

# **Využití termodynamických senzorů a elektronického nosu v oblasti monitorování a řízení procesů v potravinářství**

Ing. Milan Navrátil, Ph.D.

Teze habilitační práce

Teze habilitační práce

**Aplikace číslicového zpracování signálů v  
průmyslové výrobě a vývoji**

**Applications of digital signal processing  
in industrial production and development**

Autor: **Ing. Milan Navrátil, Ph.D.**

Studijní obor: **Řízení strojů a procesů**

Zlín, prosinec 2024

Vydala **Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně** v edici **Habilitační práce**.

Publikace byla vydána v roce 2024.

*Klíčová slova: aplikace, číslicové zpracování signálů, průmyslová výroba, průmyslový vývoj, smluvní výzkum, projekt*

*Key words: applications, digital signal processing, industrial production, industrial development, contract research, project*

Práce je dostupná v Knihovně UTB ve Zlíně.

© Milan Navrátil

ISBN 978-80-7678-299-0

## ABSTRAKT

Tato práce je zaměřena na aplikace zpravidla programovacích postupů při řešení výzkumu EMC a při realizaci tří konkrétních, pro průmysl řešených, projektů.

V první kapitole je popsán nezbytný teoretický rámec související se stanovením dielektrických vlastností tenkých vrstev v mikrovlnné oblasti elektromagnetického spektra, využívající evoluční algoritmus SOMA pro odhad dielektrických parametrů vrstevnatých systémů ze závislosti transmitance a reflektance na frekvenci, které byly získány měřením ve volném prostoru.

Další kapitola se zabývá využitím metod zpracování signálů při diagnostice výroby palivových nádrží. Zde je popsán vlastní návrh a způsob implementace vyhodnocovacího softwaru do existujících výrobních linek.

Ve třetí kapitole je představen návrh softwarového řešení, umožňující sběr, zpracování a vyhodnocení dat z robotické linky. Jedná o automatickou emulgační linku pro surové pláště různých typů.

Poslední kapitola popisuje paletizační linku určenou pro robotické skládání automobilových plášťů. Jsou zde popsány návrh a implementace softwarového nástroje, umožňujícího tvorbu nových receptur, jejich správu a 3D vizualizaci paletizačního procesu včetně průběžné kontroly možných střetů manipulovaných plášťů či částí robota v pracovním prostoru.

# SUMMARY

This thesis focuses on the application of programming techniques to EMC research and the implementation of three industry-specific projects.

The first chapter describes the necessary theoretical framework related to the determination of the dielectric properties of thin films in the microwave region of the electromagnetic spectrum, using the SOMA evolutionary algorithm to estimate the dielectric parameters of layered systems from the frequency dependence of transmittance and reflectance obtained from free-space measurements.

The next chapter deals with the use of signal processing methods in the diagnosis of fuel tank fabrication. Here, the actual design and implementation of the evaluation software into existing production lines is described.

The third chapter presents the design of a software solution to enable the collection, processing, and evaluation of data from a robotic line. This is an automatic emulsification line for raw shells of different types.

The last chapter describes a palletizing line designed for robotic folding of automotive casings. It describes the design and implementation of a software tool that allows the creation of new recipes, their management and 3D visualization of the palletizing process, including continuous control of possible collisions of the manipulated casings or parts of the robot in the workspace.

# OBSAH

<b>ABSTRAKT .....</b>	<b>3</b>
<b>SUMMARY.....</b>	<b>4</b>
<b>OBSAH .....</b>	<b>5</b>
<b>ÚVOD .....</b>	<b>6</b>
<b>1. OPTIMALIZACE NÁVRHU VRSTEVNATÝCH SYSTÉMŮ PRO APLIKACE V OBLASTI EMC.....</b>	<b>9</b>
<b>2. DIAGNOSTIKA VÝROBY PALIVOVÝCH NÁDRŽÍ V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU .....</b>	<b>15</b>
<b>3. ZPRACOVÁNÍ DAT Z ROBOTICKÉ POSTŘIKOVACÍ LINKY .....</b>	<b>20</b>
<b>4. VIZUALIZACE A ZPRACOVÁNÍ DAT Z ROBOTICKÉ PALETIZAČNÍ LINKY .....</b>	<b>24</b>
<b>PŘÍNOS PRÁCE PRO VĚDU A PRAXI.....</b>	<b>28</b>
<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>31</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>34</b>
<b>VYBRANÉ PUBLIKAČNÍ AKTIVITY AUTORA.....</b>	<b>39</b>
<b>PŘÍLOHA I.....</b>	<b>48</b>
<b>PŘÍLOHA II .....</b>	<b>51</b>
<b>PŘÍLOHA III.....</b>	<b>54</b>
<b>PŘÍLOHA IV .....</b>	<b>57</b>
<b>ODBORNÝ ŽIVOTOPIS AUTORA.....</b>	<b>61</b>

# ÚVOD

Číslicové zpracování signálů je velmi používaným prostředkem pro řešení různých úloh z oblasti informačních technologií, měřicí techniky, komunikací, přírodních věd, biomedicínského inženýrství, průmyslové výroby a mnoha dalších. Jedná se o obor zabývající se manipulací, analýzou a transformací analogových signálů pomocí digitálních metod. Hlavním cílem číslicového zpracování je převod analogových signálů do digitální formy za účelem analýzy, filtrace, komprese, archivace či dalšího zpracování. Tento způsob zpracování nám také poskytuje mnoho výhod v porovnání s analogovým zpracováním, zejména ve smyslu přesnosti, flexibility a možnosti integrace s moderními digitálními technologiemi. K dosažení požadovaných výsledků se využívají matematické metody, algoritmy a digitální hardwarové nástroje, jako např. mikroprocesory, mikrokontrolery, digitální signálové procesory (DSP) či programovatelná hradlová pole (FPGA).

Teorie zpracování signálů představuje širokou a komplexní oblast, která zahrnuje rozmanité metody a přístupy k analýze, interpretaci a manipulaci se signály. Tato disciplína, proslulá svou matematickou náročností a teoretickou hloubkou, často zkoumá a řeší problémy na vysoké úrovni abstrakce. Přestože tyto teoretické modely a algoritmy poskytují důležitý základ pro porozumění základním principům zpracování signálů, jejich praktická aplikace může být v některých případech problematická.

Jedním z důvodů je, že mnohé z těchto teorií předpokládají ideální nebo zjednodušené podmínky, které v reálném prostředí často neplatí. Například, při modelování signálů mohou být ignorovány nebo minimalizovány faktory jako jsou šum, interference nebo nestabilita systému, které ve skutečnosti mohou významně ovlivnit dosažené výsledky. To může vést k tomu, že algoritmy nebo metody, které jsou efektivní v teorii, nemusí být stejně účinné při praktickém nasazení v rámci reálných aplikací.

Další problém spočívá v tom, že mnohé teoretické koncepty jsou vyvíjeny s důrazem na matematickou eleganci nebo konceptuální čistotu, což může

ztěžovat jejich přímé využití v praktických inženýrských problémech, kde jsou potřeba rychlejší, flexibilnější a robustnější řešení.

Přesto je důležité si uvědomit, že i přes tyto výzvy, teorie zpracování signálů poskytuje zásadní rámec a nástroje pro pochopení a řešení široké škály praktických problémů v různých oblastech lidské činnosti. Jejich pochopení a aplikace jsou klíčem k inovacím a technickému pokroku v těchto oblastech.

Metody a algoritmy jsou neustále rozvíjeny, což přináší inovace a vylepšení ve vědeckém výzkumu a průmyslové praxi. V současné době můžeme pozorovat výrazný rozvoj a nasazení umělé inteligence, která nachází uplatnění ve stále širším spektru aplikací. Pojem umělé inteligence je vlastně souhrn dosavadních pokroků v rigorózních matematických algoritmech včetně heuristických metod, které sice nejsou matematicky často korektní, ale v rámci rozpětí řešených technických problémů jsou funkční.

V jednotlivých kapitolách se autor snažil popsat a přiblížit řešený problém z prostředí průmyslové výroby, který řešil v rámci smluvního výzkumu nebo projektové činnosti. Realizace řešení a dosažené výsledky se ve všech případech ukázaly býti inženýrsky přínosné a jsou v praxi používány.

Předložená práce není monograficky zaměřená. Její struktura vychází z geneze výzkumného zaměření a zájmů autora. Po ukončení doktorského studijního programu došlo ke změně odborného zaměření, která byla způsobena tím, že při budování Vědecko-technického parku FAI UTB byla postavena semi-anechoická komora a laboratoř specializovaná na problematiku elektromagnetické kompatibility. Toto zaměření se pro Ústav elektroniky a měření, kde autor působí od roku 2005, posléze stalo nosným. Z požadavků plynoucích z průmyslové sféry vznikl zájem o konstrukci vrstevnatých systémů používaných jak pro absorbéry, tak pro návrh radomů a anténních krytů v oblasti mikrovlnných frekvencí. Při řešení této problematiky byly požadovány robustní algoritmy pro návrh a analýzu reflektance a transmitance vrstevnatých systémů, pro které byly použity evoluční algoritmy. Realizace a využití těchto algoritmů nastartovaly a rozvinuly autorův kreativní přístup spojený s programováním a informatikou v podobě zájmu o vytváření softwarových produktů

navrhovaných na míru technickým a technologickým požadavkům z průmyslu.

Z několika projektů, které autor řešil v rámci působení na Fakultě aplikované Informatiky, byly vybrány čtyři nejvýznamnější a jsou popsány v následujících kapitolách.

V kontextu habilitačního oboru "Řízení strojů a procesů" je obsah práce relevantní. Číslicové zpracování signálů a jeho aplikace představuje společný prvek všech, zde popisovaných, projektů.

# 1. OPTIMALIZACE NÁVRHU VRSTEVNATÝCH SYSTÉMŮ PRO APLIKACE V OBLASTI EMC

Jak již bylo v úvodu naznačeno, v prostředí průmyslového vývoje vznikl zájem o návrh a konstrukci vrstevnatých systémů použitelných v oblasti mikrovlnného spektra jako radioabsorbéry. Ty snižují odraz dopadajícího elektromagnetického vlnění pomocí dielektrických a/nebo magnetických ztrát. V oblasti elektromagnetické kompatibility jsou tyto systémy důležitým prvkem, který ovlivňuje účinnost a spolehlivost elektronických zařízení. Typickým provedením je vícevrstvý systém radioabsorpčního materiálu uloženého na kovové desce. Častým cílem návrhu radioabsorbérů je dosažení takové konstrukce, která má nejmenší možnou tloušťku a co nejnižší odrazivost v dostatečně širokém rozsahu frekvencí. Optimalizace návrhu vrstevnatých systémů je důležitá i z hlediska účinné eliminace rušení, minimalizace nákladů či využití materiálů šetrných k životnímu prostředí.

V době, kdy se autor zabýval problematikou EMC a začal se podílet na praxi požadovaném návrhu vrstevnatých systémů, existovaly na trhu obecné nástroje, které umožňovaly návrh, modelování a optimalizaci systémů v různých technických oblastech včetně elektrotechniky. Byly jimi např. CST Studio Suite od společnosti Computer Simulation Technology (CST) či software Ansys. V obou případech se jedná o software umožňující simulaci vysokofrekvenčních elektromagnetických polí, desek plošných spojů, elektronických obvodů a systémů. Na pracovišti tyto nástroje zakoupeny nebyly z důvodu vysoké ceny za softwarový balík a jejich pořízení se nedalo v rozumné době očekávat.

Zde vznikla motivace a zájem soustředit se na vytvoření vlastní uživatelské aplikace pro jednu konkrétní úlohu, a to zpracování naměřených dat reflektance a transmitance konkrétního vrstevnatého systému s cílem získat odhad parametrů komplexní permitivity v mikrovlnné oblasti elektromagnetického spektra s postačující nejistotou měření.

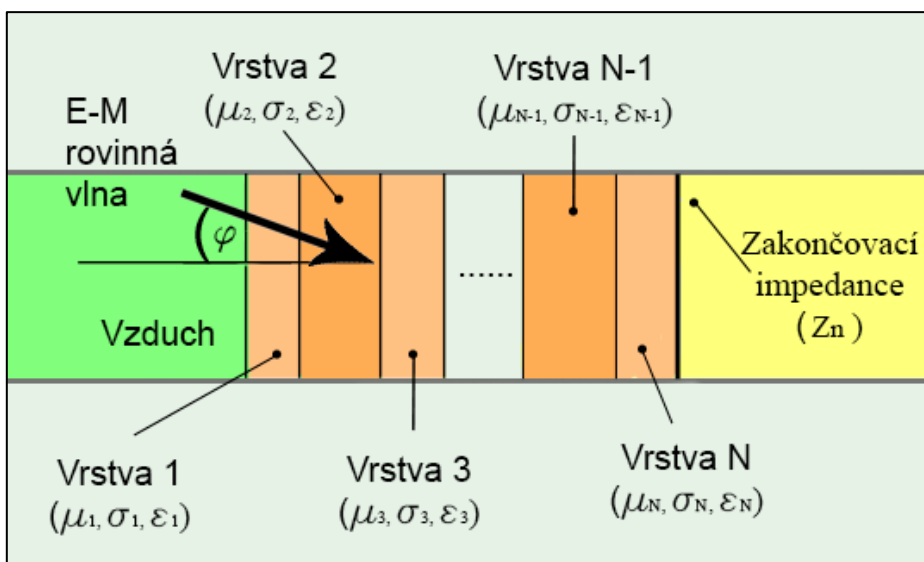
V této kapitole je představen nezbytný matematický aparát k modelování vrstevnatého systému a jeho optimalizaci, je zde uvedena metoda měření pro technologickou kontrolu přípravy a povrchové úpravy radioabsorpčních

materiálů. Tyto materiály lze použít i pro venkovní povrchy (radomy, budovy, vozidla atd.). Zároveň je zde popsáno grafické prostředí vlastní uživatelské aplikace implementující optimalizační algoritmus a nezbytné funkce.

Článek, A[5], který autor publikoval v roce 2015, zabývající se touto problematikou, vycházel z reálně naměřených dat reflektance a transmitance u vrstevnatých systémů, které byly sestaveny z dostupných materiálů a v daných tloušťkách. Výsledkem byl odhad komplexní permitivity s přiměřenou chybou. Článek byl citován celkem 11x.

V pozdější době se objevilo několik článků, ve kterých byl řešen obecný inverzní návrh vícevrstevnatého systému v optické oblasti elektromagnetického spektra, kdy byla použita konvoluční neuronová síť pro určení vztahu mezi strukturou metamateriálu a odpovídajícími elipsometrickými parametry [1]. Pokroky v oblasti výpočetních inverzních přístupů, které byly aplikovány při návrhu struktur na základě požadovaných funkčních vlastností, měly velký dopad zejména v oblasti nanofotoniky [2].

Pro výpočet koeficientu odrazu elektromagnetických vln byla uvažována struktura materiálu obsahující  $N+1$  vrstev, viz Obrázek 1.2. Nultá vrstva představovala dopadající prostředí (vzduch) a vrstva poslední představovala buď zemnicí rovinu, kde  $Z_n = 0 \Omega$  nebo volný prostor, kde  $Z_n = 377 \Omega$ . Předpokládali jsme elektromagnetickou rovinnou vlnu dopadající na vrstevnatý systém pod úhlem  $\varphi$ , viz Obrázek 1.2.



Obrázek 1.1: Schéma rozložení jednotlivých vrstev a jejich materiálových parametrů u modelovaného vrstevnatého systému (zdroj: archiv autora).

Dále se předpokládalo homogenní a izotropní prostředí. Rovinné vrstvy byly charakterizovány tloušťkou  $h_i$ , relativní permitivitou  $\varepsilon_i$ , vodivostí  $\sigma_i$  a permeabilitou  $\mu_i$ . Vlnová impedance  $Z_i$  na každém rozhraní mezi vrstvami představovala vlnovou impedanci vrstevnaté struktury zahrnující vrstvy  $i$  až  $N$ .  $Z_1$  představuje vlnovou impedanci celého vrstevnatého systému. Z rozdílu mezi vlnovou impedancí dopadající vlny a  $Z_1$  lze pak určit koeficient odrazu.

I přes dlouhodobý vývoj a zdokonalování měřicích technik není ani v současné době metodika měření dostatečně vyvinuta tak, abychom mohli měřit elektrické parametry tenkých vrstev. Tenkými vrstvami rozumíme vrstvy, jejichž tloušťka je menší než vlnová délka použitého záření. Tato neschopnost měření je dále prohloubena tím, že laboratorní metody jsou obtížně použitelné ve volném prostoru, pokud tedy vůbec.

Ačkoliv jsou dodávané materiály specifikované v materiálových listech výrobců velmi detailně v oblasti mechanických a teplotních vlastností včetně některých technologických parametrů (lepení, obrábění, tvrdost atp.), elektrické parametry snad vyjma stejnosměrné vodivosti, jsou uváděny velmi sporadicky nebo vůbec. Málodky je uváděna závislost komplexní permitivity, případně permeability, na frekvenci. Z toho vyplývá, že konstruktéři potřebují provádět další analýzy vlastností materiálů v rozsahu frekvencí, ve kterém budou tyto materiály použity.

Technologie přípravy tenkých polymerních kompozitních vrstev obsahujících uhlíkové nanotrubičky pro účely absorpce rádiového záření vyžaduje vývoj spolehlivých měřicích metod. Z fyzikálního hlediska jsou tenké polymerní kompozitní vrstvy definovány jako vrstvy o tloušťce, která je menší než vlnová délka použitých elektromagnetických vln [7],[8]. Kompozitní materiál se obecně skládá z matrice a plniv. Matrice obvykle slouží jako mechanické ochranné prostředí a plniva zajišťují požadované vlastnosti; synergické použití plniv může indikovat vlastnosti, které nelze nalézt v jednotlivých materiálech. Je žádoucí, aby tyto materiály byly aplikovatelné na kovové povrchy. Využívá se matrice na bázi polyuretanu, protože ochranné povrchové nátěry jsou velmi často zastoupeny laky na bázi polyuretanu. Jako elektroaktivní plnivo byly použity vícestěnné uhlíkové nanotrubičky, protože jsou levnější oproti jednovrstvým a jejich elektrické vlastnosti se zdají být dostatečně vhodné pro konstrukci radioabsorpčního materiálu. Z tohoto hlediska bylo potřeba vyřešit dva klíčové úkoly. Prvním z nich byla příprava materiálu a zkoušky techniky nanášení tenké vrstvy. Druhým úkolem bylo měření, které by nám umožnilo charakterizovat vlastnosti materiálu; v tomto případě konkrétně stanovení komplexní permitivity materiálu v daném frekvenčním rozsahu. Oba úkoly byly řešeny současně, protože spolu úzce souvisejí.

