliv na výsledky. U všech hodnot, které byly stanoveny na základě odhadu, byla nicméně započítána dostatečná časová rezerva. Výsledky tedy lze označit obecně za pesimistické a v realitě by mělo docházet spíše k získání časové rezervy.

Rovněž je nezbytné zmínit, že i když se průměrné výsledné vytížení pohybuje do 50 % a může se zdát nízké, je nezbytné pokrýt případy zahlcení, kdy se výrobní linky synchronizují a zašlou své snímky v identický okamžik. V těchto případech pak dochází k nejdelšímu čekání na vyhodnocení, které zapříčiní porušení délky cyklu. Z tohoto důvodu je nezbytné dodržet doporučenou kapacitu výpočetního uzlu.

Samozřejmostí je započítat rezervní výpočetní kapacitu, která bude použita v případě poruchy na některé z komponent. Pro tyto účely je doporučeno pořídit jeden či další dva GPU.

Bohužel z důvodů licenčního omezení a omezení spojených s onemocněním covid-19 nebylo možné realizovat testování v laboratorním prostředí pro bližší specifikování síťové infrastruktury. Aplikace i přesto obsahuje veškeré potřebné nástroje pro realizaci a vyvození síťových požadavků.

7.2 Rizika projektu

V průběhu práce byla odhalena řada významných rizik projektu, které je nezbytné zmínit, neboť je kriticky důležité nalézt odpovědi na tyto palčivé otázky. Obecnější rizika I4 byla uvedena v teoretické části práce v kapitole *1.2 Přínosy a rizika konceptu Průmysl 4.0*. Tato kapitola se již zaměřuje výhradně na rizika tohoto projektu.

První významnou komplikací je častá změna výroby, tedy změna výlisků. Každá změna výroby vede k vytvoření nové neuronové sítě. Rovněž problematika snímkování může být u specifických výlisků výrazně odlišná a je nutné docílit vždy kvalitního snímkování, tedy aby pořízené snímky byly dostatečně vypovídající a bylo na jejich základě možno odhalit všechny defekty. Otázkou tedy je, jak bude možné aplikovat tento proces automatické dekorativní kontroly při častých změnách výroby.

Jak naznačila první modelovaná výrobní linka může dojít k nutnosti snímkovat jeden výlisek více kamerami současně nebo dle doporučení od odborníků ze společnosti Cognex vybudovat pro detekci vad dvě neuronové sítě, kdy jedna se bude zaměřovat na drobné vady a druhá na větší deformace. Tyto důvody však vedou k nutnosti vyhodnocovat dvakrát nebo v kombinaci obou až čtyřikrát více snímků a rovněž je nezbytné nacvičit odpovídající množství neuronových sítí. To samozřejmě klade vyšší požadavky na výpočetní uzel. Je nezbytné specifikovat, jaký koncept snímkování bude zvolen.

Při zahájení výroby nových výlisků je nezbytné realizovat proces učení. Během doby tvorby nástrojů pro detekci však nebude možné provádět vyhodnocování. Po tuto dobu bude nezbytné realizovat dekorativní kontrolu standardními postupy.

V dlouhodobějším průběhu výroby se mohou vyskytnout nové vady, ke kterým se vyjadřují odborníci dozorující kvalitu a ti rozhodují, zda nový druh vady bude, či nebude přijat jako defekt. Pokud rozhodnutí o deformaci bude v rozporu s výstupem z nástroje, bude bohužel nezbytné provést jejich přeučení.

Případným dalším rizikem může být stanovená kapacita výpočetního uzlu, a to především z důvodů uvedených v rámci výsledků simulace. V případě plánování konkrétních kapacit výpočetního uzlu je nezbytné provést simulační studii, která zahrne všechny zamýšlené výrobní linky, aby došlo k faktickému zamezení nestability systému. Je naprostou nutností odhalit kritické úseky zahlcení a dimenzovat výpočetní uzel odpovídající výpočetní kapacitou pro jejich zvládnutí.

ZÁVĚR

V teoretické části práce po prvotním seznámení se základním konceptem Průmysl 4.0 byly předloženy průzkumy monitorující jeho aktuální stav ve světě. Na základě těchto průzkumů došlo k popisu hlavních výhod, ale i rizik této revoluce.

Dále došlo k analyzování procesu dekorativní kontroly kvality výrobků. Při monitorování byl kladen důraz na popis využívaného softwaru s bližším pohledem na jeho fungování. Rovněž došlo k popsání celé škály programů od společnosti Cognex. Blíže pak byla specifikována využívaná knihovna ViDi, zejména její nástroje.

V rámci přípravy praktické části byly stanoveny dvě klíčové etapy projektu. První etapa byla úspěšně završena implementací modulu a jeho nasazením ve výrobním procesu v rámci dekorativní kontroly kvality výrobků.

Druhá etapa pak poskytla na svém výstupu aplikaci, která umožňuje serverové zpracování dekorativní kontroly. Mimo toho je tato aplikace schopná emulovat jak proces vyhodnocování, tak v podobě virtuálních klientů připojené kamery.