Použitý evoluční algoritmus pro extrakci parametrů z dat měření odrazu nebo přenosu je založen na zjednodušené evoluční strategii a je ověřen měřeními provedenými ve frekvenčním rozsahu od 115 do 145 GHz. Tento rozsah byl mimo náš zájem, neboť se zde používají optické metody měření.

Zprvu autor řešil výpočty pomocí Matlabu a jeho grafické nadstavby GUI IDE. Časem se ukázalo, že tento nástroj poskytuje jen omezené grafické možnosti, proto se autor rozhodl pro prostředí Delphi, což je komerční vývojové prostředí založené na jazyku Pascal, které je používáno pro vytváření Windows aplikací s bohatým grafickým uživatelským rozhraním.

Vznikla aplikace, kterou autor nazval „Reflectance“, je v ní implementován algoritmus pro výpočet hodnot reflektance a transmitance dle zadaných parametrů. Počet a rozložení vrstev včetně parametrů pro každou vrstvu jsou definovány uživatelem, stejně tak jako frekvenční rozsah a úhel, pod kterým dopadalo záření na materiál.

Mým cílem bylo tedy vyřešit inverzní úlohu – stanovit permitivitu a disipační faktor u jednotlivých tenkých vrstev. Tento problém inverzního návrhu je obtížné systematicky řešit kvůli velkému prostoru parametrů návrhu, který je spojen s obecnými vícevrstevnými systémy. Pro odhad dielektrických parametrů vrstevnatých systémů ze závislosti transmitance a reflektance na frekvenci, které byly získány metodou měření ve volném prostoru, byl použit evoluční algoritmus SOMA.

Pomocí tohoto nástroje lze odhadnout neznámé parametry vrstev (tloušťku, permitivitu či vodivost) vhodnou změnou těchto parametrů pomocí evolučního algoritmu SOMA, který vyhodnocuje vhodně zvolenou účelovou funkci. Její hodnota je závislá na shodě mezi spočítaným a naměřeným průběhem reflektance nebo transmitance, popř. obojí. Výpočet závislosti odrazivosti a propustnosti je proveden v daném frekvenčním rozsahu v rámci stanoveného kroku a pro daný úhel dopadu. V aplikaci je možné počítat závislosti reflektance či transmitance nejen na frekvenci při daném úhlu dopadu, ale také na úhlu dopadu při dané frekvenci. Z technického hlediska je v našem případě pro praktická měření vhodnější kolmý dopad.

Pro ověření řešení inverzní úlohy byly vypočítány frekvenční závislosti reflektance a transmitance v rozsahu 4 až 18 GHz s krokem 0,5 GHz pro zkušební jednovrstvý materiál s vlastnostmi  $\epsilon_r=11$ ;  $\tan(\delta)=0,6$ ; a tloušťkou 3 mm, zakončený volným prostorem. Takto získaná (simulovaná) data byla upravena přidáním šumu s rovnoměrným pravděpodobnostním rozdělením na úrovni 0 až 10 % z hodnoty rozpětí (maximum – minimum).

Tato data byla vzata jako vstupní data pro inverzní úlohu, jejímž řešením je odhad permitivity a disipačního faktoru ( $\epsilon_r=10,9$ ;  $\tan(\delta)=0,60$ ).

Úroveň šumu byla postupně navyšována až do úrovně 40 % z rozpětí, kdy jsme dostali ještě uspokojivé výsledky. Relativní nejistota  $\epsilon_r$  a  $\tan(\delta)$  byla do 20 %.

Cílem bylo zjistit robustnost algoritmu vůči okrajovým a počátečním podmínkám, což bývá v publikovaných studiích velmi často přehlíženo.

V kapitole byl popsán postup stanovení dielektrických vlastností tenkých vrstev v mikrovlnné oblasti elektromagnetických spekter. Tato metoda využívá evoluční algoritmus SOMA pro odhad dielektrických parametrů vrstevnatých systémů ze závislosti transmitance a reflektance na frekvenci, které byly získány pomocí metody měření ve volném prostoru. U měření širokopásmových frekvencí nelze předpokládat, že komplexní permitivita je konstantní. V našich výpočtech předpokládáme konstantní komplexní permitivitu, která platí pro vzorky keramiky a pryže. V tomto případě tato metoda umožňuje potlačit difrakční jev, který je způsoben konečnou velikostí měřených vzorků. Difrakce vede ke zvlnění měřených charakteristik. Je však možné rozdělit frekvenční rozsah na několik užších a analýzu opakovat pro každý z nich. Přestože výsledky popsané metody podléhají obvyklým nejistotám výzkumu, hlavní výhodou metody je, že nám umožňuje analyzovat vícevrstvé systémy a zejména tenké povlaky.

## 2. DIAGNOSTIKA VÝROBY PALIVOVÝCH NÁDRŽÍ V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU

V současném průmyslovém prostředí je efektivita, přesnost a spolehlivost výroby klíčová. Velmi důležitou roli zde hraje, mimo jiné, kontrola kvality výrobků. V automobilové průmyslové výrobě jsou tyto požadavky ještě přísnější. Týká se to i výroby samotných palivových nádrží, kde je nutné zajistit především funkčnost a bezpečnost každého vyrobeného kusu. Každá nádrž je složena z několika základních komponentů (palivové čerpadlo, palivový filtr, sací a vratné potrubí, ventily, senzory, různé fixační sady a další), které jsou umístěny uvnitř nádrže vyrobené typicky vyfukováním z polymerních materiálů. Vyrobená nádrž má sice nějaké otvory, ale je nerozebíratelná. Nelze proto jednoduše zkontrolovat, jestli při robotizovaném založení jednotlivých komponent a následném vyfukování nedošlo k jejich posunu nebo vychýlení od pozic definovaných výrobní dokumentací. Požadavek na doplnění stávajícího způsobu kontroly u vyráběných nádrží vzešel z firmy TI Fluid Systems (dále jen TI) a implementován měl být v její výrobní hale v Győru v Maďarsku. Tato firma se rozhodla pro zavedení inspekce pomocí rentgenové technologie a s tím souvisejícího automatizovaného vyhodnocení, které však na trhu nebylo.

Rentgenová technologie se v průmyslových aplikacích běžně používá ke zkoumání vnitřní struktury objektů bez jejich fyzického otevření nebo poškození. V případě palivových nádrží zde jiná možnost inspekce vnitřních částí právě vyrobených kusů ani nepřipadá v úvahu. Obsluhující SW rentgenového scanneru pořízené snímky kolorizuje, tzn. přidává do obrazu umělé barvy za účelem zdůraznění různých oblastí nebo struktur v obrázku. Kolorizace pomáhá lépe vizualizovat určité aspekty rentgenového snímku a umožňuje operátorovi snadnější orientaci v částech obrazu.

Tento dodatečný typ inspekce komponent palivové nádrže zahrnoval manuální vyhodnocení těchto snímků operátorem. Stěžejním problémem bylo subjektivní vyhodnocování obrazového materiálu operátorem, jeho únava, s tím související možný vznik jeho chybných rozhodnutí a v neposlední řadě také náklady na lidskou práci a školení. Že je tento stav dlouhodobě neudržitelný firma TI Fluid Systems od počátku věděla, a proto poptávala po

dodavateli rentgenového scanneru implementaci vhodného softwarového nástroje do stávající výrobní linky, který by tento proces zautomatizoval.

Toto se však nedařilo dlouhou dobu realizovat, neboť komerční řešení pro již hotový univerzální scanner a tento typ problému na trhu nebyly. Přestože existovalo velké množství komerčních nástrojů založených na online vyhodnocení obrazu z kamerových systémů, tyto byly nepoužitelné v rámci jejich implementace do existujícího systému.

Zmíněné rentgenové scannery vyrábí firma Rapiscan Systems a lze se s nimi setkat v celosvětovém měřítku (průmyslová výroba, ochrana letišť, budov apod.). Tato firma je v České republice, na Slovensku (a v omezené míře i v Maďarsku) zastoupena firmou PCS spol. s r. o. Díky předchozí spolupráci mezi Fakultou aplikované informatiky a firmou PCS, která nám věnovala bezpečnostní scanner do odborné laboratoře pro studijní účely programu „Bezpečnostní technologie, systémy a management“, měl autor možnost navázat kontakty s lidmi z této firmy. Tímto způsobem se autor dostal k velmi zajímavé výzvě, kdy bylo ze strany výrobní firmy, lídra v oboru tepelných řešení a kapalinových systémů pro výrobce vozidel po celém světě (TI Fluid Systems), poptáváno řešení na automatizované vyhodnocení inspekce každé vyrobené nádrže.

Zadání úlohy bylo relativně jednoduché, spočívalo v návrhu algoritmu pro porovnání dvou obrazů a zvýraznění rozdílů mezi nimi, dále pak k implementaci tohoto vyhodnocovacího nástroje do systému výrobní linky. Cílem byla identifikace a vizualizace míst, kde se obrazy liší s následnou archivací výsledků do podnikového informačního systému. Autor začal tedy pracovat na řešení v podobě softwarové aplikace, nazvané „Reject Inspector“, dále jen SWRI. Implementován byl do stávajícího systému obsahující dodávaný jednopohledový rentgenu právě ve výrobní hale firmy TI v Győru.

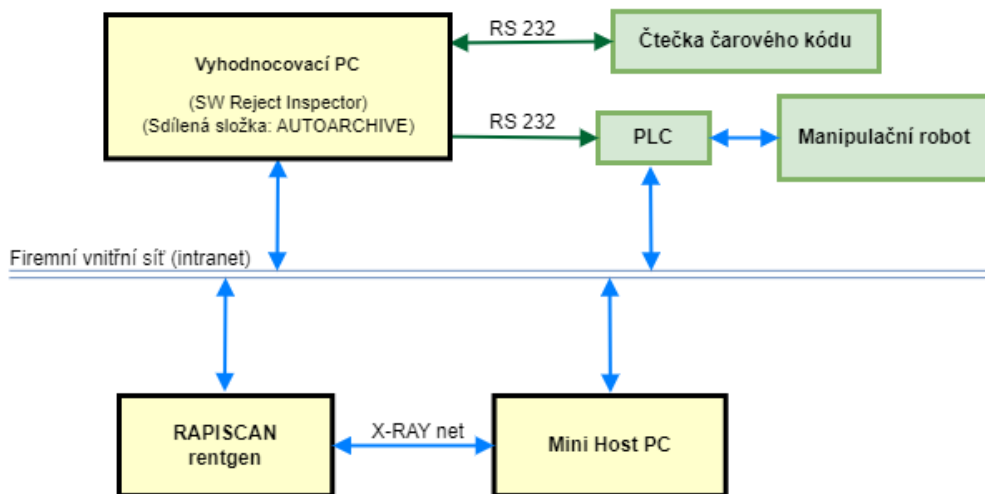
Po nasazení a odladění byl následně tento vyhodnocovací SW instalován ve výrobní hale firmy TI GROUP AUTOMOTIVE SYSTEMS, s.r.o. ve Stráži nad Nisou. Byla zde požadována úprava SW dle odlišných hardwarových potřeb a výrobního informačního systému. Do SWRI se začlenila možnost připojení čtecích zařízení (čtečky čárových kódů) a dalších drobných úprav.

Podobně jako v předchozím případě, i další firma zabývající se výrobou palivových nádrží, tentokrát firma YAPP CZECH AUTOMOTIVE SYSTEMS Co., s.r.o. v Mladé Boleslavi (dále jen YAPP), projevila zájem o automatizované řešení (v tuto chvíli již firmou PCS nabízené řešení v podobě SWRI). V té době byly nově na trhu dvoupohledové rentgenové scannery a firma YAPP v souvislosti s pořízením tohoto nového typu rentgenu požadovala po dodavateli další úpravy SWRI, aby byly využité oba pohledy. Technologie dvojitého zobrazení (*Dual view technology*) vytváří jedno vertikální a jedno horizontální zobrazení snímaného objektu. V našem případě nám poskytuje více informací o prostorovém rozložení komponent nádrže, čímž zvyšuje pravděpodobnost odhalení chybně uložené komponenty.

Vznikl tak další požadavek na rozšíření SWRI v podobě kontroly obou pohledů, navíc firma YAPP vyžadovala automatizované vyhodnocení pozic kontrolovaných komponent v rámci výrobních tolerancí. Na základě automatizovaného vyhodnocení SWRI byla předána informace o výsledku kontroly skrze PLC manipulačnímu robotu, který provedl s kontrolovanou nádrží patřičné operace (v případě nevyhovujícího stavu nádrž vyřadil z výrobního procesu).

Níže je uveden způsob automatizovaného procesu kontroly kvality palivových nádrží, kde autor využívá metody číslicového zpracování obrazu. Je zde popsáno uživatelské prostředí a možnosti navrženého SWRI, které se postupně vyvíjelo a existuje v několika verzích, lišících se možnostmi kontroly a nastavení. Nejnovější verze, s označením „Reject Inspector 2.0“, je navržena tak, aby byla co nejvíce univerzální a použitelná pro různé hardwarové prostředky.

Pro účely následného zpracování obrazu firma Rapiscan Systems dovybavila rentgen minipočítačem, na kterém běží skript pro konverzi pořízených snímků do formátu JPEG a zároveň zajišťuje jejich okamžitý přesun do sdílené složky s názvem „AUTOARCHIVE“ vytvořený na disku vyhodnocovacího PC. Zjednodušené schéma propojení všech hardwarových částí je vyobrazeno zde, viz Obrázek 2.3. Zelené pozadí mají části, které v systému nutně nemusí být obsaženy.



Obrázek 2.1: Schéma zapojení hardware (zdroj: archiv autora).

V kapitole byla popsána geneze související s návrhem a implementací kontrolního nástroje v podobě SWRI do stávajících výrobních linek u výrobců automobilových nádrží. Ten umožňuje uživateli definovat na vzorové předloze (rentgenovém snímku nádrže vyhovující požadovaným standardům) nezávisle definovat části obrazu (kontrolované komponenty) a nastavit u nich tolerance (translace, rotace). Na základě porovnání rentgenových snímků vzorové předlohy s rentgenovými snímky právě vyrobené nádrže je schopen autonomně rozhodnout, zda kontrolovaná nádrž splňuje požadované standardy a tuto informaci předa dál. Toto řešení představuje inovaci v oblasti automatizované kontroly kvality nejen palivových nádrží, lze jej prakticky okamžitě (s drobnými úpravami) aplikovat i mimo oblast automotive. Může být použitelné obecně všude tam, kde dochází k porovnání obrazové informace.

SWRI pomáhá výrobcům palivových nádrží snižovat počet zmetkových kusů. Systém využívá metod číslicového zpracování obrazů k automatizované kontrole kvality nádrží. To vede k nižším nákladům firmy na lidskou práci a nezbytné školení operátorů, protože systém dokáže rozpoznat vady, které by lidský operátor mohl přehlédnout.

SWRI je Fakultou aplikované informatiky nabízen prostřednictvím modelu licence, umožňuje výrobcům využívat tuto aplikaci v rámci svých výrobních či testovacích procesů.

V současné době jsou poskytnuty dvě licence firmě TI (1x Győr, 1x Stráž nad Nisou), jedna licence ve firmě YAPP (Mladá Boleslav). V jednání je další nejmenovaná firma vyrábějící palivové nádrže, kde se uvažuje o nasazení SWRI. Dále je v jednání uzavření licenční smlouvy přímo s firmou Rapiscan Systems, která by autorovo řešení použila k dovybavení jejich rentgenových zařízení v rámci její celosvětové působnosti.

### 3. ZPRACOVÁNÍ DAT Z ROBOTICKÉ POSTŘIKOVACÍ LINKY

Firma Prozax s.r.o. (dále jen Prozax), která je specializovaným výrobcem široké škály jednorúčelových strojů, zařízení a výrobních linek pro gumárenský průmysl, reagovala na požadavky svých zákazníků tím, že se rozhodla rozšířit svou nabídku produktů. Tímto rozšířením portfolia se zaměřila na novou řadu plně automatizovaných výrobních linek s vysokou přidanou hodnotou. Toto rozšíření bylo řešeno s pomocí dotačního programu OP PIK - Aplikace: „*Výzkum a vývoj automatické emulgační linky polotovarů radiálních i diagonálních pneumatik velkých rozměrů*“, firma Prozax byla hlavním řešitelem, Fakulta aplikované informatiky spoluřešitelem.

*Pozn.: Autor se podílel na níže popisovaném řešení tohoto projektu mentálním podílem 50 % (popis a vysvětlení částí, které neřešil, bylo nutné z důvodu zachování kontextu).*

Hlavním cílem tohoto projektu bylo vytvoření, ověření a optimalizace prototypu univerzální automatické výrobní linky s univerzální schopností automatického zpracování různých, často velmi nepravidelných surových pláštěů velkých pneumatik. Podle dostupných informací z RIV v rámci České republiky a praxe společnosti Prozax neexistovalo na celém světě srovnatelné řešení tohoto typu. Očekávaný výsledek projektu v době návrhu a řešení neměl srovnání s řešeními konkurence, toto ucelené řešení na trhu neexistovalo a jednoznačně překračovalo technické parametry a možnosti známých řešení. Toto bylo potvrzeno zájmem potenciálních odběratelů, kteří zahrnovali jak stávající, tak nové zákazníky společnosti Prozax a kteří jsou zároveň světovými leadery v oblasti výroby pneumatik.

V rámci projektu byl vyvinut prototyp automatické emulgační linky pro polotovary, konkrétně surové pláště různých typů (radiální/diagonální) o rozměrech od 20“ do 54“. Tato linka zajišťuje činnosti mezi operacemi konfekce surových pláštěů a jejich vulkanizaci ve vulkanizačních lisech. Jedná se o jediný automatizovaný systém, který dokáže identifikovat a zpracovávat různé druhy surových pláštěů z rozsáhlého sortimentu. Každému plášti může být přiřazena specifická metoda emulgačního zpracování, včetně vnitřního

a vnějšího postřiku, s různou intenzitou a složením. Tato linka je schopna automaticky manipulovat s pláští do hmotnosti 500 kg a průměru 2,5 m. Kromě toho má schopnost autonomního rozhodování v případě neočekávaných situací a je plně kompatibilní se systémy Průmyslu 4.0.

V průběhu řešení první etapy vznikl „Funkční prototyp pro průběžné laboratorní testování funkcí jednotlivých částí a následně i celku“, který byl určen pro další testování a optimalizaci v průmyslových podmínkách.

V rámci uvedených etap byl v projektu řešen sběr technologických dat z PLC, jejich archivace, vyhodnocení a správa receptur. Prvotní požadavky firmy Prozax na funkcionalitu a vzhled programového vybavení byly strohé, vplynuly z nich jen základní funkce a požadované chování aplikace. Proto se autor zabýval výběrem vhodného programovacího prostředí, tvorbou softwarového produktu a jeho implementací a odladěním v průmyslových podmínkách.

Jeden z požadavků se týkal čtení relevantních dat z PLC (SIMATIC S7-1500) a jejich ukládání do SQL databáze pomocí standardního protokolu OPC UA. PLC vytváří OPC UA server a jeho prostřednictvím zpřístupňuje některé své datové bloky – datový blok proměnných a datový blok receptur.

Pro účely sběru dat z řídicího systému a potřeby dalších servisních funkcí byla vytvořena aplikace s názvem „Prozax Data Collector“ (dále jen PDC), která je primárně určena pro běh na úrovni služeb OS Windows.

Pro vizualizaci výrobních dat, jejich statistického vyhodnocení a možnosti snadného ovládní servisních funkcí bylo vytvořeno grafické uživatelské prostředí s názvem „Prozax manager“. Obě zmíněné aplikace byly instalovány na IPC.

Vznikem uvedených dvou samostatných, spolu komunikujících nástrojů, došlo k oddělení částí sběru a archivace dat od nástrojů pro vizualizaci a vyhodnocování.

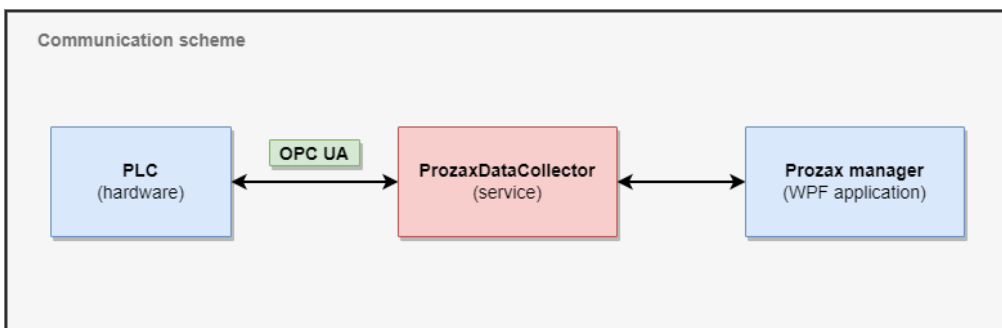
Provozní a servisní data jsou archivována v SQL databázi. Pro přístup k provozním datům byla vytvořena podpůrná knihovna (ProzaxDataAccess.dll), jejímž úkolem je jednak zapouzdřit a zjednodušit

přístup k archivovaným datům (SQL databáze) ale současně také z jednoho prostředí poskytnout nástroje pro online sledování stavu linky – komunikace se službou PDC.

Zkonstruovaná postřikovací linka je primárně určena k autonomnímu provozu, kdy nástroje pro sběr dat a základní vizualizaci jsou umístěny lokálně v IPC. U postřikovací linky se nepředpokládá napojení do sítě Internet ani Ethernet. Vzhledem k povaze projektu, kdy byla linka nejprve sestavena a částečně otestována v laboratorních podmínkách v Otrokovicích (1. etapa), následně převezena k zákazníkovi do Indie, bylo důležité mít k lince vzdálený přístup pro další úpravy SW a mít také možnost získat provozní data při testovacím provozu v průmyslových podmínkách (2. etapa).

Pro účely testování zabezpečeného vzdáleného přístupu byla linka připojena do sítě VPN se standardním šifrováním a zabezpečením. Velká část vývojových prací, ladění i testování probíhalo tímto připojením bez zaznamenání problémů s výkonem, rychlostí nebo spolehlivostí přenosu dat.

Pro vizualizaci dat bylo vytvořeno uživatelské prostředí, nazvané „Prozax Manager“, které komunikuje s řídicí aplikací PDC, viz Obrázek 3.1.



Obrázek 3.1: Schéma komunikace (zdroj: archiv autora).

Tato aplikace umožňuje uživateli prohlížení zaznamenaných technologických dat a jejich statistické vyhodnocení (Production statistics overview), dále editaci a prohlížení receptur uložených v PLC (Recipe viewer and editor), živé monitorování aktuální situace na lince (Live monitor) a v neposlední řadě možnost nastavení různých systémových parametrů – ať už je to definice

směn v rámci dne (Shift definition) či zobrazení informací o dané lince či zálohování databáze (System information).

O vznikající linku již v průběhu vývoje prototypu projevila zájem Firma A, následně po doladění prototypu v průmyslových podmínkách byly touto firmou objednány další linky (dvě linky do 250 kg a jedna do 500 kg). Zprovoznění v místě instalace (Indie) prováděli pracovníci firmy Prozax. V této fázi autor dělal vzdálenou podporu, kdy mnohé z výše zmiňovaných funkcí vznikaly až na základě praktických zkušeností a dodatečných požadavků zákazníka. Ve Firmě A se linka zprovozňovala v říjnu 2022 a již v průběhu testování o linku projevila zájem konkurenční japonská firma, Firma B, která měla požadavek na modifikaci dopravníku. Následoval zájem kazašské firmy, Firmy C, která požadovala stejný model jako měla Firma B.

## 4. VIZUALIZACE A ZPRACOVÁNÍ DAT Z ROBOTICKÉ PALETIZAČNÍ LINKY

Na základě úspěšné předchozí spolupráce mezi FAI UTB a společností Prozax při návrhu a realizaci postřikovacích linek, byla fakulta požádána o další spolupráci na vývoji a návrhu robotické paletizační linky pro automobilové pláště.

V rámci této další spolupráce bylo klíčovým požadavkem integrovat do nadřazeného řídicího systému robotické linky sběr, archivaci a zpracování provozních dat (služba PDC), které se již osvědčily při předchozí implementaci a prokázaly svou vysokou užitečnost. Na rozdíl od předchozích postřikovacích linek, kde byly receptury vytvářeny prostřednictvím nástroje WinCC, byl nyní kladen důraz na vytvoření samostatného nástroje, umožňujícího nejen tvorbu nových receptur, jejich správu, ale také 3D vizualizaci paletizačního procesu včetně průběžné kontroly možných střetů manipulovaných pláštíů či částí robota v pracovním prostoru s paletou či již položenými plášti v průběhu definice paletizace.

*Pozn.: Autor se podílel na níže popisovaném řešení tohoto projektu mentálním podílem 60 % (popis a vysvětlení částí, které neřešil, bylo nutné z důvodu zachování kontextu).*

Proces automatické paletizace navazuje na dopravníkovou trasu, která přivádí pláště z automaticky ovládaného skladu.

Účelem paletizační linky je zakládat vyskladněné pláště, které jsou přepraveny dopravníky a připravené na posledním dopravníku, do palet, správně založených v docích, dle vytvořených zakládacích vzorů. Pracoviště používá tři různé typy KSP palet.

Ukládací dok pro palety slouží k umístění a fixaci palety, do které bude následně robot zakládat pláště. Dok je opatřen středícími svodidly, mezi které je obsluhou vložena prázdná paleta. Obsluhou je poté zvednuta bočnice palety a po potvrzení se tyto bočnice zajistí. Zakládací dok automaticky vyhodnotí, o který typ palety se jedná a zda je paleta založena správně. Při zakládání některých typů pláštíů se jedna strana doku automaticky přizvedne, tak aby

došlo k zakládání pláštů v zadaném schématu. Po naplnění palety pláští dok paletu automaticky uvolní a obsluha je vyzvána k výměně palety za prázdnou.

Podle zvolené receptury může být obsluha vyzvána k založení rozdělovací příčky. V takovém případě se paletizační proces zastaví a čeká na potvrzení založení příčky obsluhou skrze obslužné tlačítko. Linka obsahuje celkem dva zakládací doky pro palety, které jsou navzájem zrcadlově souměrné. Paletizaci zajišťuje šestiosý robot KUKA, který obsluhuje dvě paletizační stanoviště.

Robot slouží k odebírání a zakládání pláštů dle předem vytvořených receptur do palet uzamčených v zakládacích docích. Informace o příchozím pláští robot získává z předcházející dopravníkové trasy, prvků na odebíracím dopravníku a kamerového systému.

K manipulaci s pláští robot využívá manipulační hlav, které si automaticky volí podle rozměrů příchozích pláštů. Manipulační hlava je navržena jako nadstavba pro robota, která je přes rychloupínací mechanismus připojena k robotu a má za úkol uchopovat plášť.

Po přjetí manipulační hlavy na automaticky zjištěnou pozici nad pláštěm servopohon pootočí kulisovým mechanismem. Ten vysune a roztáhne prsty, jimiž uchopí plášť. Při odložení pláště kulisový mechanismus otočením v opačném směru nejprve stáhne prsty a následně zasune zpět do manipulační hlavy.

Řízení linky zajišťují PLC Siemens S7-1500 a IPC 627E. Linka je navržena na průměrnou rychlost 2800 pláštů za den (špičkově 3100), podporovány jsou pláště většího průměru 600 až 1250 mm, do hmotnosti 130 kg.

Je-li vytvořena nová receptura, linka první paletizaci s touto recepturou provádí v tzv. kontrolním režimu linky, kdy rychlost pohybu robotu ve všech krocích trajektorie je redukována. V tomto režimu je předpokládáno, že obsluha bude nad prováděním receptury dohlížet. Současně může průběh pozastavit a parametry receptury upravovat – precizovat. Jedná se o hodnotu 25 % z definované rychlosti (hodnotu lze v systémovém nastavení programu měnit). Po úspěšném dokončení paletizace s novou recepturou je tato

označena za schválenou (dojde k nastavení příznaku „*Approved*“) a její následné použití již využívá plnou (definovanou) rychlost.

Na základě definovaných požadavků a potřeb softwarové podpory robotického paletizačního procesu byla navržena a vytvořena dvojjazyčná desktopová aplikace „Prozax Manager“. V této kapitole bude představena funkcionalita a možnosti, které přináší její implementace do nadřazeného systému řízení linky. V jednoduchém hlavním okně je kromě volby jazyka možnost otevření okna manažera receptur, případně okna poskytujícího některé systémové informace týkající se sledovaných dat z robotické linky.

Pro potřeby systémové údržby, kontroly systému a jeho nastavení, zálohy databáze, sledování výrobních statistik apod., bylo vytvořeno toto okno. Přístup k některým položkám je podmíněn přihlášením pod administrátorským účtem.

Recepturu v kontextu paletizace automobilových pláště lze chápat jako komplexní sadu parametrů a postupů, které určují, jak je konkrétní typ pláště na konkrétní paletě uspořádán. Receptura obsahuje jednak základní parametry popisující daný typ pláště – vyskladňovaný artikl, ale také sekci s trajektoriemi (průjezdními body) manipulace s každým jednotlivým pláštěm.

Pro tvorbu nových receptur, úpravy či modifikace stávajících receptur a obecně pro jejich správu byl navržen a vytvořen v rámci aplikace „Prozax Manager“ také samotný manažer receptur.

Každá receptura je v systému jednoznačně identifikována svým číselným ID. Z pohledu uživatele je však klíčovým identifikátorem každé receptury její přiřazení k artiklu (textový identifikátor, obvykle délky 7 až 10 znaků). Každá receptura má také své uživatelsky přívětivé pojmenování (obvykle se přebírá jméno artiklu). Pro jeden artikl je povoleno vytvářet více receptur (např. pro různé palety), ale v daném okamžiku pouze jedna z těchto receptur může být aktivní.

Mezi základní parametry receptury patří vedle zmiňovaných identifikátorů parametry pneumatiky, tj. její vnější a vnitřní průměr, šířka a hmotnost. Dále

jsou v receptuře specifikovány typ palety a předvolby pro paletizačního robota.

Seznam položek může být velmi rozsáhlý, pro snadnější a rychlejší práci lze využít vyhledávání dle Artiklu nebo Názvu, případně lze zobrazovat pouze aktivní receptury. Mimo to je skrze kontextové menu implementována možnost třídění položek seznamu dle různých vlastností (ID, typu KSP palety, počtu plášťů v paletizaci, průměrů plášťů, hmotnosti a dalších).

Pro vizualizaci paletizace, její případnou úpravu a kontrolu byl vytvořen nástroj v podobě 3D editoru, jenž je součástí desktopové aplikace „Prozax Manager“. Vzhledem k tomu, že primárním cílem vizualizace nebyl dokonalý vzhled objektů a 3D scény, ale funkční, jednoduchý a spolehlivý nástroj, postačoval mi jmenný prostor *System.Windows.Media.Media3D*, který zobrazoval 3D objekty v rámci standardního uživatelského rozhraní WPF.

Robotická paletizační linka byla instalována ve firmě Continental Barum začátkem října 2023. K dnešnímu dni je linka přibližně dva měsíce ve zkušebním provozu a i přesto, že je průběžně odstavována a její funkce doladovány, provedla již paletizaci více jak dvaceti tisíc plášťů.

## PŘÍNOS PRÁCE PRO VĚDU A PRAXI

Práce se zabývá čtyřmi konkrétními projekty, jejichž zadání vzešlo z potřeb průmyslového vývoje nebo průmyslové výroby a bylo řešeno v rámci projektové činnosti nebo smluvního výzkumu na Fakultě aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně. Je nutno podotknout, že všechny čtyři jsou směřovány na podporu a rozvoj průmyslových technologií.

V prvním projektu jsou to připravované technologie pro výrobu nových materiálových výrobků aplikovatelných v oblasti elektromagnetické kompatibility. Tato kapitola se nejvíce blíží pojetí výzkumu v klasickém slova smyslu, což dokresluje i přijatá publikace v zahraničním impaktovaném časopise a její odezva (11x citováno na WOS) ve vědecké komunitě.

Téma druhého projektu vzešlo z oblasti automotive, kde firma TI Fluid Systems rozšiřovala stávající způsob kontroly kvality u vyráběných automobilových nádrží. Tato firma se rozhodla pro zavedení inspekce pomocí rentgenové technologie a s tím souvisejícího automatizovaného vyhodnocení, které však na trhu nebylo. V rámci řešení tohoto projektu vznikl komplexní softwarový nástroj s názvem „*Reject Inspector*“. Ten, mimo jiné, využívá metod číslicového zpracování obrazů k automatizované kontrole kvality nádrží, což vede ke snížení nákladů firem na lidskou práci a nezbytné školení operátorů. Pro výrobce palivových nádrží představuje nástroj, jak snižovat počet zmetkových kusů, umožňuje archivaci výsledků kontroly (jak v podobě obrazu, tak v podobě číselného záznamu o odchylkách mimo toleranci), sledování vývoje zmetkovitosti či statistického vyhodnocení. Automatizace kontrolního procesu znamená pro výrobce automobilových plášťů posun v kvalitě a spolehlivosti jejich výrobků. Tento produkt je Fakultou aplikované informatiky nabízen prostřednictvím modelu licence, umožňuje výrobcům využívat tuto aplikaci v rámci svých výrobních či testovacích procesů. V současné době jsou poskytnuty dvě licence firmě TI (1x Győr, 1x Stráž nad Nisou), jedna licence ve firmě YAPP (Mladá Boleslav). V jednání je další nejmenovaná firma vyrábějící palivové nádrže, kde se uvažuje o nasazení tohoto nástroje. Dále je v jednání uzavření licenční smlouvy přímo s firmou Rapiscan Systems, která by autorovo řešení použila k dovybavení jejich rentgenových zařízení v rámci její celosvětové působnosti.

Třetí projekt vznikl během řešení OP PIK s firmou Prozax, s.r.o., kdy byl do postřikovací linky implementován systém pro sběr technologických dat, jejich archivaci a správu receptur. Autor byl na tomto projektu v pozici spoluřešitele (mentální podíl 50 %). Tento systém se osvědčil a byl implementován podobně i do dalších modifikovaných postřikovacích linek. Zavedením dalšího prvku automatizace a robotizace do výrobního procesu ve třech konkrétních nejmenovaných firmách (tři linky v indické „Firmě A“, další modifikovaná linka v japonské „Firmě B“ a další modifikovaná linka v kazašské „Firmě C“) znamená nejen snížení fyzické náročnosti práce pro jejich zaměstnance (doposud postřik a manipulace pobíhaly ručně), ale také výrazné zkvalitnění pracovního prostředí (práce byla nejen fyzicky náročná, ale přinášela zdravotní rizika – nutnost práce v respirátorech). Současně automatizace procesu znamená pro zákazníka posun v kvalitě a spolehlivosti jejich výrobků. Díky precizním a opakovatelným operacím robotů je dosahováno zaručeně vyšší kvality postřiku. Díky implementovanému sběru, archivaci a následnému vyhodnocování technických dat je možné provádět další optimalizace výrobního procesu, například z hlediska ekologických aspektů, jako je snížení spotřeby postřikovací kapaliny a podobně. Navázání spolupráce s firmou Prozax rozšířilo portfolio znalostí a dovedností nejen pro autora samotného, ale také celé naší fakulty a pracovníků, kteří se na řešení podíleli. Uplatnění v projektu s mezinárodním dopadem bezesporu zvýšilo i celkový kredit Univerzity Tomáši Bati ve Zlíně. Na všech dalších výše zmiňovaných modifikacích linky se autor (mentální podíl 50 %) i jeho spolupracovníci také podíleli.

Prospěšnost vzájemné spolupráce lze doložit následně řešeným, čtvrtým, projektem v rámci smluvního výzkumu, který se týkal paletizační linky pro společnost Continental Barum. Tento projekt autor řešil v pozici hlavního řešitele (mentální podíl 60 %) a jeho výsledkem byla implementace nástroje pro tvorbu, úpravu a správu receptur do řídicího systému linky. Tento nástroj zahrnoval také 3D vizualizaci paletizačního procesu, která je vybavena kontrolou ochranných zón robotu a možných střetů objektů při jejich manipulaci ve 3D prostoru.

Zavedení této robotické paletizační linky do portfolia společnosti Prozax s.r.o. představuje významný krok směrem k jejímu rozvoji. Tato inovace posílila

pozici společnosti na trhu a zároveň jí otevřela dveře na mezinárodní trhy v daném odvětví. Zavedení nového produktu znamenalo nejen rozšíření jejich obchodních možností ale také získání nových zakázek, což následně vedlo k jejímu růstu a tržní hodnotě. S příchodem nových obchodních příležitostí se otevřel prostor pro rozšíření týmu, což jí umožnilo lépe reagovat na narůstající poptávku a posílit její schopnost obsluhovat klienty na celosvětové úrovni. Rozšiřování portfolia a nalezení uplatnění na nových trzích představuje pro firmu perspektivu nejenom v podobě udržitelného růstu, ale také v posílení konkurenceschopnosti, což se promítne do dlouhodobých benefitů pro celý region. Firma Prozax s.r.o. sídlí v městě Otrokovice a v současnosti již exportuje do 20 zemí celého světa.