Pro stanovení základních výpočetních kapacit cílového uzlu byla použita simulační studie. Aplikace zde posloužila pro získání dat při tvorbě simulačního modelu. Stejnou měrou pro tvorbu modelu však bylo čerpáno z konzultací s odborníky ze společnosti Hella. Získané výstupy následně umožnily specifikovat výpočetní kapacitu cílového uzlu. V samotném závěru kromě těchto technických poznatků došlo k sumarizaci rizik projektu a k jejich konkrétnímu pojmenování.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] BANAFI, Ahmed. The Internet of Everything (IoE). *BBAV: Open mind* [online]. 2016, 29. 8. 2016 [cit. 2021-3-21]. Dostupné z: <https://www.bbvaopenmind.com/en/technology/digital-world/the-internet-of-everything-ioe/>
- [2] CARBONNELLE, Pierre. PYPL PopularitY of Programming Language. *PYPL* [online]. ©2020, 5. 2021 [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: <https://pypl.github.io/PYPL.html>
- [3] *Cognex* [online]. Boston: Cognex Corporation, ©2021 [cit. 2021-4-12]. Dostupné z: <https://www.cognex.com/>
- [4] Co je umělá inteligence – AI? *Oracle* [online]. ©2021 [cit. 2021-3-27]. Dostupné z: <https://www.oracle.com/cz/artificial-intelligence/what-is-ai/#what-is-ai>
- [5] Digitization vs. digitalization: Differences, definitions and examples. *TruQC* [online]. Kirkwood: TruQC, ©2021 [cit. 2021-3-3]. Dostupné z: <https://www.truqcapp.com/digitization-vs-digitalization-differences-definitions-and-examples/>
- [6] DOGARU, Lucreția. The Main Goals of the Fourth Industrial Revolution. Renewable Energy Perspectives. In: *Procedia Manufacturing* [online]. 2020, s. 397-401 [cit. 2021-3-26]. ISSN 23519789. Dostupné z: doi:10.1016/j.promfg.2020.03.058
- [7] Fourth Industrial Revolution. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2021, 10. 6. 2021 [cit. 2021-3-27]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Fourth_Industrial_Revolution
- [8] GILL, Helen a Kishan BAHETI. Cyber-Physical Systems: 11. 3. 2010. *National Science Foundation* [online]. Arlington, 2010 [cit. 2021-3-23]. Dostupné z: <https://www.nsf.gov/pubs/2010/nsf10515/nsf10515.htm>
- [9] HALVA, Tomáš. Řídicí systém vhodný pro Industry 4.0: Industry 4.0 v kostce. *Automatizace: rady a poslední novinky z oboru* [online]. 2015, 29. 9. 2015 [cit. 2021-3-18]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz//prumyslove-sbornice-a-komunikace/ridici-system-vhodny-pro-industry-40.html>
- [10] HEDVIČÁKOVÁ, Martina. *Mezinárodní kolokvium o regionálních vědách: sborník referátů z kolokvia* [online]. Brno: Masarykova univerzita, 2018 [cit. 2021-3-20]. ISBN 978-80-210-

8969-3. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/325848709_Dopady_inicativy_Prumyslu_40_na_nezamestnanost_a_vyvoj_mezd

- [11] *Hella: Technology with Vision* [online]. [2021] [cit. 2021-5-19]. Dostupné z: <https://www.hella.com/hella-cz/index.html>
- [12] KRČMÁŘ, Michal. Co jsou big data a k čemu jsou dobrá? *Objevit* [online]. Praha: Objevit, 2016, 5. 2. 2016 [cit. 2021-3-18]. Dostupné z: <https://www.objevit.cz/co-jsou-big-data-a-k-cemu-jsou-dobra-t157688>
- [13] KÜPPER, Daniel, Claudio KNIZEK, David RYESON a Jan NOECKER. *Quality 4.0 Takes More Than Technology* [online]. Milwaukee: American Society for Quality, 2019 [cit. 2021-3-5]. Dostupné z: <https://asq.realmagnet.land/quality-4pt0-research>
- [14] MINISTERSTVO PRŮMYSLU, odbor 31300. Průmysl 4.0 má v Česku své místo. *Ministerstvo průmyslu a obchodu* [online]. 2016, 2. 9. 2016 [cit. 2021-3-27]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/prumysl/zpracovatelsky-prumysl/prumysl-4-0-ma-v-cesku-sve-misto--176055/>
- [15] MOORE, Mike. What is Industry 4.0? Everything you need to know. *Techradar.pro: it insights for business* [online]. New York: Future US, 2020 [cit. 2021-3-5]. Dostupné z: <https://www.techradar.com/news/what-is-industry-40-everything-you-need-to-know>
- [16] TABERNER, Tim. Rozdíl mezi M2M a IoT. *CAD* [online]. Brno: CCB, ©2021 [cit. 2021-3-10]. Dostupné z: <https://www.cad.cz/strojirenstvi/38-strojirenstvi/6972-rozdil-mezi-m2m-a-iot.html>
- [17] ÜSTÜNDAĞ, Alp a Emre ÇEVIKCAN. Industry 4.0: managing the digital transformation [online]. Cham, Switzerland: Springer, [2018] [cit. 2021-4-1]. Springer series in advanced manufacturing. ISBN 978-3-319-57869-9. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/322172971_Industry_40_Managing_The_Digital_Transformation
- [18] *Vše o průmyslu: portál pro moderní výrobu* [online]. Český Těšín: Trade Media International, ©2016 [cit. 2021-4-18]. Dostupné z: <https://www.vseoprumsly.cz/>

PŘÍLOHY

Příloha A – CD	81
----------------------	----

PŘÍLOHA A – CD

Na disku je umístěna práce ve formátu PDF, zdrojový kód modulu a aplikace DecoSystem. Rovněž je zde umístěn simulační model vytvořený v programu Arena.