Úroveň robotizace ve společnosti Continental Barum, provoz Otrokovice je na vysoké úrovni. Řada procesů je již zcela nebo částečně robotizována včetně systémů na úrovni vyskladňování – paletizace hotových pláštů pro distribuci. Zavedení realizované robotické paletizační linky systém vhodně doplnilo – linka umožňuje rychle a efektivně vyskladňovat typy pláštů a realizovat paletizační vzory, které doposud byly skládány manuálně zaměstnanci společnosti, což v kontextu maximální hmotnosti pláště až 110 kg bylo značně časově a fyzicky náročné. K datu 1. 12. 2023 je linka přibližně dva měsíce ve zkušebním provozu a i přesto, že je průběžně odstavována a její funkce doladovány, provedla již paletizaci více jak 20 000 kusů pláštů.

Největším přínosem uvedených projektů je zefektivnění výroby v konkrétních průmyslových podnicích. Každý z nich přináší specifické inovace a aplikace, které jsou relevantní jak pro teoretický výzkum, tak pro praktické využití. Jejich úspěšným dokončením navíc došlo k vzájemnému propojení aktivit v akademické sféře a požadavků průmyslového sektoru, které nebývají vždy totožné, někdy si dokonce protirečí. Mnoho úloh z průmyslového prostředí, které autor řešil, poskytlo zajímavá témata pro diplomové práce studentů. Posloužily jako inspirace pro ty studenty, kteří se chtěli podílet na výzkumu, zabývat se konkrétními problémy a hledat jejich řešení. Praktické aplikace těchto témat jim poskytly cenné zkušenosti a přispěly k jejich hladšímu přechodu z akademického světa do reálné praxe. Autor může potvrdit, že mnoho z těch, kteří pod jeho vedením dokončili své diplomové práce, nemělo problém prosadit se v technické praxi.

## ZÁVĚR

Pojem zpracování signálů představuje komplexní vědecký obor, který se zabývá analýzou a syntézou signálů. Poskytuje nám matematické nástroje pro popis a manipulaci se signály. Tyto nástroje mají široké využití v mnoha oblastech lidské činnosti, zejména ve sféře technické. Průmyslová výroba se stává díky masivnímu rozvoji automatizovaných a robotických systémů čím dál složitější a náročnější z hlediska jejího řízení. To vyžaduje hlubší znalosti a dovednosti jak v oblasti průmyslové automatizace, tak i např. číslicového zpracování signálů, umělé inteligence, a dalších oblastí informatiky včetně návrhu softwarových prostředků. Jedná se zde o průnik několika technických oblastí, které nejsou striktně oddělené a vyžadují určitou míru spolupráce a koordinace. Často je použití a implementace uvedených znalostí do reálného průmyslového prostředí složité. Vyžaduje se od něj funkčnost, spolehlivost a často přizpůsobitelnost ke konkrétnímu, již existujícímu, systému. Rostoucí míra zastoupení automatizace a digitalizace vede ke zvýšenému využívání softwaru, ne vždy jsou tyto programové prostředky k dispozici, nebo i když jsou, jejich použití či nasazení je mnohdy limitující a vyžaduje úpravu či specifické řešení.

V habilitační práci je uveden popis řešených projektů od jejich vzniku až po realizaci. Habilitační obor „Řízení strojů a procesů“ se zabývá teoretickými a praktickými aspekty řízení strojů a procesů. Zahrnuje širokou škálu témat, jako je matematické modelování, řízení, automatizaci, nebo optimalizace. Souvztažnost této oblasti, s tématy řešenými a popsány v habilitační práci, je prokazatelná.

V kapitole 1 byla popsána příprava technologie pro výrobu nových materiálových výrobků použitelných v oblasti elektromagnetické kompatibility. By zde představen návrh softwaru pro zpracování naměřených dat, reflektance a transmitance v závislosti na frekvenci, konkrétního vrstevnatého systému s cílem získat odhad parametrů komplexní permitivity v mikrovlnné oblasti elektromagnetického spektra s postačující nejistotou měření. Předností této metody je to, že umožňuje analyzovat vrstevnaté systémy a zejména tenké povlaky. Pro úlohu optimalizace parametrů vyvíjených vrstevnatých radioabsorpčních materiálů byl implementován

algoritmus SOMA. Článek, A[5], který byl na toto téma publikován v roce 2015 v zahraničním impaktovaném časopise, byl 11x citován (WOS).

Kapitola 2 se zabývala návrhem automatizované kontroly rentgenových snímků při výrobě palivových nádrží, byl zde popsán návrh a implementace softwarového nástroje do již existující výrobní linky v průmyslovém prostředí automotive. Byly zde použity metody číslicového zpracování obrazů a zajištěna komunikace se stávajícím hardwarovým vybavením dané linky. Automatizace kontrolního procesu znamená pro výrobce automobilových plášťů posun v kvalitě a spolehlivosti jejich výrobků a zároveň mu pomáhá snižovat náklady na kvalifikovanou lidskou obsluhu. Vzniklý software je licencován, umožňuje výrobcům využívat tuto aplikaci v rámci svých výrobních či testovacích procesů. Software je v současnosti aktivně používán na třech výrobních linkách (1x TI, Győr, 1x TI, Stráž nad Nisou, 1x YAPP, Mladá Boleslav), což svědčí o jeho užitečnosti.

V kapitole 3 byl představen postupný návrh softwarového řešení, které v důsledku omezených technických možností, a v čase měnících se potřeb, konvergovalo k nakonec úspěšné implementaci do robotické postřikovací linky. Software umožňoval sběr, zpracování a vyhodnocení dat linky prostřednictvím řídicího PLC. Jednalo se o automatickou emulgační linku pro surové pláště různých typů, pro kterou byl řešen sběr technologických a produkčních dat. Technologická data byla využita pro účely následné optimalizace postřikovacího procesu, pro potřeby systémové údržby, čištění postřikovacích trysek, spotřeby emulgačního roztoku atp. Software umožňoval pestré zpracování a vyhodnocování produkčních dat tak, aby uživatel měl přehled o výrobě, chybových stavech apod. Navržená softwarová aplikace se osvědčila a byla následně implementována i do dalších modifikovaných postřikovacích linek do výrobního procesu ve třech konkrétních nejmenovaných firmách (tři linky v indické „Firmě A“, další modifikovaná linka v japonské „Firmě B“ a další modifikovaná linka v kazašské „Firmě C“).

V kapitole 4 byly popsány návrh a implementace softwarového nástroje pro tvorbu, úpravu a správu receptur do řídicího systému paletizační linky. Tento nástroj je nadstavbou aplikace WinCC ovládající robotickou linku. Má zcela

zásadní a důležitou funkci, kterou je 3D vizualizace paletizačního procesu včetně kontroly ochranných zón robotu a možných kolizí objektů při jejich manipulaci ve 3D prostoru. K vytvoření 3D scény obsahující 3D modely částí palet, tyčí, plášťů a částí úchopové hlavy robotu byly využity pouze základní geometrické tvary – kvádr a válec. V případě jedné specifické části úchopové hlavy robotu to byl 3D trapezoid. Ve všech případech byly 3D modely vytvořené tak, aby byly maximálně zjednodušené, ale zároveň si zachovaly důležité vlastnosti související s kontrolou kolizí. Uvedenou kontrolou samotný robot nedisponuje a z hlediska paletizačního procesu nebylo ani žádoucí, aby tato kontrola byla na úrovni PLC. Proto vznikl požadavek na implementaci této kontroly v rámci vytvořeného softwarového nástroje. Zavedení robotické paletizační linky bylo úspěšným doplněním existujícího systému. Tato linka nyní umožňuje rychlé, bezpečné a efektivní vyskladňování různých typů plášťů dle různých paletizačních vzorů.

V této práci byly shrnuty řešené problémy z prostředí průmyslové výroby, které autor řešil zpravidla tvorbou a implementací programovacích postupů, a to v rámci smluvního výzkumu nebo jako projektovou činnost. Dosažené výsledky se ve všech případech ukázaly býti inženýrsky přínosné a jsou v praxi aktivně používané.

S průběžným rozvojem a neustále rostoucí složitostí průmyslových automatizačních procesů nabývá oblast tvůrčích aspektů informatiky a programování stále většího významu. Tyto aspekty jsou nezbytné pro efektivní fungování hardwarových systémů, a proto jsou nedílnou součástí moderní průmyslové automatizace.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1]	LININGER, Andrew; HINCZEWSKI, Michael; STRANGI, Giuseppe. General inverse design of layered thin-film materials with convolutional neural networks. <i>ACS Photonics</i> , 2021, 8.12: 3641-3650.
[2]	MOLESKY, Sean; LIN, Zin; PIGGOTT, Alexander Y.; JIN, Weiliang; VUCKOVIĆ, Jelena et al. Inverse design in nanophotonics. Online. <i>Nature Photonics</i> . 2018, roč. 12, č. 11, s. 659-670. ISSN 1749-4885. Dostupné z: <a href="https://doi.org/10.1038/s41566-018-0246-9">https://doi.org/10.1038/s41566-018-0246-9</a> . [cit. 2023-12-02].
[3]	GAJDOŠÍK, Libor. Základy teorie elektromagnetického pole: Maxwellovy rovnice a jejich použití. Brno: MSD, 2023. ISBN 978-80-7392-410-2.
[4]	MAYER, Daniel. Teorie elektromagnetického pole. 3. vyd.-přepřac. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2001. ISBN 80-7082-826-9.
[5]	Le Système international d'unités (SI) – The International System of Units (SI) [online]. Bureau international des poids et mesures [cit. 2023-12-01].
[6]	LI, Fangxin, Yangong ZHENG, Changzhou HUA a Jiawen JIAN. Gas Sensing by Microwave Transduction: Review of Progress and Challenges. <i>Frontiers in Materials</i> [online]. 2019, 2019-5-3, 6 [cit. 2023-12-05]. ISSN 2296-8016. Dostupné z: doi:10.3389/fmats.2019.00101
[7]	D. H. STAELIN, A. W. MORGENTHALER and J.A. KONG, <i>Electromagnetic Waves</i> , Prentice-Hall International Inc, 1994. ISBN 9780132258715
[8]	BORN, M., WOLF, E., BHATIA, A. B. (2000). <i>Principles of Optics: Electromagnetic Theory of Propagation, Interference and Diffraction of Light</i> . Velká Británie: Cambridge University Press.
[9]	CHEN L. F. <i>Microwave electronics: measurement and materials characterization</i> . Chichester: John Wiley & Sons, 2004. ISBN 0-470-84492-2.
[10]	J. PITARCH, M. CONTELLES-CERVERA, F. L. PEÑARANDA-FOIX and J. M. CATALÁ-CIVERA, Determination of the permittivity and permeability for waveguides partially loaded with isotropic samples, <i>Measurement Science and Technology</i> , vol. 17, issue 1, s. 145-152, 2005.

[11]	U. KAATZE and Y. FELDMAN, Broadband dielectric spectrometry of liquids and biosystems, Measurement Science and Technology, vol. 17, issue 2, R17-R35, 2005.
[12]	P. QUEFELEC, S.MALLEGOL and M. LEFLOC'H, Automatic measurement of complex tensorial permeability of magnetized materials in a wide microwave frequency range. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 50, issue 9, s. 2128-2134, 2002.
[13]	S.MALLEGOL, P. QUEFELEC, M. LEFLOC'H and P. GELIN, Theoretical and experimental determination of the permeability tensor components of magnetized ferrites at microwave frequencies. IEEE Transactions on Magnetics, vol. 39, issue 4, s. 2003-2008, 2003.
[14]	X. SHAN, Z. SHEN AND T. TSUNO, Wide-band measurement of complex permittivity using an overmoded circular cavity, Measurement Science and Technology, vol. 19, issue 2, 2008.
[15]	C. D. EASTON, M. V. JACOB and J. KRUPKA, Non-destructive complex permittivity measurement of low permittivity thin film materials, Measurement Science and Technology, vol. 18, issue 9, s. 2869-2877, 2007.
[16]	M. PAULI, T. KAYSE and W. WIESBECK, A versatile measurement system for the determination of dielectric parameters of various materials, Measurement Science and Technology, vol. 18, issue 4, s. 1046-1053, 2007.
[17]	A. R. Von HIPPEL. Dielectric Materials and Applications (New ed.), MIT Press, Cambridge, Mass, New York (Originally published, New York: Wiley, 1954), 1995.
[18]	A. R. Von HIPPEL. Dielectrics and Waves (New ed.), MIT Press, Cambridge, Mass, New York (Originally published, New York: Wiley, 1954), 1955.
[19]	J. KRUPKA, Frequency domain complex permittivity measurements at microwave frequencies, Measurement Science and Technology, vol. 17, issue 6, R55-R70, 2006.
[20]	S. TRABELSI and S. O. NELSON, Free-space measurement of dielectric properties of cereal grain and oilseed at microwave frequencies. Measurement Science and Technology, vol. 14, issue 5, s. 589-600, 2003.
[21]	D. K. GHODGAONKAR, V. V. VARADAN and V. K. VARADAN, Free-space measurement of complex permittivity and complex permeability of magnetic materials at microwave

	frequencies, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 39, issue 2, s. 387-394, 1990.
[22]	C. K. CAMPBELL, Free-Space Permittivity Measurements on Dielectric Materials at Millimeter Wavelengths, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 27, issue 1, s. 54-58, 1978.
[23]	T. ZWICK, J. HAALA and W. WIESBECK, A evolutionary algorithm for the evaluation of material parameters of compound multilayered structures, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 50, issue 4, s. 1180-1187, 2002.
[24]	WAIT, James R. Electromagnetic waves in stratified media: Revised edition including supplemented material. Elsevier, 2013.
[25]	PERINI, J., & COHEN, L. (1993). Design of broad-band radar-absorbing materials for large angles of incidence. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 35, 223-230.
[26]	TOMÁŠEK, Pavel. Řešení inverzního problému odhadu permittivity materiálu ve volném prostoru. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2020, 34 s. ISBN 978-80-7454-929-8. Dostupné také z: <a href="http://hdl.handle.net/10563/45921">http://hdl.handle.net/10563/45921</a> . Dizertační práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky, Ústav informatiky a umělé inteligence.
[27]	D. H. STAELIN, etc., A. W. MORGENTHALER, and J. AU KONG, Electromagnetic Waves. London, England: Prentice-Hall, 1993.
[28]	VOLNÁ, Eva. Evoluční algoritmy a neuronové sítě [online]. Ostrava, 2012 [cit. 2023-09-09]. Dostupné z: <a href="https://web.osu.cz/~Volna/Evolucni_algoritmy_a_neuronove_site.pdf">https://web.osu.cz/~Volna/Evolucni_algoritmy_a_neuronove_site.pdf</a>
[29]	SIVANANDAM, S. N. a DEEPA, S. N. Introduction to genetic algorithms. Berlin: Springer, c2008. ISBN 978-3-540-73189-4.
[30]	Swarm intelligence algorithms: a tutorial. Editor Adam SLOWIK. Boca Raton: CRC Press, 2020. ISBN 978-0-367-49614-2.
[31]	HORST, Reiner. Global optimization. 2nd, revised ed. Berlin: Springer-Verlag, 1993. ISBN 3-540-56094-7.
[32]	PARDALOS, P. M. a ROMEIJN, H. Edwin. Handbook of global optimization. Nonconvex optimization and its applications. Boston: Kluwer Academic Publishers, [2002]. ISBN 1-4020-0632-2.

[33]	ZELINKA, Ivan. Umělá inteligence: v problémech globální optimalizace. Praha: BEN - technická literatura, 2002. ISBN 80-7300-069-5.
[34]	ZELINKA, I. (2004). SOMA — Self-Organizing Migrating Algorithm. In: New Optimization Techniques in Engineering. Studies in Fuzziness and Soft Computing, vol 141. Springer, Berlin, Heidelberg. <a href="https://doi.org/10.1007/978-3-540-39930-8_7">https://doi.org/10.1007/978-3-540-39930-8_7</a>
[35]	ZELINKA, Ivan. Evoluční výpočetní techniky: principy a aplikace. Praha: BEN, 2009. ISBN 80-7300-218-3.
[36]	NIXON, M., & AGUADO, A. S. (2019). Feature extraction and image processing for computer vision (4th ed.). Academic Press.
[37]	JAN, Jiří. Číslicová filtrace, analýza a restaurace signálů. Brno: Vysoké učení technické, 1997. ISBN 80-214-0816-2.
[38]	SMĚKAL, Zdeněk. Systémy a signály: 1D a 2D diskrétní a číslicové zpracování. Praha: Sdělovací technika, 2013. ISBN 978-80-86645-23-0.
[39]	DAVÍDEK, Vratislav a SOVKA, Pavel. Číslicové zpracování signálů a implementace. Vyd. 2. přeprac. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. ISBN 80-01-02483-0.
[40]	SOBOTKA, Zdeněk. Systémy pro číslicové zpracování obrazu: studijní texty. Praha: Dům techniky ČSVTS, 1988.
[41]	UHLÍŘ, Jan a SOVKA, Pavel. Číslicové zpracování signálů. Praha: České vysoké učení technické, 1995. ISBN 80-01-01303-0.
[42]	KOZUMPLÍK, Jiří; KOLÁŘ, Radim a JAN, Jiří. Číslicové zpracování signálů v prostředí Matlab. Brno: Vysoké učení technické, 2001. ISBN 80-214-1964-4.
[43]	LEBEL, Philippe; GJK algorithm distance of closest points in 3D ( <a href="https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/62429-gjk-algorithm-distance-of-closest-points-in-3d">https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/62429-gjk-algorithm-distance-of-closest-points-in-3d</a> ), MATLAB Central File Exchange. Retrieved December 1, 2023.

[44]	E. G. GILBERT, D.W. JOHNSON a S.S. KEERTHI, Fast procedure for computing the distance between complex objects in three-dimensional space, IEEE Journal of Robotics and Automaton 4 (1988), 193–203.
[45]	TROELSEN, Andrew W. a JAPIKSE, Philip. Pro C# 9 with .NET 5: foundational principles and practices in programming. Tenth edition. New York, NY: Apress, [2021]. ISBN 978-1-4842-6938-1.
[46]	YUEN, S. (2020). Mastering Windows Presentation Foundation: Build responsive UIs for desktop applications with WPF, 2nd Edition (2nd ed.). Packt Publishing.

# VYBRANÉ PUBLIKAČNÍ AKTIVITY AUTORA

## Monografie

- A[1] NAVRÁTIL, Milan (100). MATHEMATICAL MODELLING AND DIAGNOSTICS OF POLYMER COMPOSITES Basics, Concepts, Methods. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2010. Print. ISBN 978-3838352305.

## Články v časopisech indexované v databázích WoS nebo Scopus

- A[2] MANAS, David (5), Ales MIZERA (25), Milan NAVRÁTIL (20), Miroslav MANAS (10), Martin OVSÍK (10), Stanislav SEHNALEK (10) a Pavel STOKLASEK (20). The Electrical, Mechanical and Surface Properties of Thermoplastic Polyester Elastomer Modified by Electron Beta Radiation. *Polymers* [online]. 2018, 10(10) [cit. 2021-12-08]. ISSN 2073-4360. Dostupné z: doi:10.3390/polym10101057
- A[3] BEDNARIK, Martin (45), Ales MIZERA (25), Miroslav MANAS (5), Milan NAVRÁTIL (5), Jakub HUBA (5), Eva ACHBERGEROVA (10) a Pavel STOKLASEK (5). Influence of the  $\beta$ - Radiation/Cold Atmospheric-Pressure Plasma Surface Modification on the Adhesive Bonding of Polyolefins. *Materials* [online]. 2021, 14(1) [cit. 2021-12-08]. ISSN 1996-1944. Dostupné z: doi:10.3390/ma14010076
- A[4] KUPEC, Jan (30), Kateřina CHARVÁTOVÁ (5), Milan NAVRÁTIL (30), Vojtěch KŘESÁLEK (30) a Martina KŘESÁLKOVÁ (5). Effect of Cross-Linking Waste Protein with Dialdehydes on Its Biodegradation under Anaerobic Conditions. *Journal of Polymers and the Environment* [online]. 2003, vol. 11, iss. 3, s. 93-100. [cit. 2021-12-08]. ISSN 1566-2543. Dostupné z: <http://www.springerlink.com/content/q63182t701077514/>.
- A[5] KŘESÁLEK, Vojtěch (50) a Milan NAVRÁTIL (50). Estimation of complex permittivity using evolutionary algorithm

from measured data of reflectance and transmittance in free space. *Microwave and Optical Technology Letters* [online]. 2015, 57(7), 1542-1546 [cit. 2021-12-08]. ISSN 08952477. Dostupné z: doi:10.1002/mop.29135

### **Národní patent**

- A[6] MAŇAS, M. (20), STOKLÁSEK, P. (20), MIZERA, A. (20), NAVRÁTIL, M. (20) a M. POSPÍŠILÍK (20). Způsob synchronního snímání a vyhodnocování průběhu deformací a doprovodných teplotních jevů při destruktivních rázových zkouškách a zařízení k provádění tohoto způsobu. Česká republika. CZ 309 697 Národní patent. Uděleno 21. 6. 2023.
- A[7] KŘESÁLEK, Vojtěch (50) a NAVRÁTIL, Milan (50). Způsob vytváření tónů na základě snímané polohy těles v prostoru. Česká republika. CZ 309 241 Národní patent. Uděleno 5. 5. 2022.

### **Články ve sborníku evidovaném v databázi WoS nebo Scopus**

- A[8] POSPÍŠILÍK, Martin(80), NAVRÁTIL, Milan(10), ADÁMEK, Milan(10). Distortion caused by controlling transistor implemented in the voltage controlled amplifier. In: 13th International Conference ELEKTRO 2020, ELEKTRO 2020 - Proceedings. Piscataway, New Jersey : Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2020, s. 1-6. ISBN 978-172817542-3.
- A[9] POSPÍŠILÍK, Martin(85), DULÍK, Tomáš(5), NAVRÁTIL, Milan(5), MACH, Václav(5). Implementation of low pass filters with real opamps: Where is the limit?. In: Annals of DAAAM and Proceedings of the International DAAAM Symposium. Vídeň : Danube Adria Association for Automation and Manufacturing ( DAAAM ), 2019, s. 248-253. ISSN 17269679.

- A[10] NEUMANN, Petr(50), NAVRÁTIL, Milan(30), POSPÍŠILÍK, Martin(5), KŘESÁLEK, Vojtěch(10), ADÁMEK, Milan(5). The electronic component authenticity verification. In: Journal of Physics: Conference Series. Bristol : Institute of Physics Publishing Ltd., 2018, s. nestránkovo. ISSN 1742-6588.
- A[11] NAVRÁTIL, Milan(60), NEUMANN, Petr(30), KŘESÁLEK, Vojtěch(10). Advanced microscopic techniques used for integrated circuits authenticity analysis. In: Journal of Physics: Conference Series. Bristol : Institute of Physics Publishing Ltd., 2018, s. nestránkovo. ISSN 1742-6588.
- A[12] MIZERA, Aleš(80), MIZERA, Martin(5), NAVRÁTIL, Milan(15), ŠANDA Štěpán, OPOČENSKÝ, Michal. The multiaxial behavior of filled polypropylene parts by drop-weight impact test. In: MATEC Web of Conferences. Les Ulis : EDP Sciences, 2018, s. nestránkovo. ISSN 2261-236X.
- A[13] STOKLÁSEK, Pavel(80), NAVRÁTIL, Milan(10), BEDNAŘÍK, Martin(10), HUDEC, Ivan, PETRŽELKA, Daniel. Flexural behaviour of ABS 3D printed parts on professional printer Stratasys Fortus 900mc. In: MATEC Web of Conferences. Les Ulis : EDP Sciences, 2018, s. nestránkovo. ISSN 2261-236X.
- A[14] NAVRÁTIL, Milan(95), POLÁŠEK, Jaromír(5). Designing An Application To Optimize The Calibration Of Output Devices In A Digital Print Environment. POLÁŠEK, Jaromír. In: Annals of DAAAM International 2017, Volume 28. Vienna : DAAAM International Vienna, 2017, s. 244-252. ISSN 2304-1382. ISBN 978-3-902734-14-3.
- A[15] KUDĚLKA, Josef(45), MARTÍNEK, Tomáš(45), NAVRÁTIL, Milan(5), KŘESÁLEK, Vojtěch(5). The effect of scratching direction in AFM nanolithography. In: SEVENTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION

SCIENCE AND TECHNOLOGY (ICIST2017). New York : IEEE, 2017, s. 331-334. ISBN 978-1-5090-5400-8

- A[16] MARTÍNEK, Tomáš(45), KUDĚLKA, Josef(45), NAVRÁTIL, Milan(5), KŘESÁLEK, Vojtěch(5). Scanning system for ballistic analysis. Automation Control Theory Perspectives in Intelligent Systems: In: Proceedings of the 5th computer science on-line conference 2016. Vol. 3. Heidelberg : Springer-Verlag Berlin, 2016, s. 175-181. ISSN 2194-5357. ISBN 978-3-319-33387-8.
- A[17] KUDĚLKA, Josef(45), MARTÍNEK, Tomáš(45), NAVRÁTIL, Milan(5), KŘESÁLEK, Vojtěch(5). Nano-steganography using atomic force microscopy. In:16st International Conference on Nanotechnology. Sendai, Japonsko : IEEE, 2016, s. 157-159. ISBN 978-1-5090-3914-2.
- A[18] KUDĚLKA, Josef(45), MARTÍNEK, Tomáš(45), NAVRÁTIL, Milan(5), KŘESÁLEK, Vojtěch(5). The effect of tip speed in AFM scratching. In: Information and Digital Technologies 2016. Rzeszow, Polsko : IEEE, 2016, s. 160-163.
- A[19] KUDĚLKA, Josef(45), MARTÍNEK, Tomáš(45), NAVRÁTIL, Milan(5), KŘESÁLEK, Vojtěch(5). Quality control in microelectronics using scanning probe microscopy. In:21st International Conference on Microwave, Radar and Wireless Communications (MIKON). Krakov, Polsko : IEEE, 2016, s. 1-4. ISBN 978-1-5090-2214-4
- A[20] MARTÍNEK, Tomáš(45), KUDĚLKA, Josef(45), NAVRÁTIL, Milan(5), KŘESÁLEK, Vojtěch(5). Characterization of epitaxial layers using scanning microwave microscopy. In: Annals of DAAAM International for 2015, Volume 26. Vienna : DAAAM International Vienna, 2015, s. 1-6. ISSN 2304-1382. ISBN 978-3-902734-06-8.

- A[21] NAVRÁTIL, Milan(95), ZDRAŽIL, Jakub(5). Automatic Contactless Measurement of Tyre Circumference in Industrial Conditions. In: Procedia Engineering. Amsterdam : Elsevier BV, 2015, s. 408-417. ISSN 1877-7058.
- A[22] NAVRÁTIL, Milan(50)KŘESÁLEK, Vojtěch(50). Device design based on automatic colour measurement used for polymer waste recycling. In: 20th International conference on Process control '15. Piscataway : IEEE Operations Center, 2015, s. 107-112. ISBN 978-1-4673-6626-7.
- A[23] MARTÍNEK, Tomáš(41), KUDĚLKA, Josef(34), NAVRÁTIL, Milan(5), KŘESÁLEK, Vojtěch(5), FEJFAR, Antonín(5), HÝVL, Matěj(5), SOBOTA, Jaroslav(5). Nanoscale Characterization of Ultra-thin Tungsten Films Deposited by Radio-Frequency Magnetron Sputtering. In: IEEE Nano 2015 Proceedings. Řím : IEEE, 2015, s. 75. ISBN 978-1-4673-8156-7.
- A[24] NAVRÁTIL, Milan(50), KŘESÁLEK, Vojtěch(30), KUDĚLKA, Josef(10), MARTÍNEK, Tomáš(10). Design of Scanning System for Mechanoscopic Analysis. In: Annals of DAAAM International for 2015, Volume 26. Vienna : DAAAM International Vienna, 2015, s. n. ISSN 2304-1382. ISBN 978-3-902734-06-8.
- A[25] NAVRÁTIL, Milan(60), KŘESÁLEK, Vojtěch(30), DOSTÁLEK, Petr(10). Neural network classification of gunshots using spectral characteristics. In: Recent Researches in Automatic Control. Montreux : WSEAS Press, 2011, s. 262-267. ISBN 978-1-61804-004-6.
- A[26] NAVRÁTIL, Milan(60), KŘESÁLEK, Vojtěch(40). Measurement of very small electrical capacity changes using bridge method. In: Annals of DAAAM for 2011 & Proceedings of the 22nd International DAAAM Symposium "Intelligent Manufacturing & Automation: Power of Knowledge and

Creativity". Vienna : DAAAM International Vienna, 2011, s. 0427-0428. ISSN 1726-9679. ISBN 978-3-901509-83-4.

- A[27] PÁLKA, Jan(10), PÁLKA, Jiří(45), NAVRÁTIL, Milan(45). OCR systems in language specific environments. In: Recent Researches in Automatic Control. Montreux : WSEAS Press, 2011, s. 167-170. ISBN 978-1-61804-004-6.
- A[28] NAVRÁTIL, Milan(100). Program for static and dynamic analysis of the cross-linking system. In: Proceedings of the 21st International DAAAM Symposium "Intelligent Manufacturing & Automation: Focus on Interdisciplinary Solutions". Vienna : DAAAM International Vienna, 2010, s. 0565-0566. ISBN 978-3-901509-73-5.
- A[29] NAVRÁTIL, Milan(60), DOSTÁLEK, Petr(20), KŘESÁLEK, Vojtěch(20). Classification of Audio Sources Using Neural Network Applicable in Security or Military Industry. In: Proceedings 44th Annual 2010 IEEE International Carnahan Conference on Security Technology. Piscataway : IEEE Operations Center, 2010, s. 369-374. ISBN 978-1-4244-7400-4.
- A[30] NAVRÁTIL, Milan(100). Using of dielectric spectroscopy method for diagnostics of cross-linking reaction course. In: Proceedings of the 20th International DAAAM Symposium Intelligent Manufacturing and Automation: Focus on Theory, Practice and Education. Vienna : DAAAM International Vienna, 2009, s. 1181-1182. ISSN 1726-9679.
- A[31] DOSTÁLEK, Petr(60), VAŠEK, Vladimír(15), KŘESÁLEK, Vojtěch(15), NAVRÁTIL, Milan(10). Utilization of Audio Source Localization in Security Systems. In: Proceedings 43rd Annual 2009 International Carnahan Conference on Security Technology. New Jersey : IEEE - Inst Electrical Electronics Engineers Inc., 2009, s. 305-311. ISBN 978-1-4244-4169-3.

- A[32] NAVRÁTIL, Milan(50), KŘESÁLEK, Vojtěch(40), SLUŠTÍK, Radek(5), PÁLKA, Jan(5). Measurement of very small changes of object position using speckle correlation method. In: Proceedings of the 13th WSEAS International Conference on Computers. Rhodes : WSEAS Press (GR), 2009, s. 576-578. ISBN 978-960-474-099-4.
- A[33] NAVRÁTIL, Milan (60) a Vojtěch KŘESÁLEK (40). New measuring methods for monitoring of collagen crosslinking reaction with glutaraldehyde. In: Annals of DAAAM and Proceedings of the International DAAAM Symposium. Danube Adria Association for Automation and Manufacturing, DAAAM, 2005, s. 256-266. ISBN 3901509461. ISSN 17269679.

### **Články v neindexovaných vědeckých časopisech**

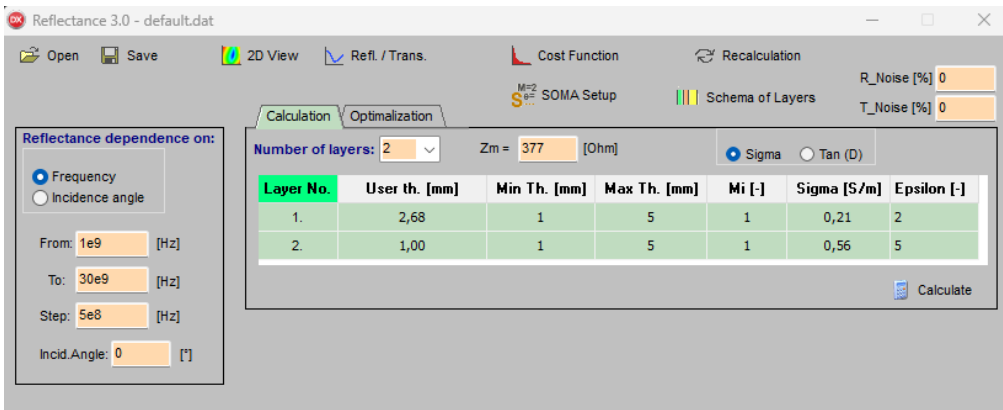
- A[34] NAVRÁTIL, Milan(33), KŘESÁLEK, Vojtěch(15), HRUŠKA, František(5), MARTÍNEK, Tomáš(21), KUDĚLKA, Josef(21), SOBOTA, Jaroslav(5). Diagnostics of ultra-thin tungsten films on silicon substrate using atomic force microscopy. International Journal of Materials, 2014, roč. 2014, č. 1, s. 142-148. ISSN 2313-0555.
- A[35] NAVRÁTIL, Milan(50), KŘESÁLEK, Vojtěch(40), KOUTECKÝ, Adam(5), MALÁNÍK, Zdeněk(5). Microscopy Techniques for Topography Image Acquisition of Marks on Cartridge Cases. Sensors & Transducers, 2016, roč. Vol. 11, č. Issue 206, s. 43-51. ISSN 2306-8515
- A[36] HRUŠKA, František(90), NAVRÁTIL, Milan(5), OTÁHAL, Jiří(5). Signal condition of embedded unit inputs. Latest Trends on Systems. Volume II. Rhodes : Europment, 2014, s. 462-466. ISSN 1790-5117. ISBN 978-1-61804-244-6

- A[37] PÁLKA, Jan(10), PÁLKA, Jiří(45), NAVRÁTIL, Milan(45). OCR systems based on convolution neocognitron network. International Journal of Mathematical Models and Methods in Applied Science, 2011, roč. 5, č. 7, s. 1257-1264. ISSN 1998-0140.
- A[38] NAVRÁTIL, Milan(34), KOLOMAZNÍK, Karel(33), KŘESÁLEK, Vojtěch(33). Approach to mathematical model of the cross-linking reaction of polymer composite. AT&P journal Plus, 2007, č. 2, s. 21-23. ISSN 1336-5010
- A[39] POSPÍŠILÍK, Martin(80) , NEUMANN, Petr(10) , NAVRÁTIL, Milan(10). Reálné vlastnosti kondenzátorů pro konstrukci filtrů rušivých napětí. Jemná mechanika a optika, 2020, roč. 65, č. 7-8, s. 207-209. ISSN 0447-6441.
- A[40] KOVÁŘ, Stanislav(90) , NAVRÁTIL, Milan(5) , POSPÍŠILÍK, Martin(5). Vizualizace elektrického pole v GTEM cele. Jemná mechanika a optika, 2020, roč. 2020, č. 7-8, s. 197-199. ISSN 0447-6441.
- A[41] NEUMANN, Petr(50) , NAVRÁTIL, Milan(50). Rizika a prevence použití nepůvodních polovodičových součástek. Jemná mechanika a optika, 2017, roč. 62, č. 3/2017, s. 87-90. ISSN 0447-6441
- A[42] NEUMANN, Petr(50) , NAVRÁTIL, Milan(50). Nepůvodní elektronické součástky – rok sedmý. DPS elektronika od A do Z, 2017, roč. 8, č. 6, s. 76-79. ISSN 1805-5044
- A[43] NEUMANN, Petr(55), NAVRÁTIL, Milan(40), HOUSER, Josef(5). Nepůvodní elektronické součástky – rok šestý. DPS elektronika od A do Z, 2016, roč. 7, č. 6, s. 50-53. ISSN 1805-5044.
- A[44] MARTÍNEK, Tomáš(37.5), KUDĚLKA, Josef(37.5), NAVRÁTIL, Milan(5), KŘESÁLEK, Vojtěch(5), FOŘT, Tomáš(15). Characterization of ultra-thin tungsten layers.

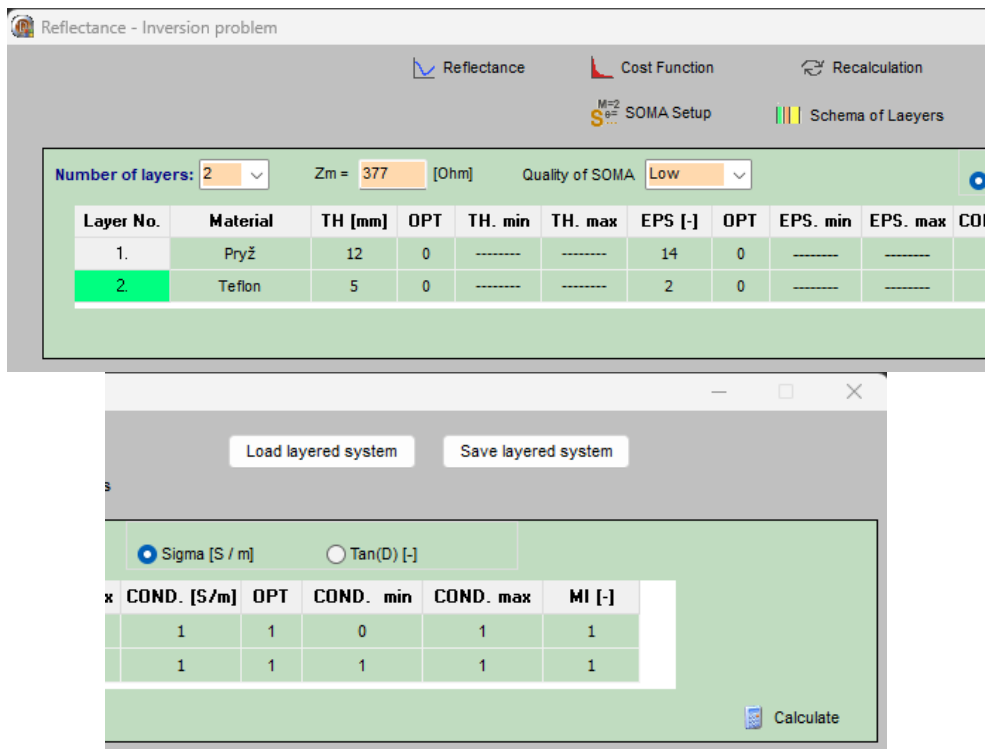
International Journal of Applied Engineering Research, 2016, roč. 11, č. 11, s. 7523-7525. ISSN 0973-4562.

- A[45] NAVRÁTIL, Milan(50), KŘESÁLEK, Vojtěch(45), BOTEK, Martin. Využití digitální kamery pro měření změn barevnosti během výroby polymerního regranulátu. Jemná mechanika a optika, 2015, roč. 2015, č. 9, s. 251-255. ISSN 0447-6441.
- A[46] KUDĚLKA, Josef(37), KŘESÁLEK, Vojtěch(11), MARTÍNEK, Tomáš(37), NAVRÁTIL, Milan(15). Zobrazení magnetického záznamu v IT pomocí mikroskopie magnetických sil. Jemná mechanika a optika, 2014, roč. 59, č. 10/2014, s. 271-272. ISSN 0447-6441
- A[47] NAVRÁTIL, Milan(25), KŘESÁLEK, Vojtěch(25), KUDĚLKA, Josef(25), MARTÍNEK, Tomáš(25). Zobrazení polovodičových struktur metodou mikrovlnné skenovací mikroskopie. Jemná mechanika a optika, 2014, roč. 59, č. 1, s. 22-23. ISSN 0447-6441
- A[48] KŘESÁLEK, Vojtěch(40), NAVRÁTIL, Milan(40), IVANKA, Ján(10), KOŠINA, Tomáš(10). Vizualizace blízkých elektromagnetických polí elektronických systémů. Jemná mechanika a optika, 2008, roč. 53, č. 5, s. 143-145. ISSN 0447-6441

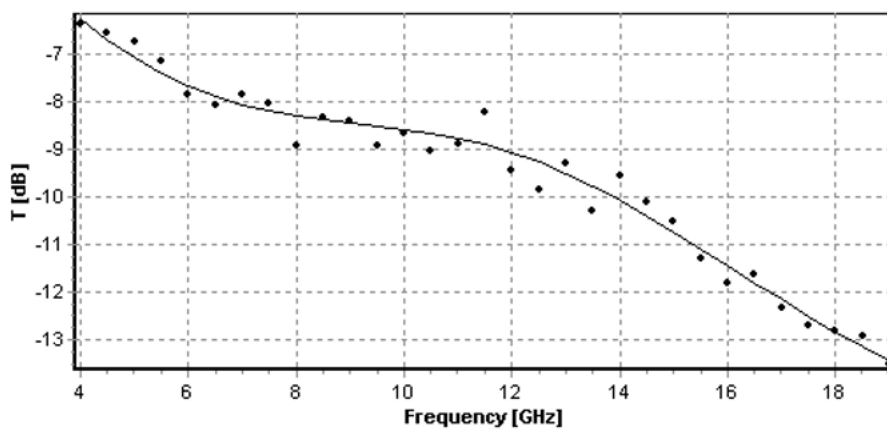
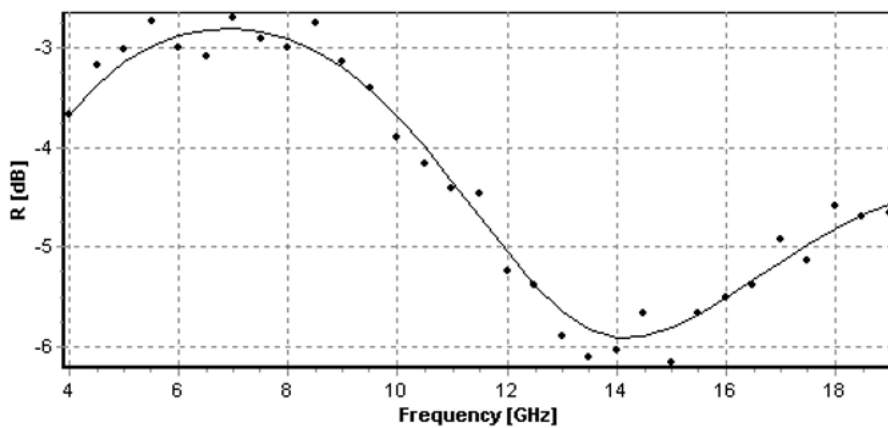
# PŘÍLOHA I



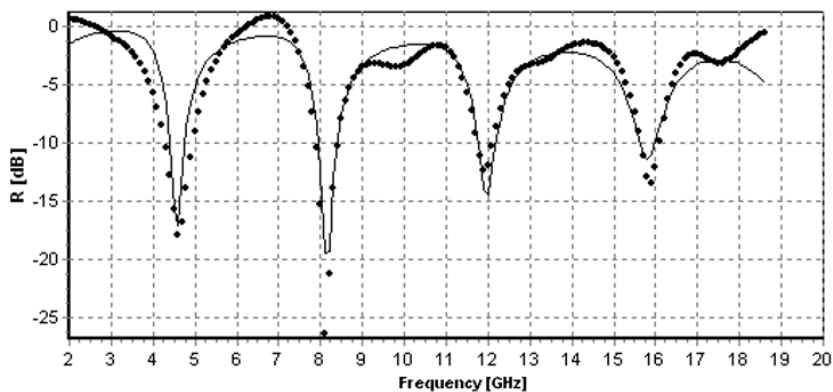
Obrázek 1.1: Grafické prostředí aplikace pro modelování vícevrstevných systémů (zdroj: archiv autora).



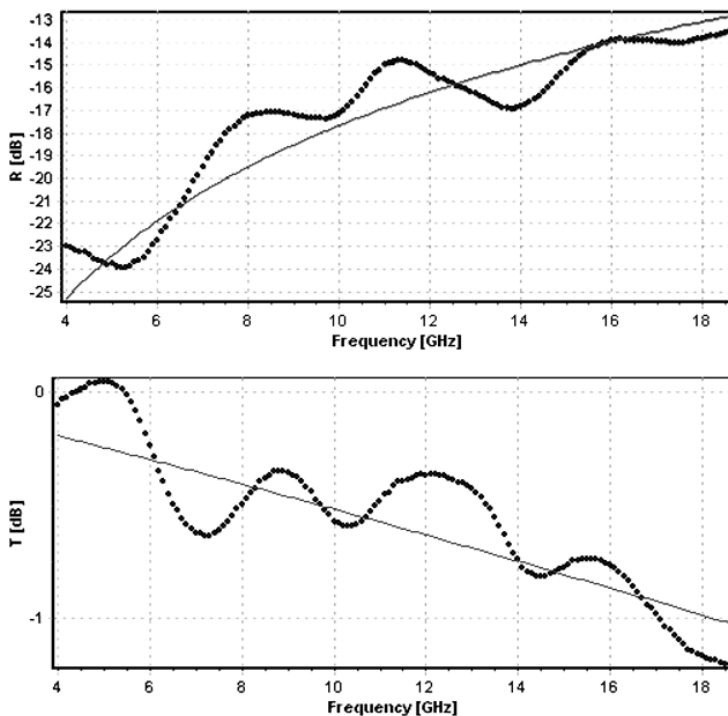
Obrázek 1.2: Část hlavního okna aplikace (zdroj: archiv autora).



Obrázek 1.3: Simulovaná závislost reflektance a transmittance na frekvenci u zkušebního materiálu zatížená šumem (znázorněno body) a zpětně vypočítané závislosti z odhadnutých parametrů  $\epsilon_r = 10,9$ ;  $\tan(\delta) = 0,60$  (zdroj: archiv autora).



Obrázek 1.4: Závislost reflektance na frekvenci, kde naměřená data jsou znázorněna body, spojitá křivka představuje vypočítanou závislost na základě řešení inverzní úlohy (zdroj: archiv autora).



Obrázek 1.5: Vzorek s obsahem 0,2 % hm. MWNCT – naměřené hodnoty reflektance a transmittance (znázorněno body) a vypočítané průběhy z odhadnutých parametrů  $\epsilon_r = 7,13$ ;  $\tan(\delta) = 0,36$  (zdroj: archiv autora).

## PŘÍLOHA II



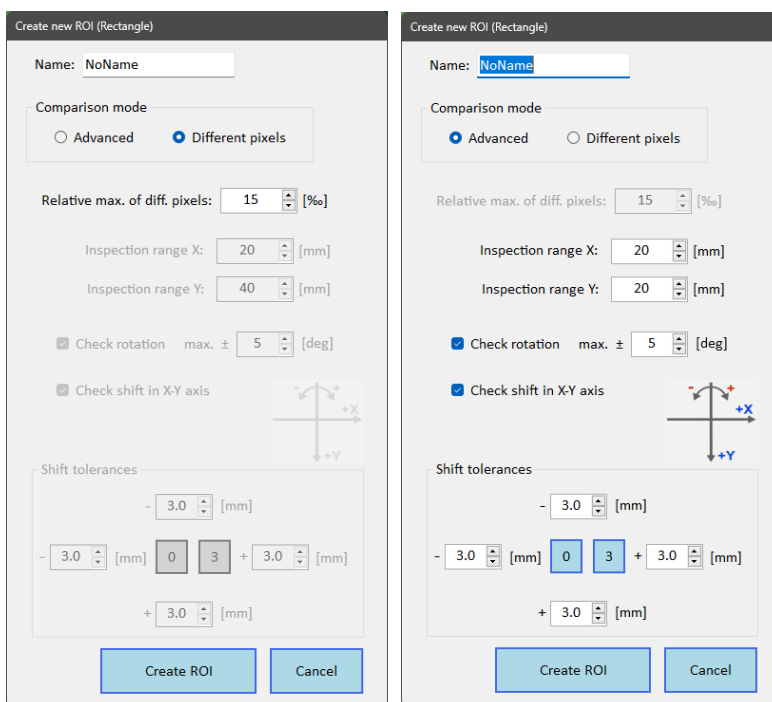
*Obrázek 2.6: Palivová nádrž v pohledu shora, vpravo kolorizovaný RTG snímek (zdroj: archiv TI Automotive).*



*Obrázek 2.7: Palivová nádrž na dopravníku před inspekcí pomocí rentgenu (zdroj: archiv fy TI Fluid Systems).*



Obrázek 2.8: Definice několika oblastí zájmu (ROI, vyznačené čárkovanou čarou) na vzorové předloze ve vertikálním pohledu (view 1) (zdroj: archiv autora).



Obrázek 2.9: Pro každý ROI lze zvolit typ vyhodnocení a dle toho dále specifikovat parametry a možnosti porovnání (zdroj: archiv autora).

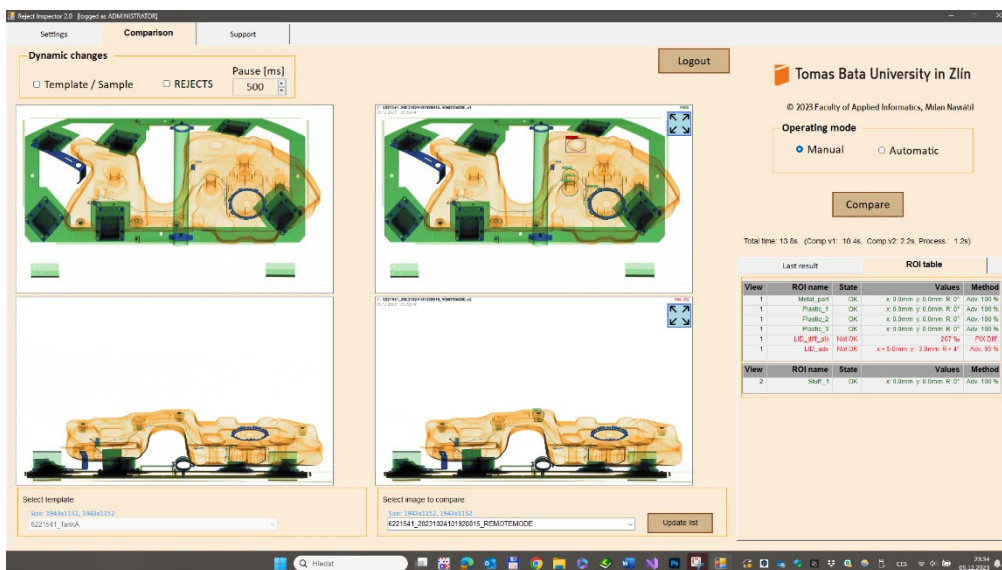
Total time: 13.8s (Comp.v1: 10.4s, Comp.v2: 2.2s, Process.: 1.2s)

Last result			ROI table		
View	ROI name	State	Values		Method
1	Metal_part	OK	x: 0.0mm	y: 0.0mm R: 0°	Adv. 100 %
1	Plastic_1	OK	x: 0.0mm	y: 0.0mm R: 0°	Adv. 100 %
1	Plastic_2	OK	x: 0.0mm	y: 0.0mm R: 0°	Adv. 100 %
1	Plastic_3	OK	x: 0.0mm	y: 0.0mm R: 0°	Adv. 100 %
1	LID_diff_pix	Not OK			207 ‰ PIX Diff.
1	LID_adv	Not OK	x:+ 5.0mm	y:- 3.0mm R:+ 4°	Adv. 93 %

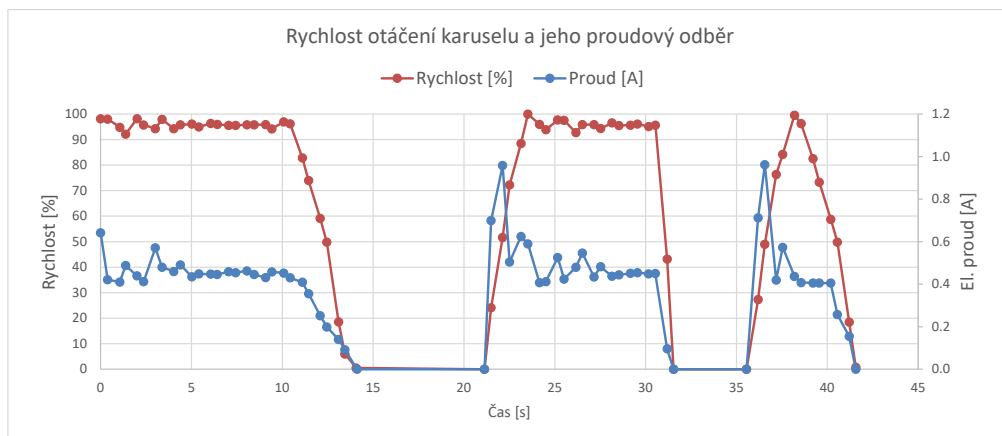
View	ROI name	State	Values		Method
2	Stuff_1	OK	x: 0.0mm	y: 0.0mm R: 0°	Adv. 100 %

Obrázek 2.10: Tabulka obsahující informace o výsledku vyhodnocení všech oblastí zájmu s uvedením použité metody a odchylkách (zdroj: archiv autora).



Obrázek 2.11: Hlavní obrazovka se zobrazenými výsledky vyhodnocení (zdroj: archiv autora).

# PŘÍLOHA III



Obrázek 3.12: Zaznamenaný průběh proudu motorem a rychlosti při otáčení karuselu (zdroj: archiv autora).

Production statistics overview (Machine: 250R)

Last 24 hours • Date interval from: 07/25/2022 to: Select a Date Total count: 5429

Recipe ID:  • All Shifts • Shift #1 • Shift #2 • Shift #3 • All Boxes • Box #1 • Box #2 Export

prozax Tomas Bata University in Zlín Faculty of Applied Informatics

Box	Carousel	Machine operation				
Recipe ID	Recipe name	Date	Start time	End time	Duration	Box
1	1. 10.00-50 EB442	07/25/2022	22:51:05	22:51:17	00:12	1
1	1. 10.00-50 EB442	07/25/2022	22:51:19	22:51:31	00:12	1
1	1. 10.00-50 EB442	07/25/2022	22:54:48	22:55:00	00:12	1
1	1. 10.00-50 EB442	07/25/2022	23:23:21	23:23:33	00:12	1
1	1. 10.00-50 EB442	07/25/2022	23:23:26	23:23:38	00:12	1
2	2. 10.00-49 EM920	07/25/2022	23:23:35	23:23:47	00:12	1
1	1. 10.00-50 EB442	07/25/2022	23:49:37	23:49:49	00:12	1
1	1. 10.00-50 EB442	07/25/2022	23:55:15	23:56:32	01:17	2
1	1. 10.00-50 EB442	07/25/2022	23:55:35	23:56:41	01:06	2
1	1. 10.00-50 EB442	07/26/2022	00:05:11	00:05:23	00:12	1
1	1. 10.00-50 EB442	07/26/2022	00:05:41	00:05:53	00:12	1
1	1. 10.00-50 EB442	07/26/2022	00:05:42	00:05:54	00:12	1
1	1. 10.00-50 EB442	07/26/2022	00:03:51	00:06:03	02:12	1
1	1. 10.00-50 EB442	07/26/2022	00:04:09	00:06:21	02:12	1
2	2. 10.00-49 EM920	07/27/2022	17:08:19	17:08:52	00:33	1
1	1. 10.00-50 EB442	07/30/2022	13:47:11	13:47:23	00:12	1
3	3. 10.00-48 EM936	07/30/2022	13:47:25	13:48:06	00:41	2
1	1. 10.00-50 EB442	07/30/2022	15:08:27	15:08:39	00:12	1

Total count: 5429 Avg. dur.: 00:00:33 21:29:32 08/21/2022

Obrázek 3.13: Okno přehledu výroby (zdroj: archiv autora).

Recipe manager (Machine: 250R)

that are valid

Check ranges
  Read only

From idx 


 To idx

Recipe idx	Name	Barcode
1	1. 10.00-20 EM936	
2	2. 10.00-20 EM936	
3	3. 10.00-20 EM936	
<b>4</b>	<b>4. 10.00-51 EM936</b>	
5	5. 10.00-20 EM936	
6	6. 10.00-20 EM936	
7	7. 10.00-20 EM936	
8	8. 10.00-20 EM936	
9	9. 10.00-20 EM936	
10	10. 10.00-20 EM936	
11	11. 10.00-20 EM936	
12	12. 10.00-20 EM936	
13	13. 10.00-20 EM936	
14	14. 10.00-20 EM936	
15	15. 10.00-20 EM936	
16	16. 10.00-20 EM936	
17	17. 10.00-20 EM936	
18	18. 10.00-20 EM936	
19	19. 10.00-20 EM936	
20	20. 10.00-20 EM936	
21	21. 10.00-20 EM936	
22	22. 10.00-20 EM936	
23	23. 10.00-20 EM936	
24	24. 10.00-20 EM936	
25	25. 10.00-20 EM936	
26	25. 10.00-20 EM936	
27	1. 10.00-20 EM936	

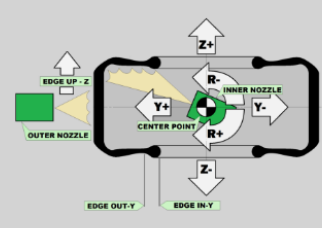
Recipe Nr.   
 Barcode   
 Name   
 Outside diameter  mm  
 Bead diameter  mm  
 Section diameter  mm  
 Height  mm

Outer point		
Horizontal	Vertical	Angle
Y1	<input type="text" value="1"/> mm	Z1 <input type="text" value="2"/> mm R1 <input type="text" value="3"/> °
Y2	<input type="text" value="8"/> mm	Z2 <input type="text" value="0"/> mm R2 <input type="text" value="0"/> °
Y3	<input type="text" value="0"/> mm	Z3 <input type="text" value="0"/> mm R3 <input type="text" value="0"/> °
Y4	<input type="text" value="0"/> mm	Z4 <input type="text" value="0"/> mm R4 <input type="text" value="0"/> °
Y5	<input type="text" value="0"/> mm	Z5 <input type="text" value="0"/> mm R5 <input type="text" value="0"/> °
Y6	<input type="text" value="0"/> mm	Z6 <input type="text" value="0"/> mm R6 <input type="text" value="0"/> °
Y7	<input type="text" value="0"/> mm	Z7 <input type="text" value="0"/> mm R7 <input type="text" value="0"/> °
Y8	<input type="text" value="0"/> mm	Z8 <input type="text" value="0"/> mm R8 <input type="text" value="0"/> °
Y9	<input type="text" value="0"/> mm	Z9 <input type="text" value="0"/> mm R9 <input type="text" value="0"/> °
Y10	<input type="text" value="0"/> mm	Z10 <input type="text" value="0"/> mm R10 <input type="text" value="0"/> °
Y11	<input type="text" value="0"/> mm	Z11 <input type="text" value="0"/> mm R11 <input type="text" value="0"/> °

Obrázek 3.14: Prohlížení a editace receptur (zdroj: archiv autora).


  
 Tomas Bata University in Zlín
   
 Faculty of Applied Informatics

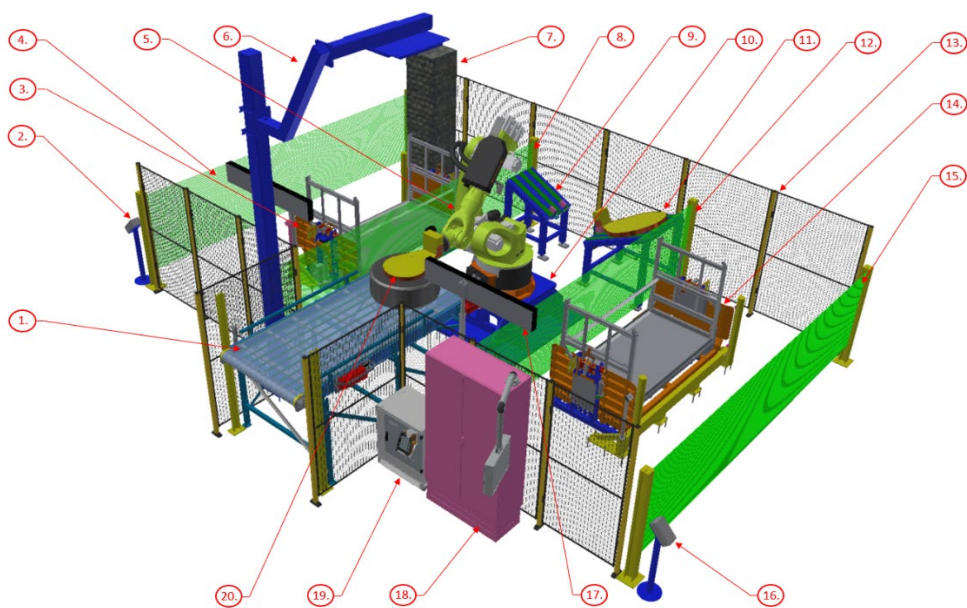
Weight  kg  
 Overlap  mm  
 Gripper force  %  
 Carousel force  %  
 Pull height  mm  
 Paint type



Inner paint							
Horizontal	Vertical	Angle	Flow	Shape	Speed corr.		
Y1 <input type="text" value="4"/> mm	Z1 <input type="text" value="5"/> mm	R1 <input type="text" value="6"/> °	F1 <input type="text" value="0"/> %	Sh1 <input type="text" value="0"/> 0/1	Sp1 <input type="text" value="7"/> %	<input type="text" value="X"/>	
Y2 <input type="text" value="0"/> mm	Z2 <input type="text" value="0"/> mm	R2 <input type="text" value="0"/> °	F2 <input type="text" value="0"/> %	Sh2 <input type="text" value="0"/> 0/1	Sp2 <input type="text" value="0"/> %	<input type="text" value="X"/>	
Y3 <input type="text" value="0"/> mm	Z3 <input type="text" value="0"/> mm	R3 <input type="text" value="0"/> °	F3 <input type="text" value="0"/> %	Sh3 <input type="text" value="0"/> 0/1	Sp3 <input type="text" value="0"/> %		
Y4 <input type="text" value="0"/> mm	Z4 <input type="text" value="0"/> mm	R4 <input type="text" value="0"/> °	F4 <input type="text" value="0"/> %	Sh4 <input type="text" value="0"/> 0/1	Sp4 <input type="text" value="0"/> %		
Y5 <input type="text" value="0"/> mm	Z5 <input type="text" value="0"/> mm	R5 <input type="text" value="0"/> °	F5 <input type="text" value="0"/> %	Sh5 <input type="text" value="0"/> 0/1	Sp5 <input type="text" value="0"/> %		
Y6 <input type="text" value="0"/> mm	Z6 <input type="text" value="0"/> mm	R6 <input type="text" value="0"/> °	F6 <input type="text" value="0"/> %	Sh6 <input type="text" value="0"/> 0/1	Sp6 <input type="text" value="0"/> %		
Y7 <input type="text" value="0"/> mm	Z7 <input type="text" value="0"/> mm	R7 <input type="text" value="0"/> °	F7 <input type="text" value="0"/> %	Sh7 <input type="text" value="0"/> 0/1	Sp7 <input type="text" value="0"/> %		
Y8 <input type="text" value="0"/> mm	Z8 <input type="text" value="0"/> mm	R8 <input type="text" value="0"/> °	F8 <input type="text" value="0"/> %	Sh8 <input type="text" value="0"/> 0/1	Sp8 <input type="text" value="0"/> %		
Y9 <input type="text" value="0"/> mm	Z9 <input type="text" value="0"/> mm	R9 <input type="text" value="0"/> °	F9 <input type="text" value="0"/> %	Sh9 <input type="text" value="0"/> 0/1	Sp9 <input type="text" value="0"/> %		
Y10 <input type="text" value="0"/> mm	Z10 <input type="text" value="0"/> mm	R10 <input type="text" value="0"/> °	F10 <input type="text" value="0"/> %	Sh10 <input type="text" value="0"/> 0/1	Sp10 <input type="text" value="0"/> %		
Y11 <input type="text" value="0"/> mm	Z11 <input type="text" value="0"/> mm	R11 <input type="text" value="0"/> °	F11 <input type="text" value="0"/> %	Sh11 <input type="text" value="0"/> 0/1	Sp11 <input type="text" value="0"/> %		

Obrázek 3.15: Prohlížení a editace receptur (zdroj: archiv autora).

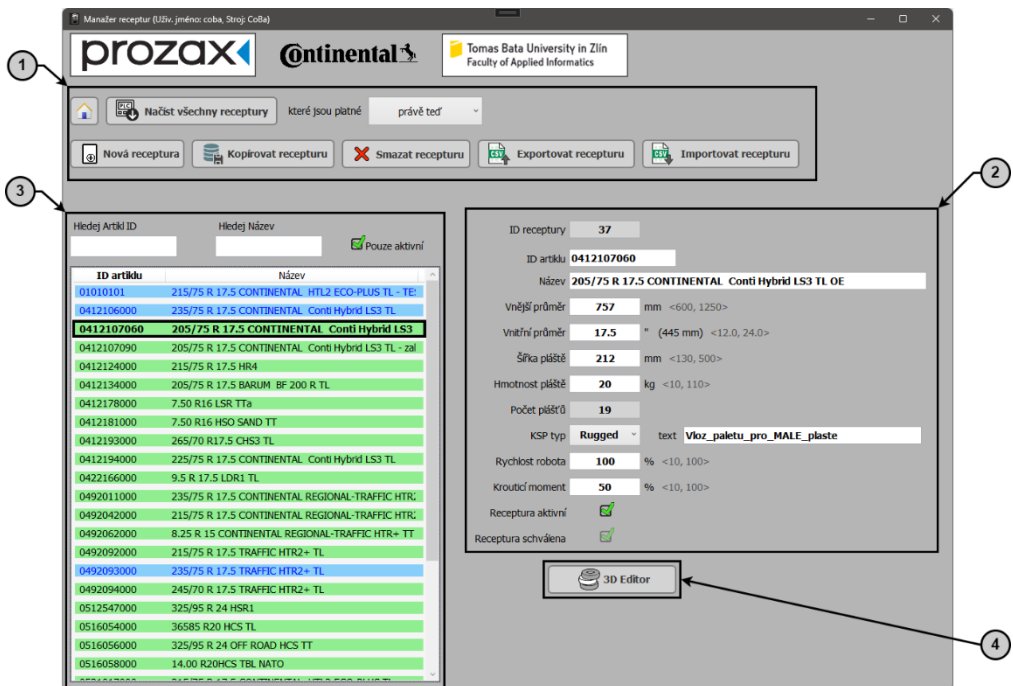
## PŘÍLOHA IV



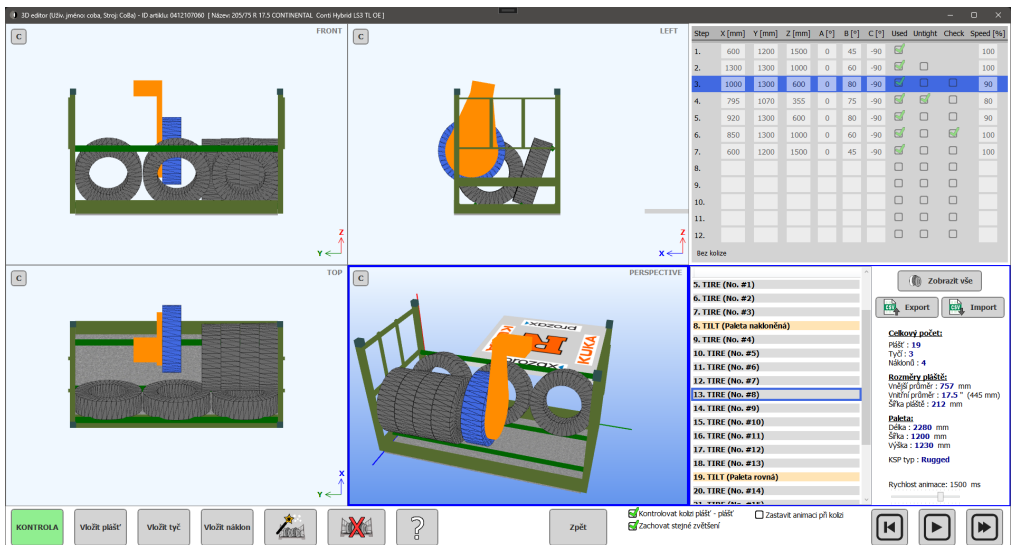
Obrázek 4.16: Automatická robotická paletizační linka (zdroj: archiv fy Prozax).



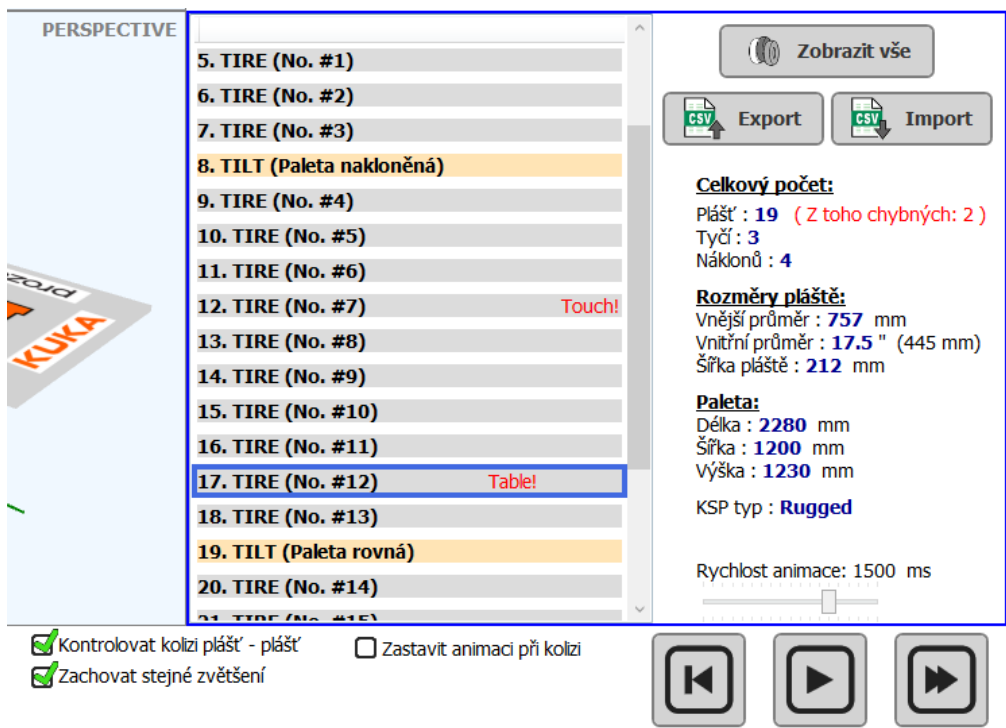
*Obrázek 4.17: Šestiosý robot KUKA při testování paletizačního procesu v prostorách firmy Prozax (zdroj: archiv autora).*



Obrázek 4.18: Okno Manažer receptur (zdroj: archiv autora).



Obrázek 4.19: Okno 3D editoru paletizace (zdroj: archiv autora).



Obrázek 4.20: Seznam položek paletizace, výpis parametrů paletizace (zdroj: archiv autora).

Step	X [mm]	Y [mm]	Z [mm]	A [°]	B [°]	C [°]	Used	Untight	Check	Speed [%]
1.	600	2000	1800	0	45	-90	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	50
2.	600	2000	1400	0	65	-90	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	50
3.	600	2000	1000	0	65	-90	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	50
4.	600	2000	850	0	65	-90	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	50
5.	600	2000	1000	0	65	-90	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	50
6.	200	2000	1400	0	65	-90	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	50
7.	200	2000	1800	0	45	-90	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	50
8.							<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
9.							<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
10.							<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
11.							<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
12.							<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

1 → (Step 6)  
2 → (Step 10)  
3 → (Step 9)  
4 → (Kolize PLÁŠT s PLÁŠTĚM.)  
5 → (Tabulka: Není splněna zónová podm.! (2. bod, zóna 5))

Obrázek 4.21: Editace a zobrazení vlastností paletizace konkrétního pláště (zdroj: archiv autora).

# ODBORNÝ ŽIVOTOPIS AUTORA



europass



## MILAN NAVRÁTIL

**Datum narození:** 04/06/1979 | **Státní příslušnost:** Česká republika |

**Pohlaví:** Muž | **Telefonní číslo:** (+420) 777832232 (Domů) | **E-mailová adresa:**

[milan.navratil@gmail.com](mailto:milan.navratil@gmail.com) |

**Adresa:** K Majáku 7226, 76001, Zlín (okres Zlín), Česko (Domů)

### ● PRACOVNÍ ZKUŠENOSTI

09/2005 – 12/2005 Zlín, Česko

**ASISTENT** UNIVERZITA TOMÁŠE BATI VE ZLÍNĚ, FAKULTA TECHNOLOGICKÁ, ÚSTAV ŘÍDICÍCH PROCESŮ

- vědecko-výzkumná a pedagogická činnost
- vedení cvičení a seminářů
- vedení bakalářských a diplomových prací

01/2006 – 02/2008 Zlín, Česko

**ASISTENT** UNIVERZITA TOMÁŠE BATI VE ZLÍNĚ, FAKULTA APLIKOVANÉ INFORMATIKY, ÚSTAV ELEKTROTECHNIKY A MĚŘENÍ

- vědecko-výzkumná a pedagogická činnost
- vedení cvičení a seminářů
- vedení bakalářských a diplomových prací

03/2008 – 12/2018 Zlín, Česko

**ODBORNÝ ASISTENT** UNIVERZITA TOMÁŠE BATI VE ZLÍNĚ, FAKULTA APLIKOVANÉ INFORMATIKY, ÚSTAV ELEKTRONIKY A MĚŘENÍ

- vědecko-výzkumná a pedagogická činnost
- tvůrčí aplikace výsledků výzkumu (spolupráce s průmyslovou praxí) v pedagogické činnosti,
- vedení přednášek, cvičení a seminářů
- vedení bakalářských, diplomových prací
- konzultant doktorských prací
- rozvoj laboratorních úloh

01/2019 – AKTUÁLNÍ Zlín, Česko

**ŘEDITEL ÚSTAVU** UNIVERZITA TOMÁŠE BATI VE ZLÍNĚ, FAKULTA APLIKOVANÉ INFORMATIKY, ÚSTAV ELEKTRONIKY A MĚŘENÍ

- vědecko-výzkumná a pedagogická činnost
- tvůrčí aplikace výsledků výzkumu (spolupráce s průmyslovou praxí) v pedagogické činnosti,
- vedení přednášek, cvičení a seminářů
- vedení bakalářských, diplomových prací
- konzultant doktorských prací
- rozvoj laboratorních úloh

### ● VZDĚLÁNÍ A ODBORNÁ PŘÍPRAVA

1993 – 1997 Kroměříž, Česko

**MATURNÍ VYSVĚDČENÍ V OBORU ZPRACOVÁNÍ MLÉKA** SPŠ mlékárenská

1997 – 2002 Zlín, Česko

**VŠ DIPLOM, TITUL ING. V OBORU AUTOMATIZAČNÍ A ŘÍDICÍ TECHNIKA VE SPOTŘEBNÍM PRŮMYSLU** Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická

2002 – 2008 Zlín, Česko

**VŠ DIPLOM, TITUL PH.D. V OBORU TECHNICKÁ KYBERNETIKA** Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky

## ● ZNALOST JAZYKŮ

Mateřský jazyk/jazyky: **ČEŠTINA**

Další jazyk(y):

	POROZUMĚNÍ		MLUVENÝ PROJEV		PSANÍ
	Poslech	Čtení	Samostatný ústní projev	Mluvená komunikace	
<b>ANGLIČTINA</b>	B2	B2	B2	B2	B2
<b>NĚMČINA</b>	A1	A1	A1	A1	A1

Úroveň: A1 a A2: uživatel základů jazyka (začátečník), B1 a B2: samostatný uživatel (mírně pokročilý), C1 a C2: zkušený uživatel (pokročilý)

## ● DALŠÍ INFORMACE

### ČLENSTVÍ V ORGANIZACÍCH

Členství

- místopředseda Akademického senátu FAI UTB ve Zlíně
- předseda ekonomické komise Akademického senátu FAI UTB ve Zlíně
- člen Kolegia děkana FAI UTB ve Zlíně
- člen Stipendijní komise FAI UTB ve Zlíně
- člen Rady studijního programu „Bezpečnostní technologie, systémy a management“ FAI UTB ve Zlíně

### ORGANIZAČNÍ DOVEDNOSTI

Organizační dovednosti

- vedení týmu (aktuálně 10 lidí)
- několikaletá zkušenost z pozice zástupce ředitele ústavu a nyní také ředitele ústavu

### KOMUNIKAČNÍ A INTERPERSONÁLNÍ DOVEDNOSTI

Komunikační a interpersonální dovednosti

- dobré komunikační schopnosti získané z pozice ředitele ústavu, místopředsedy akademického senátu fakulty, z řešení projektů a také několikaleté pedagogické činnosti

### DOVEDNOSTI VZTAHUJÍCÍ SE K URČITÉMU POVOLÁNÍ NEBO PRACOVNÍMU MÍSTU

Dovednosti vztahující se k určitému povolání nebo pracovnímu místu

- dobrá znalost programovacích jazyků (MATLAB, VEE Pro, LabView, C++, Control WEB, CSharp), tvorba uživatelských aplikací v prostředí MS Windows
- dobrá znalost metod zpracování signálů (několikaleté vedení seminářů „Zpracování signálů“)
- dobrá znalost měřicí techniky a metod měření (několikaletá výuka předmětu „Instrumentace a měření“)
- dobrá znalost metod studia povrchových struktur a mikroskopických technik (práce s mikroskopem atomárních sil, konfokálním a světelným mikroskopem, s elektronovým skenovacím mikroskopem)
- dobré znalosti týkající se realizace konkrétních aplikací monitorovacích a řídicích systémů technologických procesů s bohatou spoluprací s průmyslem (VOP Šternberk, Continental Barum, TI GROUP Automotive, YAPP CZECH Automotive, Evektor)

## **PROJEKTY**

2004

Grantový projekt Ministerstva školství ČR č. G1/1404/2004 - Vývoj senzoru pro kontinuální výrobu kompozitu s kolagenovou maticí hlavní řešitel

2005 - 2011

Výzkumný záměr Ministerstva školství ČR č. MSM 7088352102 - Modelování a řízení zpracovatelských procesů přírodních a syntetických polymerů - dílčí část Instrumentace a sensorika technologických procesů spoluřešitel

2006 - 2008

Projekt Ministerstva průmyslu a obchodu ČR č. 762/27/319 (VOP Šternberk) - Návrh a realizace HW a SW struktury detekčního subsystému spoluřešitel

2007 - 2009

Projekt Ministerstva průmyslu a obchodu ČR č. FT-TA4/043 (Evektor s.r.o.) - Analytický výzkum ohrožení v elektromagneticky integrovaných soustavách spoluřešitel

2008

Grantový projekt Ministerstva školství ČR č. 1904/2008 - Laboratoř pro předmět "Zpracování signálů" spoluřešitel

2008 - 2010

Projekt Ministerstva průmyslu a obchodu ČR č. FT TA5/041 (VOP Šternberk) - Audiový detekční systém pro určování polohy, druhu a činnosti zdroje zvukového signálu ve skrytých prostorech spoluřešitel

2013

Inovační voucher Zlínského kraje (Continental Barum s. r.o.) - Vývoj a inovace procesu zpracování surového pláště na konfekčních strojích pro nový typ nákladní pneu 325/95R24 hlavní řešitel

2011 - 2014

Projekt Ministerstva školství ČR č. CZ.1.05/2.1.00/03.0089 - Centrum bezpečnostních, informačních a pokročilých technologií (CEBIA - Tech) spoluřešitel

2014 - 2020

Projekt Ministerstva školství ČR č. LO1303 - Podpora udržitelnosti a rozvoje Centra bezpečnostních, informačních a pokročilých technologií (CEBIA-Tech) spoluřešitel

2018

Projekt Ministerstva školství ČR reg. č. CZ.02.2.67/0.0/0.0/16\_016/0002325, Modernizace výukové infrastruktury FAI (MoVI-FAI) spoluřešitel

2018 - 2020

Projekt Ministerstva školství ČR reg. č. CZ.02.2.69/0.0/0.0/16\_015/0002204, Modernizace výukové infrastruktury FAI (MoVI-FAI) spoluřešitel

2019 - 2020

Projekt Ministerstva školství ČR reg. č. CZ.02.2.69/0.0/0.0/16\_018/0002381 Rozvoj výzkumně zaměřených studijních programů na FAI spoluřešitel

2021

OP PIK PROZAX: Výzkum a vývoj automatické emulgační linky polotovarů radiálních i diagonálních pneumatik velkých rozměrů č. CZ.01.1.02/0.0/0.0/20\_321/0023675 spoluřešitel

2022

Rozvoj kapacit pro výzkum a vývoj UTB ve Zlíně č. CZ.02.2.69/0.0/0.0/16\_028/0006243 spoluřešitel

2023

OP PIK Aplikace: Robotizované kamerové pracoviště pro měření a kontrolu tvarových vad výkovek a obrobků s využitím s využitím umělé inteligence, č. CZ.01.1.02/0.0/0.0/20\_321/0023805 spoluřešitel

## **TVŮRČÍ ČINNOST**

Autor a spoluautor více než 60 odborných textů, 2 patentů, 4 užitných vzorů

Řešitel smluvního výzkumu v objemu nad 700 tis. Kč bez DPH z neveřejných zdrojů



## MILAN NAVRÁTIL

**Datum narození:** 04/06/1979 | **Státní příslušnost:** Česká republika |

**Pohlaví:** Muž | **Telefonní číslo:** (+420) 777832232 (Domů) | **E-mailová adresa:**  
[milan.navratil@gmail.com](mailto:milan.navratil@gmail.com) |

**Adresa:** K Majáku 7226, 76001, Zlín (okres Zlín), Česko (Domů)

### ● PRACOVNÍ ZKUŠENOSTI

09/2005 – 12/2005 Zlín, Česko

**ASISTENT** UNIVERZITA TOMÁŠE BATI VE ZLÍNĚ, FAKULTA TECHNOLOGICKÁ, ÚSTAV ŘÍDICÍCH PROCESŮ

- vědecko-výzkumná a pedagogická činnost
- vedení cvičení a seminářů
- vedení bakalářských a diplomových prací

01/2006 – 02/2008 Zlín, Česko

**ASISTENT** UNIVERZITA TOMÁŠE BATI VE ZLÍNĚ, FAKULTA APLIKOVANÉ INFORMATIKY, ÚSTAV ELEKTROTECHNIKY A MĚŘENÍ

- vědecko-výzkumná a pedagogická činnost
- vedení cvičení a seminářů
- vedení bakalářských a diplomových prací

03/2008 – 12/2018 Zlín, Česko

**ODBORNÝ ASISTENT** UNIVERZITA TOMÁŠE BATI VE ZLÍNĚ, FAKULTA APLIKOVANÉ INFORMATIKY, ÚSTAV ELEKTRONIKY A MĚŘENÍ

- vědecko-výzkumná a pedagogická činnost
- tvůrčí aplikace výsledků výzkumu (spolupráce s průmyslovou praxí) v pedagogické činnosti,
- vedení přednášek, cvičení a seminářů
- vedení bakalářských, diplomových prací
- konzultant doktorských prací
- rozvoj laboratorních úloh

01/2019 – AKTUÁLNÍ Zlín, Česko

**ŘEDITEL ÚSTAVU** UNIVERZITA TOMÁŠE BATI VE ZLÍNĚ, FAKULTA APLIKOVANÉ INFORMATIKY, ÚSTAV ELEKTRONIKY A MĚŘENÍ

- vědecko-výzkumná a pedagogická činnost
- tvůrčí aplikace výsledků výzkumu (spolupráce s průmyslovou praxí) v pedagogické činnosti,
- vedení přednášek, cvičení a seminářů
- vedení bakalářských, diplomových prací
- konzultant doktorských prací
- rozvoj laboratorních úloh

### ● VZDĚLÁNÍ A ODBORNÁ PŘÍPRAVA

1993 – 1997 Kroměříž, Česko

**MATURTNÍ VYSVĚDČENÍ V OBORU ZPRACOVÁNÍ MLÉKA** SPŠ mlékárenská

1997 – 2002 Zlín, Česko

**VŠ DIPLOM, TITUL ING. V OBORU AUTOMATIZAČNÍ A ŘÍDICÍ TECHNIKA VE SPOTŘEBNÍM PRŮMYSLU** Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická

2002 – 2008 Zlín, Česko

**VŠ DIPLOM, TITUL PH.D. V OBORU TECHNICKÁ KYBERNETIKA** Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky

## ● ZNALOST JAZYKŮ

Mateřský jazyk/jazyky: **ČEŠTINA**

Další jazyk(y):

	POROZUMĚNÍ		MLUVENÝ PROJEV		PSANÍ
	Poslech	Čtení	Samostatný ústní projev	Mluvená komunikace	
<b>ANGLIČTINA</b>	B2	B2	B2	B2	B2
<b>NĚMČINA</b>	A1	A1	A1	A1	A1

Úrovně: A1 a A2: uživatel základů jazyka (začátečník), B1 a B2: samostatný uživatel (mírně pokročilý), C1 a C2: zkušený uživatel (pokročilý)

## ● DALŠÍ INFORMACE

### ČLENSTVÍ V ORGANIZACÍCH

Členství

- místopředseda Akademického senátu FAI UTB ve Zlíně
- předseda ekonomické komise Akademického senátu FAI UTB ve Zlíně
- člen Kolegia děkana FAI UTB ve Zlíně
- člen Stipendijní komise FAI UTB ve Zlíně
- člen Rady studijního programu „Bezpečnostní technologie, systémy a management“ FAI UTB ve Zlíně

### ORGANIZAČNÍ DOVEDNOSTI

Organizační dovednosti

- vedení týmu (aktuálně 10 lidí)
- několikaletá zkušenost z pozice zástupce ředitele ústavu a nyní také ředitele ústavu

### KOMUNIKAČNÍ A INTERPERSONÁLNÍ DOVEDNOSTI

Komunikační a interpersonální dovednosti

- dobré komunikační schopnosti získané z pozice ředitele ústavu, místopředsedy akademického senátu fakulty, z řešení projektů a také několikaleté pedagogické činnosti

### DOVEDNOSTI VZTAHUJÍCÍ SE K URČITÉMU POVOLÁNÍ NEBO PRACOVNÍMU MÍSTU

Dovednosti vztahující se k určitému povolání nebo pracovnímu místu

- dobrá znalost programovacích jazyků (MATLAB, VEE Pro, LabView, C++, Control WEB, CSharp), tvorba uživatelských aplikací v prostředí MS Windows
- dobrá znalost metod zpracování signálů (několikaleté vedení seminářů „Zpracování signálů“)
- dobrá znalost měřicí techniky a metod měření (několikaletá výuka předmětu „Instrumentace a měření“)
- dobrá znalost metod studia povrchových struktur a mikroskopických technik (práce s mikroskopem atomárních sil, konfokálním a světelným mikroskopem, s elektronovým skenovacím mikroskopem)
- dobré znalosti týkající se realizace konkrétních aplikací monitorovacích a řídicích systémů technologických procesů s bohatou spoluprací s průmyslem (VOP Šternberk, Continental Barum, TI GROUP Automotive, YAPP CZECH Automotive, Evektor)

## PROJEKTY

2004

Grantový projekt Ministerstva školství ČR č. G1/1404/2004 - Vývoj senzoru pro kontinuální výrobu kompozitu s kolagenovou maticí hlavní řešitel

2005 - 2011

Výzkumný záměr Ministerstva školství ČR č. MSM 7088352102 - Modelování a řízení zpracovatelských procesů přírodních a syntetických polymerů - dílčí část Instrumentace a sensorika technologických procesů spoluřešitel

2006 - 2008

Projekt Ministerstva průmyslu a obchodu ČR č. 762/27/319 (VOP Šternberk) - Návrh a realizace HW a SW struktury detekčního subsystému spoluřešitel

2007 - 2009

Projekt Ministerstva průmyslu a obchodu ČR č. FT-TA4/043 (Evektor s.r.o.) - Analytický výzkum ohrožení v elektromagneticky integrovaných soustavách spoluřešitel

2008

Grantový projekt Ministerstva školství ČR č. 1904/2008 - Laboratoř pro předmět "Zpracování signálů" spoluřešitel

2008 - 2010

Projekt Ministerstva průmyslu a obchodu ČR č. FT TA5/041 (VOP Šternberk) - Audiový detekční systém pro určování polohy, druhu a činnosti zdroje zvukového signálu ve skrytých prostorech spoluřešitel

2013

Inovační voucher Zlínského kraje (Continental Barum s. r.o.) - Vývoj a inovace procesu zpracování surového pláště na konfekčních strojích pro nový typ nákladní pneu 325/95R24 hlavní řešitel

2011 - 2014

Projekt Ministerstva školství ČR č. CZ.1.05/2.1.00/03.0089 - Centrum bezpečnostních, informačních a pokročilých technologií (CEBIA - Tech) spoluřešitel

2014 - 2020

Projekt Ministerstva školství ČR č. LO1303 - Podpora udržitelnosti a rozvoje Centra bezpečnostních, informačních a pokročilých technologií (CEBIA-Tech) spoluřešitel

2018

Projekt Ministerstva školství ČR reg. č. CZ.02.2.67/0.0/0.0/16\_016/0002325, Modernizace výukové infrastruktury FAI (MoVI-FAI) spoluřešitel

2018 - 2020

Projekt Ministerstva školství ČR reg. č. CZ.02.2.69/0.0/0.0/16\_015/0002204, Modernizace výukové infrastruktury FAI (MoVI-FAI) spoluřešitel

2019 - 2020

Projekt Ministerstva školství ČR reg. č. CZ.02.2.69/0.0/0.0/16\_018/0002381 Rozvoj výzkumně zaměřených studijních programů na FAI spoluřešitel

2021

OP PIK PROZAX: Výzkum a vývoj automatické emulgační linky polotovarů radiálních i diagonálních pneumatik velkých rozměrů č. CZ.01.1.02/0.0/0.0/20\_321/0023675 spoluřešitel

2022

Rozvoj kapacit pro výzkum a vývoj UTB ve Zlíně č. CZ.02.2.69/0.0/0.0/16\_028/0006243 spoluřešitel

2023

OP PIK Aplikace: Robotizované kamerové pracoviště pro měření a kontrolu tvarových vad výkovek a obrobků s využitím umělé inteligence, č. CZ.01.1.02/0.0/0.0/20\_321/0023805 spoluřešitel

## TVŮRČÍ ČINNOST

Autor a spoluautor více než 60 odborných textů, 2 patentů, 4 užitných vzorů

Řešitel smluvního výzkumu v objemu nad 700 tis. Kč bez DPH z neveřejných zdrojů

Citační ohlas: 51 (Scopus, bez autocitací)

H-index: 5 (Scopus)

### **ŘÍDÍCÍ A VŮDČÍ DOVEDNOSTI**

Akademický senát FAI UTB (6 funkčních období: 2006-2009, 2009-2012, 2012-2015, 2015-2018, 2018-2021, 2021-dosud)

---

Milan Navrátil

**Aplikace číslicového zpracování signálův průmyslové  
výrobě a vývoji**

Applications of digital signal processing in industrial production  
and development

Teze habilitační práce

Vydala Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně,  
nám. T. G. Masaryka 5555, 760 01 Zlín.

Náklad: 50 ks

Sazba: Milan Navrátil

Publikace neprošla jazykovou ani redakční úpravou.

Rok vydání 2024

ISBN 978-80-7678-299-0

